



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN HISTORIA DEL ARTE
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA

**VANTABLACK: EL COLOR DEL VACÍO.
EL NEGRO COMO PRESENCIA-AUSENCIA EN EL SIGLO XXI**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN HISTORIA DEL ARTE

PRESENTA

MERCEDES ALICIA HINOJOSA MÉNDEZ

TUTORA PRINCIPAL

DRA. ELSA ARROYO LEMUS
IIE

TUTORES

DRA. MARÍA ANTONIA GONZÁLEZ VALERIO
FFYL

DRA. SANDRA ZETINA OCAÑA
IIE

DR. SEBASTIÁN LOMELÍ BRAVO
FFYL

DR. CUAUHTÉMOC MEDINA GONZÁLEZ
IIE

CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos	1
Introducción	3
1. El análisis material	15
1.1 El giro material	17
1.2 Agencia	20
1.3 Materiales: actores no-humanos	24
1.4 La materialidad no es una cualidad de la materia	29
2. El color y la luz: un encuentro entre los paradigmas científicos y los estilos artísticos	40
2.1 Me llamo negro: una «biografía» social y cultural	56
2.2 Pigmentos negros con base de carbono	61
2.2.1 Carbón mineral	69
2.2.2 Grafito	75
2.2.3 Grafeno	78
2.3 Otros materiales negros	79
2.3.1 Kohl	80
2.3.2 Obsidiana	81
2.3.3 Azabache	82
2.3.4 Tinta	83
2.3.5 Tinte	88
3. Nanotubos de carbono: un supermaterial más fuerte que el acero y más frágil que las alas de una mariposa	96
3.1 Vantablack: nanotubos de carbono verticalmente alineados	96
3.2 NanoLab: tetrahidrofurano y aceite de linaza	103
3.2.1 Singularity Black Optical Paint	104
3.2.2 AdVanta Black	104
3.2.3 Gravity Black	105
3.3 Descripción de los nanotubos de carbono	106
3.4 Otros usos de los nanotubos de carbono	109
3.5 Toxicidad de los nanotubos de carbono	112
4 Vacío: el color del abismo o de las posibilidades estéticas de los nanotubos de carbono	117
4.1 Frederick De Wilde: el retrato definitivo de la nada	117
4.2 Anish Kapoor: el artista de la sospecha	123
4.3 Jason Chase: singularidades del Universo	133
4.4 VBx2: del negro más negro o una estrategia de marketing	138
4.4.1 Pabellón Hyundai: loa al hidrógeno	138

4.4.2 La bestia negra: BMW VBx6	143
4.4.3 Del espacio al entretenimiento: Production Resources Group	144
El príncipe de la oscuridad: Gesaffelstein	145
La habitación más oscura jamás creada por el ser humano: Black Ops 4	147
5. Descripción de pigmentos negros: ¿Qué tan negro es el negro?	150
5.1 Observar los materiales, pintar con ellos	156
5.2 Imagenología: más allá del espectro visible. Develar lo translúcido en lo opaco	178
Reflexión final	191
Imágenes	197
Anexos	354
Fichas de análisis con técnicas de microscopía de materiales negros	355
Infografía Pabellón Hyundai	402
Hojas de seguridad del Vantablack S-VIS y VBx2	403
Bibliografía consultada	417

El negro de Caravaggio es ambiguo. En una parte del lienzo, el fondo negro es plano y lleno, en otra es una profundidad infinita y vacía. En otra parte del cuadro el negro es más una espesa nube que abraza miasmáticamente a las figuras del primer plano. El eco entre la cabeza del santo apenas aureolada y la calavera que sostiene el libro abierto se acentúa con un tipo de negro: un negro de sombras, sombras y contornos. Pero detrás del cráneo y la cabeza solo hay espacio exterior, a la vez plano e infinito. En una extraña ilusión óptica, este mismo negro cósmico parece habitar también los bordes de los libros, el espacio debajo de la mesa, los pliegues de la tela y las propias muñecas de Jerónimo. Esto es “pintura negra”: el negro como fondo que siempre está a punto de eclipsar el primer plano, la falta de fundamento de la distinción figura/fondo en sí, la presencia de una ausencia, un pesimismo retiniano.

Eugene Thacker



San Jerónimo escribiendo
Michelangelo Merisi da Caravaggio
1605

Agradecimientos

En este camino de cuatro años han participado muchas personas que han contribuido al desarrollo y desenlace de este periodo; primero, quiero agradecer a la Dra. Elsa Arroyo Lemus, tutora principal, por haber aceptado emprender este viaje conmigo sobre el Vantablack y el negro, por guiarme de manera paciente y constante, por sus lecturas detalladas y sus recomendaciones bibliográficas.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca nacional que me permitió realizar los estudios de doctorado de tiempo completo. Esta investigación fue realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, clave IA401019 “Sebastián de Arteaga y la construcción de un lenguaje pictórico en contexto”, cuya responsable académica es la Dra. Elsa Arroyo. Asimismo, agradezco a la DGAPA-UNAM el apoyo recibido para la adquisición de los materiales de experimentación que se emplearon en esta investigación.

Extiendo un agradecimiento al resto de comité tutor, a la Dra. María Antonia González Valerio, la Dra. Sandra Zetina Ocaña, el Dr. Cuauhtémoc Medina González y el Dr. Sebastián Lomelí Bravo por sus invaluable contribuciones y su acompañamiento. Reconozco también el valioso trabajo de la Dra. Karla Jasso López y el Dr. Manuel Espinosa Pesqueira.

Agradezco al Programa de Posgrado en Historia del Arte, al Dr. Erik Velásquez García y al equipo de la coordinación que muchas veces me orientó en temas administrativos, del mismo modo a la Mtra. Nydia Karen Silva Tapia, jefa del Departamento de Bienes y Suministros del Instituto de Investigaciones Estéticas por gestionar la importación de los materiales adquiridos. A la Lic. Eumelia Hernández Vázquez, al Dr. Kilian Laclavetine, a la Dra. Elsa Arroyo y a la Dra. Sandra Zetina por ayudarme a obtener las imágenes ubicadas en el capítulo 5 y en el anexo “Fichas de análisis con técnicas de microscopia de materiales negros.”

Destaco y agradezco los seminarios que me proveyeron de material indispensable en mi formación como doctora en historia del arte, especialmente en los seminarios impartidos por las doctoras Deborah Dorotinsky Alperstein, Helena Chávez Mac Gregor y Karla Jasso López.

A mis compañeros y amigos del posgrado con los que compartí interesantes conversaciones derivadas de los seminarios, a Claudia Ferrer, Dante Castillo, Gonzalo Chávez y en especial a Daniel Hernández con quien además tuve la oportunidad de participar como representante de la comunidad estudiantil en el Comité Académico. A Brandon Pineda por ser un “nerd del color”, por compartir conmigo este interés insaciable, por ayudarme a elaborar —con su experiencia en el diseño y la comunicación visual— cada una de las presentaciones hechas para las reuniones de comité tutor. A mi amiga Ericka Borraz por alentarme cada día.

Agradezco que Carlos Hernández me haya acompañado durante los soliloquios que precedieron a las ideas contenidas en este texto, gracias por creer en mí. Nadie mejor que él puede comprender lo que ha implicado este esfuerzo.

Sobre todo gracias a mi madre Ángeles Méndez, a quien dedico esta tesis por haberme hecho una persona curiosa cuando me llevó a recorrer los museos de la Ciudad de México junto con mi hermana Susana, siendo nosotras unas niñas. Gracias a mi madre por su ejemplo, por su trabajo constante y por su apoyo infinito, gracias a las dos.

Introducción

Los nanotubos de carbono no son propiamente un pigmento, tampoco se constituyen como una pintura, pero en más de una sus aplicaciones tecnológicas se les encuentra como un depósito físico sobre diferentes sustratos con propósitos que van desde lo militar hasta lo estético. Esta investigación ofrece un recorrido sobre los procesos de obtención, uso y aplicación de algunos pigmentos negros que operan como antecedentes directos e indirectos de los nanotubos empleados como recubrimiento sobre objetos industriales y artísticos.

El objetivo de esta investigación es ubicar cómo, cuándo y dónde los nanotubos de carbono se insertan en la discusión historiográfica sobre uno de los colores que más ha ocupado a la humanidad: el negro. La idea de desarrollar esta investigación surgió en 2016. Conocí el Vantablack en el marco de la polémica generada por Anish Kapoor y habiendo desarrollado una investigación desde la sociología sobre el trabajo de Pierre Soulages para mis estudios de maestría, sabía que el negro no era una respuesta, sino un problema a desarrollar. El Vantablack ponía en la mesa temas a discutir, como aquel donde el negro ya no era nada más un misterio simbólico, sino un enigma científico. Al inicio consideraba que uno de los problemas fundamentales del negro era de carácter lingüístico, al igual que con otros colores, parecía exigir una pericia intelectual que consistía en distinguir y nombrar los distintos matices negros; sin embargo, los pigmentos me mostraron una serie de retos ubicados al margen de lo lingüístico; por ejemplo, el problema de la percepción y el papel de ojo humano en la discusión sobre el color. Además de las propiedades piscoquímicas intrínsecas del material que les permiten construir sistemas de comunicación y significación.

Las personas que lean esta investigación podrán intuir que el orden propuesto de los capítulos no fue el orden en el que fueron escritos. Fue necesario partir de una descripción del material, cómo es y de que está hecho, qué y por qué se diferencia de otros negros con base de carbono presentes a lo largo de la historia; es decir, la descripción de los nanotubos de carbono me obligó a pensar en el grafeno y este a su vez en el grafito. En la revisión bibliográfica sobre estos materiales surgieron otros que consideré importantes para el desarrollo de la investigación por su relevancia histórica, una relevancia apenas bosquejada por un discurso mediático en el caso del Vantablack. Mientras escribía el segundo capítulo, leía sobre el giro

material y reconocía en los materiales negros agencia, relaciones entre sus características, significados y usos culturales. Este reconocimiento de sus agencias me constreñía a ubicarlos en el terreno de lo social como actores, como participantes activos en la construcción de la realidad y no solo como cosas en el mundo.

Este recorrido historiográfico sobre el negro, materiales negros y obras de arte del siglo XX me mostró que los nanotubos de carbono ya habían sido utilizados en el arte contemporáneo antes de 2016 y que no todo lo que dice ser Vantablack está hecho de nanotubos de carbono, que de hecho mi objeto de estudio no era el Vantablack porque mi objeto no es una marca, sino un depósito de nanotubos de carbono alineados verticalmente o simplemente depositados en un sustrato metálico. Sin embargo, en vista de que fue el Vantablack el responsable del desarrollo de este trabajo doctoral quería conservar su nombre en el título; asimismo, aclaro que Vantablack y nanotubos de carbono no son aquí sinónimos, utilizo ambos términos de manera deliberada para referirme a dos fenómenos distintos.

Una de las cualidades visuales más importantes de los depósitos de nanotubos de carbono producidos a través de la deposición química de vapor es la absorción del 99.96% de la luz que incide en ellos, lo que los convierte —hasta ahora— en el material más negro sobre el planeta Tierra. Los nanotubos de carbono nacieron por y para la industria aeroespacial, su objetivo era mejorar el comportamiento de los equipos de registro de imágenes satelitales, pero casi inmediatamente después fue adoptado por otras industrias debido a sus posibilidades estéticas, expresivas y simbólicas; es ahí donde se integra esta investigación.

En la carrera por el negro absoluto destaca Surrey NanoSystems, un laboratorio británico que desarrolla recubrimientos hechos con base en carbono, pero con fines primordialmente comerciales. Su recubrimiento más destacado es Vantablack,¹ su nombre proviene del acrónimo inglés *Vertically Aligned NanoTube Arrays* que en español significa conjunto de nanotubos verticalmente alineados.

¹De hecho, este recubrimiento de nanotubos de carbono y la compra de los derechos por parte de Anish Kapoor en 2016 fue lo que motivó a desarrollar esta investigación doctoral; sin embargo, durante estos años reconocí que la relevancia de los nanotubos de carbono excede a la marca Vantablack.

Vantablack es tan negro que se hace extremadamente difícil discernir cualquier característica de la superficie, objetos tridimensionales parecen ser de dos dimensiones. De hecho, Vantablack absorbe más que la luz visible, y es igualmente eficaz a través de una amplia gama del espectro que es invisible para el ojo humano. Se utiliza en aplicaciones que van desde instrumentos científicos espaciales hasta artículos de lujo, y su capacidad para engañar al ojo abre toda una serie de posibilidades en el diseño.²

La creación del Vantablack se le atribuye a Ben Jensen, fundador y director de tecnología en Surrey NanoSystems, responsable del desarrollo de nuevas tecnologías en el cultivo de nanomateriales. En 2014, Jensen presentó el material en el Salón Aeronáutico de Farnborough,³ una feria internacional de tecnología aeroespacial. El equipo de investigación de Surrey NanoSystems no trabajaba buscando la oscuridad, sino mejorando el 0.04% de índice de reflectancia de otros materiales negros precedentes,⁴ paradójicamente no se investigaba el negro, sino la luz. Pero la carrera por el negro más negro no es la carrera por el descubrimiento de un color, sino el esfuerzo científico por empujar las fronteras de los materiales.

La presencia de los nanotubos de carbono habita el terreno de lo visual como una trampa de luz, un ensamble que paradójicamente visibiliza un fenómeno invisible: los hoyos negros. Este negro casi absoluto que proporcionan los nanotubos de carbono es una experiencia óptica, quizá la experiencia más cercana que habremos de tener con referencia a dichos campos gravitatorios.

El trabajo experimental consistió en llevar a cabo el análisis material por medio de técnicas microscópicas, estereoscópica, óptica y electrónica de barrido de una selección de algunos pigmentos negros con base de carbono utilizados a lo largo de la historia del arte, así como

²Vantablack is so black that it becomes extremely difficult to discern any surface features, and three-dimensional objects appear to become two-dimensional. In fact, Vantablack absorbs more than just visible light, and is equally effective across a whole range of the spectrum that is invisible to the human eye. It is used in applications ranging from space-borne scientific instrumentation to luxury goods, and its ability to deceive the eye opens-up a whole range of possibilities in design. Texto de presentación en el sitio oficial de *Surrey NanoSystems*: <https://www.surreynanosystems.com/vantablack>

³Ingrid Smith, "What is this thing called Vantablack?" En *What Investment*, 16 de marzo de 2018, consultado el 31 de julio de 2020. <https://www.whatinvestment.co.uk/what-is-this-thing-called-vantablack-2609482/>

⁴En noviembre de 2011 la NASA publicó un artículo sobre la creación de un material súper negro que absorbe el 99.6% de la luz, frente al 99.9% que es capaz de absorber el Vantablack. <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/super-black-material.html>

otros materiales negros. La realización de este trabajo háptico y experimental me ayudó a comparar las diferencias tonales y de matiz entre los pigmentos para comprender la relevancia de los nanotubos de carbono, el estado que guardan como materia y cómo se transforman y se transformarán a lo largo del tiempo. La experimentación fue fundamental para construir la narración sobre las capacidades expresivas, no solo de los nanotubos de carbono, sino del negro.

Cabe aclarar que, el Vantablack al ser un material tan joven es imposible tener una perspectiva histórica respecto a su uso y a sus capacidades expresivas en el arte contemporáneo, por lo que la investigación partió de rastrear históricamente las dimensiones significativas y expresivas del negro. No existe distancia suficiente para sostener que el valor simbólico del material sea uno solo; sin embargo, es posible acercarnos a través de una aproximación historiográfica sobre otros materiales negros al posible valor simbólico de este nuevo material escudriñando el significado del negro presente en otros materiales. La innovación del material es al mismo tiempo oportunidad y límite. Tener el conocimiento sobre los significados y las connotaciones de otros materiales negros permite establecer una relación con el pensamiento occidental y sus implicaciones estéticas, pues la producción contemporánea discute con el pasado, es una respuesta a la tradición.

En algunos casos, los significados del negro adquieren sentido en relación con su opuesto binario: el blanco, la luz. Más allá de estos significados, el análisis material supone observar el comportamiento de la luz sobre las superficies en las que son cultivados los nanotubos de carbono, no basta decir cómo los nanotubos de carbono desaparecen la tridimensionalidad de los objetos, habrá que reconocer otras propiedades fisicoquímicas —la hidrofobia y la eficiente electroconducción— para identificar otros usos dentro y fuera del terreno artístico; es decir, develar la agencia y excavar en la materialidad que, en ningún caso deben pensarse como atributos, sino como procesos entre la materia y el contexto. La investigación pretende esbozar una respuesta a cuál es la injerencia de los nanotubos de carbono en la historia del arte. ¿Cómo los materiales actúan o participan en la historia de la ciencia y el arte?

La historia del arte reconoce el valor estético, iconográfico, religioso, ritual, autoral de objetos e imágenes; sin embargo, cuando esos objetos e imágenes no provienen de las bellas artes ese reconocimiento puede volverse complejo. Esa complejidad no implica imposibilidad pues su relevancia está vinculada a la cultura visual y material de la época. Los materiales han permitido formas de representación en cada periodo, siendo ellos mismos resultado de la investigación científica de su tiempo y en cierto modo la materialización de las aspiraciones y posibilidades tecnológicas de una sociedad en coordenadas espaciotemporales. Los estudios materiales, de carácter interdisciplinar, profundizan en la importancia de la innovación tecnológica debido a que la considera una herramienta de análisis que enriquece los aspectos iconográficos y simbólicos del estudio de la imagen, revelando una intimidad sólida y dinámica.

El presente texto es un apunte sobre los nanotubos de carbono hecho desde el giro material para la historia del arte, por lo que considero necesario explicar cómo las “cosas” que pertenecen a la cultura material se relacionan de distintos modos con su entorno; rastrear y explorar esas relaciones en el contexto de la producción del arte contemporáneo me parece indispensable. Bajo esta premisa, los estudios visuales y la historia del arte han podido mirar hacia otros campos de conocimiento que constantemente arrojan imágenes al mundo, pues sin importar su procedencia —es decir, no importa si proceden o no de las bellas artes— pertenecen indiscutiblemente a la cultura visual. Ejemplo de ello son los nanotubos de carbono, un material que nació lejano a los intereses de la historia del arte, pero que se despliega desde la industria aeroespacial hasta el arte contemporáneo, pasando por el diseño y la arquitectura.

El estudio de lo material amplía y reafirma la necesidad de mirar la dualidad de la imagen, es decir tanta importancia tendrán los aspectos contextuales como la composición fisicoquímica de una pintura. Este acercamiento a la imagen no es nuevo si pensamos en la conservación y la restauración. El estudio científico de los distintos materiales pictóricos y artísticos presupone enriquecer el trabajo documental que la historia del arte ha llevado a cabo de manera sistemática, como lo explica Jo Kirby en la conclusión de “Toward a new discipline?”: “La investigación de fuentes tecnológicas del arte no es una disciplina nueva,

pero tiene un nuevo ímpetu y está creciendo de una manera en la que no podría haberse predicho a inicios de los siglos XVIII y XIX”.⁵ Las diversas técnicas de análisis material brindan información que hasta hace algunos años era desconocida. Para Ann Holly la investigación sobre materiales es capaz incluso, de actualizar la discusión sobre la objetualidad del objeto.⁶

Los métodos y mecanismos de las ciencias aplicadas han sido usados en la historia del arte para analizar objetos del pasado mediante un estudio diacrónico. ¿Estos métodos científicos cercanos a la historia del arte desde la conservación o la autenticación de las obras pueden ser usados también como herramientas de análisis sobre el futuro de los objetos? ¿Podemos proyectar el comportamiento del material haciendo una revisión de su pasado? La respuesta es sí, pero ahondaré más adelante sobre esta pregunta cuando me refiera a la arqueología. Epistemológicamente no solo se trata de reconstruir la historia del objeto, sino de construirla, de acompañar al objeto en la medida que se transforma yendo de la ciencia al arte, considerando así, sus propias transformaciones, sus múltiples versiones, su uso científico, artístico y comercial.

Los nanotubos de carbono se encuentran en el entremedio, son una sustancia, un producto químico, un material, un color, un símbolo, un artefacto visual, un ensamble, un ente, un no-humano, una mercancía. Una forma física o una superficie compleja como la de los nanotubos de carbono forman parte ya del entorno visual de la cultura occidental. ¿Los nanotubos de carbono pueden estar en el justo medio entre los estudios visuales y la historia del arte? ¿Los nanotubos de carbono podrían articular un diálogo entre ambos abordajes teórico-metodológicos estando en la frontera de las bellas artes, la tecnología y lo meramente comercial?

⁵“Art technological source research is not a new discipline, but it has a new impetus and is growing in a way that could not have been predicted from its beginnings in the 18th and 19th centuries”. Jo Kirby, “Toward a new discipline?” en *Art Technology: Sources and Methods: Proceedings of the Second Symposium of Art Technological Source Research Study Group*, Madrid 2007, 7-15.

⁶“it is quite refreshing to consider this rejuvenated fascination with the objectness of the object, maybe even the thing in its thingliness”. Michael Ann Holly, ‘Materiality’ en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 15.

Los nanotubos de carbono se encuentran en su propio contexto como resultado de un conjunto de condiciones de posibilidad, condiciones directas o indirectas que han llevado a las personas a buscar de manera persistente un acercamiento, aunque análogo a la oscuridad y a lo desconocido. Esas condiciones de posibilidad son sucesos históricos de naturaleza política o económica que les permitieron; primero, ser descubiertos y luego; sintetizados. La búsqueda incansable por un negro absoluto que recorre el claroscuro o el tenebrismo, por ejemplo, los artefactos tecnológicos que intervienen en los depósitos de nanotubos de carbono y los sujetos que participaron y participan en su creación, adaptación y comercialización. Un conjunto de relaciones que explican cómo un material adquiere relevancia y se mantiene activo a través del tiempo.

La imagen se vale de los sistemas de representación disponibles en el proceso de creación y producción, que al mismo tiempo son pensados desde la teoría del arte, pero cómo es que se relacionan con las estructuras y procesos históricos del pasado y presente. La imagen —sea en su forma artística o no— no es espontánea, por el contrario, emerge y se sostiene de una especie de red de lo real, imaginemos un geoplano, no se trata de encontrar un comportamiento causal, sino de encontrar los procesos (postes del geoplano) y experiencias (hilos del geoplano) que la atraviesan de manera diacrónica. En ese sentido, “la realización de una obra de arte es un proceso histórico entre actos, eventos y estructuras: es una serie de acciones que tienen lugar en la historia. Esto se muestra inteligible solo dentro de las estructuras de significado que le brinda e impone el contexto, pero al mismo tiempo lo altera y modifica sus estructuras”.⁷

Una investigación sobre materiales requiere generar una aproximación interdisciplinaria que nos permita cambiar el registro de nuestro lugar de enunciación, pues como dijo Wallerstein es “posible que estemos presenciando un tipo de racionalidad que ya no es apropiada para nuestro tiempo. Pedimos que se pongan al acento en lo complejo, lo temporal y lo inestable, que corresponde hoy a un movimiento interdisciplinario que adquiere cada vez mayor vigor”.⁸ En este sentido, la historia del arte ha sido una disciplina capaz de redefinir su

⁷T.J. Clark, “On the Social History of Art,” en *Modern Art and Modernism: A Critical Anthology*, Coords. Francis Frascina y Charles Harrison (Nueva York: SAGE Publications, 1982), 252-253.

⁸Immanuel Wallerstein, *Abrir las Ciencias Sociales*, (México: Siglo XXI, 2006), 85-86.

manera de abordar un objeto de estudio, aspectos como la biografía del autor, la interpretación de la obra, el estilo de la obra, la descripción formal de los elementos que la componen y el contexto en el que fue creada son solo algunos aspectos a considerar, aspectos vinculados al estudio de lo material y próximos a las ciencias experimentales.

El programa estético de artistas y artesanos de diferentes épocas es uno de los “misterios” resueltos por parte de la identificación a través del análisis químico de los pigmentos de acuerdo con Barbara H. Berrie.⁹ «Misterios» aquí equivale a ese conjunto de relaciones y transformaciones que ocurren en las sustancias, las relaciones entre los pigmentos y sus aglutinantes, intercambios atómicos a lo largo del tiempo imperceptibles a simple vista, pero accesibles a través de las técnicas espectroscópicas, cromatográficas y de difracción. En palabras de Manuel Espinosa Pesqueira, el estudio material es consiste en una “ingeniería inversa”,¹⁰ un estudio que va de adelante hacia atrás produciendo imágenes sobre la naturaleza de los bienes culturales, imágenes técnicas parten de la representación hacia la generación de conocimiento.

Esta discusión resulta interesante porque también Bruno Latour la aborda en “What is iconoclasm? Or is there a world beyond the image wars”, la imagen científica se piensa con frecuencia en términos descriptivos, como imágenes objetivas del mundo natural. Es cierto que el estudio material produce imágenes que, a su vez producen conocimiento, un conocimiento científico, “objetivo”. Las imágenes científicas “simplemente describen el mundo de una manera en la que puede probarse si son verdaderas o falsas. Precisamente por eso son geniales y frescas, ellas pueden ser verificadas, son en gran parte indiscutibles, son objetos de un acuerdo extraño y casi universal”.¹¹ Pero si asumimos a las imágenes del

⁹“Results from chemical analyses inform us about not only the aesthetic aims of artists and artisans of the past but also the science and technology of their time and cultures”. Barbara H. Berrie, “Rethinking the History of Artists’ Pigments Through Chemical Analysis” en *The Annual Review of Analytical Chemistry*, (Washington D. C.: National Gallery of Art, 2012), 442.

¹⁰Manuel Espinosa Pesqueira, “Arte y ciencia. La materialidad del patrimonio cultural”, en *La Ciencia más allá del aula*. https://www.youtube.com/watch?v=Cq_BARPO_AA

¹¹“They simply describe the world in a way that can be proven true or false. Precisely because they are cool, they are fresh, they can be verified, they are largely undisputed, they are the objects of a rare and almost universal agreement.” Bruno Latour, “What is Iconoclasm? Or is there a world beyond the image wars”, en *Iconoclasm, Beyond the Image-Wars in Science, Religion and Art*. (Francia: ZKM y MIT Press: 2002), 21. <http://www.bruno-latour.fr/node/64>

conocimiento científico como representaciones habría que asumir también que son imágenes fabricadas por instrumentos, imágenes obtenidas por la comunidad científica, que además de crearlas las interpreta. Las imágenes científicas —aunque «verdaderas» formas del mundo— son mediaciones de este.

Los “misterios” de las recetas en las pinturas de la comunidad artística de la Edad Media quedaron al descubierto con la modernidad. Las recetas convertidas en objeto del conocimiento científico han sido analizadas con técnicas minuciosas; sin embargo, para el ojo de las audiencias que visitan museos y galerías esos misterios continúan manteniendo la secrecía que le perteneció a las autoras, los autores y alquimistas. Un pigmento que se transforma en una pintura es materia que ha sido modificada, esta transformación o esta serie de transformaciones implican adición y sustracción de elementos que interactúan entre sí para producir efectos visuales y ópticos nunca vistos.

A propósito de las transformaciones del blanco y la discusión sobre el negro que llevaré a cabo en el segundo apartado, “el blanco de plomo es un ejemplo paradigmático de cambio y el proceso puede interpretarse como una demostración de la mutabilidad inherente de la materia, un reflejo tangible de la materia prima intangible”.¹² Como lo menciona Bucklow: “los artistas convertían huesos blancos en pigmento negro y el metal negro en un pigmento blanco, y ambos podían volver a ser algo parecido a lo que fueron en su estado original”.¹³ Las transformaciones de la materia estudiadas y explicadas a fondo desde el conocimiento científico, en realidad permanecen “ocultas” a simple vista para el ojo humano; es decir, mientras contemplamos una obra de arte ocurren eventos y relaciones entre su materia y el entorno, pero ocurren tan lentamente y a un escala menor que nos es imposible apreciarlas.

Otro ejemplo de las transformaciones de la materia o del paso del tiempo en la materia, es el Azul de Prusia. En “Prussian Blue: Transfers and Trial” Sarah Lowengard revisa cómo el

¹²“Lead white is a paradigmatic example of change, and the process may be interpreted as demonstrating the inherent mutability of matter, a tangible reflection of intangible primer matter.” Spike Bucklow, “Lead white’s mysteries” en *The Matter of Art: Materials, Practices, Cultural Logics*, (Londres: Reaktion, 2015), 154-155.

¹³“Artists converted white bones into black pigment and black metal into a white pigment, and both pigments could return to something that resemble their original state.” Spike, “Lead,” 149.

Azul de Prusia se origina de manera fortuita. El producto químico $[\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}(\text{H}_2\text{O})_x]$ que arrojó un descubrimiento accidental pronto adquirió relevancia artística y científica al considerársele como modelo de desarrollo para la incipiente industria. El comportamiento de la sustancia, su insolubilidad y su estructura cristalina, generó interés por parte de la comunidad científica, y no solo artística que buscó desmenuzar el conjunto de relaciones e intercambios presentes entre sus elementos físicoquímicos.

El Azul de Prusia además de ser un material pictórico, también fue utilizado en la industria textil y alimentaria. El uso del pigmento en la industria textil, de acuerdo con François Ménon representó un reto en investigación científica pues había que llevar las virtudes pictóricas del pigmento a los colorantes textiles. “La adaptación del azul de Prusia a las necesidades textiles de la época permitió llevar a cabo una serie de estudios que permitieran determinar su naturaleza, su relación con el proceso de teñido y su optimización”.¹⁴ Esta transformación del material que jugó un papel importante en el estudio experimental significó también un giro en su propia historia. En su biografía o historia vital, podemos decir que el Azul de Prusia es una sustancia, es decir: materia interactuando entre sí, que para ser comprendida debía ser descompuesta, desmembrada en sus elementos de manera que fuese posible estudiar las variaciones de cada matiz azul producido por ferrocianuro de hierro, cada Azul de Prusia podía ser único.

La experimentación permite excavar en los procesos técnicos y científicos que le pertenecieron a los creadores y productores de pigmentos utilizados en el arte o el teñido de textiles. Las similitudes y diferencias mostradas dejan claro que la innovación en el uso del color no era tarea de un campo específico, sino que cada uno mejoraba las condiciones del pigmento de acuerdo con sus necesidades; así ocurrió con el Palo de Campeche que fue

¹⁴“Creating color in or on textiles presented a series of chemical and physical challenges to eighteenth-century scientific investigators, challenges that had to be tempered with aesthetics and economics. The adaptation of Prussian blue to the requirements of textiles connected studies of this substance to an ongoing mandate to determine the nature of dye processes and do improve methods.” Sarah Lowengard, “Prussian Blue: Transfers and trials.”, *The materiality of color: the production, circulation, and application of dyes and pigments* (Reino Unido: MPG Books Group, 2012), 172.

utilizado como un colorante textil y más tarde usado como tinta antifraude¹⁵ por sus características materiales. ¿No es eso un ejemplo de la agencia del material?

Los nanotubos de carbono son, al igual que el Azul de Prusia, un conjunto de intercambios moleculares entre distintos elementos, el resultado de una receta, un ensamble fisicoquímico que en contacto con la historia se transforma en otro ensamble y luego en otro a manera de espiral; pensemos que los nanotubos de carbono son un bosque, un acomodo cilíndrico de láminas de grafeno, esos procesos científicos ajenos a la estética, la historia del arte o los estudios visuales, a la luz del arte contemporáneo encuentran en sus cualidades una oportunidad visual, lo transforma. Una transformación que forma parte de su historia, mejor dicho: transformaciones que forman parte de la historia vital de la materia. “La historia social de las cosas y su biografía cultural no son asuntos completamente separados, ya que la historia social de las cosas, a lo largo de periodos prolongados y en amplios niveles sociales, ha limitado la forma, el significado y la estructura de las trayectorias a corto plazo, específicas e íntimas”.¹⁶ Las transformaciones de la materia prefiguran su historia vital. El descubrimiento de los nanotubos de carbono en la década de 1990 y su consecuente fabricación por parte de distintos laboratorios generó una sustancia química que de manera subyacente arrojó un color completamente novedoso a un mundo ansioso por consumirlo, con su descubrimiento también inició la carrera por la creación de una pintura que se acercase al negro absoluto.

Hacia el final de la investigación aposté por aproximarme a los artefactos visuales creados desde la narrativa de los nanotubos de carbono y aunque no todos los artefactos visuales descritos o abordados en la investigación están hechos a través de la deposición química de vapor, cada uno aporta algo en la discusión sobre el negro absoluto y sus efectos ópticos. El capítulo cuatro resulta fundamental porque ofrezco un recorrido que va desde el trabajo con nanotubos de carbono de Frederick de Wilde en 2010 hasta las aplicaciones en la industria del entretenimiento del Vantablack VBx2, pasando por el trabajo de Anish Kapoor, Jason

¹⁵Brian H. Davies, “Logwood under the Microscope” en *Dyes in History and Archaeology*, (Reino Unido: Archetype Publications, 2008), 183-184.

¹⁶Arjun Appadurai, *La vida social de las cosas. Perspectiva cultural de las mercancías*. (México: Grijalbo, 1991), 54.

Chase y Asif Khan. Las lectoras y los lectores encontrarán algunos conceptos fundamentales que nos permiten a comprender la preocupación de esta comunidad de artistas por la elección de los materiales presentes en sus esculturas e instalaciones, todos ellos dialogando con conceptos como el espacio, el vacío, el color, la luz y el negro.

Por último, encontrarán una descripción de mi experiencia con veintitrés materiales negros. Para comprender cómo es el negro había que experimentar con los pigmentos sobre una superficie que mostrara sus diferencias, que me permitiera comprender que sus texturas están estrechamente vinculadas con la morfología de sus partículas, a su vez que la composición fisicoquímica de las sustancias es determinante para obtener una pintura opaca y uniforme. Además, este proceso de experimentación mostró que hay un problema fundamental en el negro absoluto y es el de la tecnología del color, los mecanismos por medio de los que los pigmentos o materiales son aplicados, en palabras de Caroline van Eck: “La tecnología fascina al espectador porque es el resultado de un virtuosismo apenas comprensible que ejemplifica una eficacia ideal o mágica que la gente se esfuerza por alcanzar en otros dominios”.¹⁷ La deposición química de vapor nos permitió acercarnos al negro absoluto, a un vacío en sí, a un vacío representado, algo que no había sido posible a través del pincel.

¹⁷“Technology fascinates the viewer because it is the result of barely comprehensible virtuosity that exemplifies an ideal or magical efficacy people try hard to achieve in other domains.” Caroline van Eck, *Art, Agency and Living Presence. From The Animated To The Excessive Object*. (Leiden: Leiden University Press) 2015, 49.

1. El análisis material

En el mundo, la especialización y la generación de conocimiento a través de diferentes campos disciplinares permitió la estructuración del trabajo científico en las universidades. Principalmente, con el advenimiento de la Modernidad dicha organización del trabajo científico también limitó los alcances de la comprensión del “objeto de estudio”, pues la investigación se enfocaba únicamente en ciertos de sus aspectos, aquellos que le correspondían a cada disciplina. No obstante:

Las ciencias sociales (y las Humanidades) han venido avanzando en dirección hacia un respeto cada vez mayor por la naturaleza; al mismo tiempo, las ciencias naturales han ido desplazándose hacia una visión del universo como inestable e impredecible, y por lo tanto a concebir al universo como una realidad activa y no como un autómatas sujeto a la dominación de los seres humanos. Que de alguna manera están ubicados fuera de la naturaleza. Las convergencias entre las ciencias naturales y las ciencias sociales se hacen mayores en la medida en que las vemos a ambas dedicadas al estudio de sistemas complejos, en que los desarrollos futuros son resultado de otros procesos temporalmente irreversibles.¹⁸

De acuerdo con Caroline Fowler el estudio de lo material revela una fascinación contemporánea por el comportamiento de la materia; es decir, su relación con el tiempo. El análisis fisicoquímico de la pintura ha sido útil para los estudios sobre conservación. ¿Pero en qué medida esta aproximación a los nanotubos de carbono podría revelarnos aspectos importantes sobre su presente?

Tradicionalmente, la radiografía, macrofotografía, reflectografía infrarroja, el escaneo de fluorescencia de rayos macro X (XRF) y las imágenes de cortes transversales de muestras de pintura habían sido campos de análisis restringidos solo a especialistas. Pero recientemente tanto museos como instituciones académicas se han preocupado por establecer un diálogo entre las ciencias y las humanidades a través del campo que presupone la conservación. Es un movimiento que busca construir un puente entre las bases de la disciplina y el estudio técnico en la Historia del arte.¹⁹

¹⁸ Wallerstein, *Abrir las Ciencias Sociales*, 84. Entre paréntesis mías.

¹⁹ “Traditionally, X-radiography, macrophotography, infrared reflectography, macro-X-ray fluorescence (XRF) scanning, and cross-section imagery of paint samples have been fields of analysis restricted to specialists. Recently, however, both museums and academic institutions have formed a dialogue between the sciences and the humanities through conservation. In a move to build a bridge between technical art history and the foundations of the discipline.” Caroline Fowler, “Technical Art History as Method”, *The Art Bulletin*, (Taylor & Francis Online, diciembre de 2019), p. 10.

El análisis técnico en específico, y el enfoque teórico-metodológico en general que comprende el giro material permite escudriñar los materiales que configuran el entorno visual para comprender su relevancia estética e histórica. ¿Qué hace que un material sea más estimado que otro? ¿Cómo los materiales adquieren un valor estético y artístico? La presente investigación propone analizar un material visual que está siendo impregnado por los valores estéticos de la cultura occidental, pero no solo por sus valores, sino por sus instituciones, comunidades científicas y artísticas, así como empresas, como lo menciona Ivan Gaskell:

Nuestra relación con el pasado no está ya definida primeramente por la historia sino, más bien, por una multiplicidad de prácticas, muchas de las cuales se fundan en lo visual y están sujetas a análisis en función de la «visualidad» y la «mirada expandida, en la que los historiadores (y muchos historiadores del arte) se sienten por lo general lejos de su medio familiar: la publicidad, la televisión, la fotografía de prensa, la arquitectura y ciertas zonas del arte.²⁰

Martha Rosler²¹ coincide con Gaskell, la reciente cultura de la imagen de carácter mundial y la capitalización de las obras de arte fueron decisivas para redefinir los objetos considerados como obras de arte.²² Los artistas dejaron de lado temas como la autoría, comenzaron a interesarse por cuestiones como la naturaleza de los objetos artísticos, la visualidad, la propiedad y el comercio de las obras de arte. Los materiales pueden estudiarse como documentos o “textos” que encuentran su realización en el contexto audiencia-recepción, en medio de un heterogéneo conjunto de objetos culturales, la materialidad pretende hacer proposiciones, interpelar a los públicos ávidos de imágenes. Esta inflexión vista desde el Vantablack nos permite pensar si el arte está en la obra o en la experiencia, en el diálogo entre los átomos de la materia y la consciencia que la piensa.

²⁰Ivan Gaskell, “Historia de las imágenes” en Peter Burke, *Formas de hacer historia*. (Madrid: Alianza, 1994), 238.

²¹Martha Rosler, “Materiality” en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 11.

²²Sobre la complejidad de definir qué es una obra de arte, en 1926 Marcel Duchamp viajó a Nueva York con una veintena de esculturas (*Pájaro en el espacio*) de Constantin Brancusi para una exposición, las esculturas fueron clasificadas como mercancía no artística, haciendo imposible la aplicación de *Tariff Act* (1903) que consistía en la exclusión del pago de impuestos. La normativa consideraba como obra de arte: la originalidad del objeto, la producción o manufactura no industrial y la inutilidad del objeto. Con la aparición del ready-made, fue necesario reconsiderar aquello que debía ser considerado obra de arte no solo en cuanto a la discusión estética se refiere, sino a la discusión legal o jurídica sobre dichos objetos, un proceso de redefinición constante hasta nuestros días. Nacho Ruiz, *La obra de arte como objeto de intercambio. Procesos y estructuras del mercado del arte*. (Guatemala: Centro Cultural de España, 2011), 70-71.

Los materiales proporcionan información, son documentos históricos que nos permiten comprender el entorno de los artistas, generalmente, el análisis científico de las muestras pictóricas era utilizado para comprobar o revelar nuevas hipótesis de trabajo sobre la construcción de sus paletas de color —e incluso sobre su autoría— y los intercambios comerciales entre distintas regiones del mundo. El Vantablack sumado a la diversidad de materiales que existen en el siglo XXI, no escapa al hecho de que su uso sea en cierto modo una decisión pragmática de lo que se encuentra disponible en el mundo; sin embargo, a diferencia de la madera u otros materiales, el Vantablack se adhiere a una lógica capitalista que hace de su innovación un material inaccesible, no solo por el costo, sino por las dificultades técnicas de obtención y manipulación, la fragilidad misma de los nanotubos de carbono, como se verá en el capítulo tres de esta investigación: “Desde un punto de vista cultural, la producción de mercancía es también un proceso cultural y cognoscitivo: las mercancías no solo deben producirse materialmente como cosas, sino que también deben estar marcadas culturalmente como un tipo particular de cosas”.²³

1.1 El giro material

El giro material es resultado de una necesidad metodológica que indaga sobre la experiencia de los seres humanos en el mundo, pero paradójicamente la reflexión no es sobre lo humano, sino acerca de lo mundano, de lo que hay en el mundo y de la materia que lo conforma. Este giro, como su nombre lo dice, es un “giro hacia la materialidad en el arte y su correspondiente teoría contemporánea”²⁴ que evoca lo profano. La discusión sobre lo material y la materia permanecen al margen, casi siempre, del artista, pues le pertenece a la diversidad de objetos o no-humanos que habitan el mundo con nosotros. ¿Cómo construimos el mundo y lo que en él hay? ¿Cómo la tecnología y sus artefactos moldean nuestra visión del mundo? Michael Kelly considera que la “tecnología es, en parte, un conjunto de practicas y artefactos que emergen de los intentos de la subjetividad de perdurar, comprender y controlar la

²³Appadurai, *La vida social de las cosas*, 89.

²⁴*Vid.* “The turn to materiality in contemporary art and theory invokes the profane (for example, sensation, affect, empathy, desire, neuron, evidence, thing— or power), regardless of whether the materiality at issue concerns the artist, participant, or work of art.” Michael Kelly “Materiality” en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 18.

materialidad”.²⁵ La relación entre la materia y sus historias en la historia es el nodo que explora este giro.

Entiendo al giro material como un ejercicio “arqueológico”, una herramienta metodológica que me ayudará a excavar hacia lo profundo de ese conjunto de transformaciones y espirales.²⁶ En consecuencia, entiendo al estudio material como el análisis de ese conjunto de transformaciones performáticas de la historia de una sustancia. Estas transformaciones o apropiaciones complejas requieren un estudio interdisciplinario que mire equitativamente los aspectos sociohistórico y fisicoquímico, el estudio material pretende revelar los “misterios” de la materia, relaciones que a simple vista no vemos, pero a las que podemos acceder a través de la experimentación del laboratorio.

En la década de 1990, la noción giro material²⁷ significó un cambio de paradigma para la investigación no solo en la historia del arte, sino en el resto de las humanidades, las ciencias naturales y quizá en las ciencias sociales. El «movimiento» que presupone el giro material en los estudios visuales y de manera indirecta en la historia del arte afianza una aproximación interdisciplinaria al objeto de estudio, pues permite abordar imágenes heterogéneas. El giro material posibilita transitar entre las ciencias naturales, las ciencias sociales y las humanidades, tal vez esta tendencia en el estudio de la imagen se encuentra direccionada a

²⁵“Technology is, in part, a set of practices and artifacts emerging from subjectivity’s attempts to endure, understand, and control materiality”. Michael Kelly “Materiality” en *Notes from the field: Materiality*, *The Art Bulletin*, 2014, 18.

²⁶En “The materials of immateriality: Hussein Chalayan’s Fashion” en *Being material*, (Londres: Cambridge Mass, 2017), 50, Michelle Tolini Finamore comenta que, en 1993, para la colección *The Tangent Flows*, Hussein Chalayan enterró algunas prendas con limadura de hierro por seis meses. Desenterró las prendas al inicio del proceso de descomposición, en ese momento los patrones del óxido ya habían quedado impresos de manera aleatoria en la tela, “con narrativas relacionadas a la vida, la muerte y el deterioro. Presentados como la arqueología del futuro, estos vestidos desafiaron las nociones contemporáneas de belleza porque su diseño se basó en un proceso invisible de destrucción gradual.” Me interesa recuperar la expresión «arqueología del futuro» porque ese es justamente el sentido en el que la uso. En cierto modo y guardando las distancias que me corresponden, aspiro a que esta investigación sea considerada como una narrativa de lo que está sucediendo, una huella de cómo deviene el tiempo en la biografía de los nanotubos de carbono.

²⁷En la década de 1990 comenzaron a surgir distintos estudios en la Teoría del Arte y la Historia del arte que abordaban al objeto artístico desde una especie de *re-materialización*; no obstante, de acuerdo con Ann-Sophie Lehmann, dichos estudios eran casos aislados que poco a poco cobraron relevancia para la comunidad científica no solo en la Historia del arte, sino en Historia de la Ciencia, de hecho, fue desde ésta última que el “reciente” campo de estudio cobró relevancia.

lo que en 1995 Immanuel Wallerstein²⁸ llamó «reencantamiento del mundo» en *Abrir las Ciencias Sociales*:

El llamado al ‘reencantamiento del mundo’ es diferente: no es un llamado a la mistificación. Es un llamado a derribar las barreras artificiales entre los seres humanos y la naturaleza, a reconocer que ambas forman parte de un universo único enmarcado por la flecha del tiempo. El reencantamiento del mundo se propone liberar aún más el pensamiento humano.²⁹

En el marco de esta investigación y desde el trabajo experimental es importante revisar cómo las diferencias en la composición fisicoquímica de los pigmentos negros y el proceso de manufactura son relevantes tanto científica como históricamente para la identificación de distintos matices y tonos negros, considerando que las obras de arte hechas con nanotubos de carbono pretenden operar fuera de la lógica de la representación tridimensional. Como lo mencionan Marie-Pier Boucher, Stefan Helmreich, Leila W. Kinney, Skylar Tibbits, Rebecca Uchill y Evan Ziporyn: “Necesitamos entender cómo es que aquellos procesos que pueden parecer inmateriales funcionan consigo mismos, e incluso reordenan las condiciones de producción, distribución, comunicación y circulación de los materiales”.³⁰

El giro material dejó la puerta abierta para pensar por qué la imagen hace que lo hace, cómo transmite sus significados, por qué la imagen incluso cuando puede ser narrada no se agota ni en la más vasta descripción. La imagen no está más supeditada al *logos*, si el giro pictórico reconoce que la imagen tiene un sistema propio de significación, la imagen no se reduce a las expresiones de las bellas artes, sino que es parte de lo social de manera transversal. Esta idea abre una veta de investigación para la imagen, pues no solo se ocupará de las imágenes procedentes de las bellas artes, sino de imágenes procedentes de diversos campos, todas ellas consideradas formas de conocimiento tan relevantes como el lenguaje. En *Visual Time. The*

²⁸Immanuel Wallerstein hace hincapié en las Ciencias Sociales; sin embargo, en el texto *Impensar las Ciencias Sociales* profundiza el modo en el que se separó la investigación; de manera que, no se trata solo de la relación binaria entre las Ciencias Sociales y Ciencias Naturales, sino también de las Humanidades. En ese escenario, considero que el papel de las Humanidades es fundamental para comprender la relación de lo que parecen ser esferas del conocimiento distantes e incluso contradictorias, como lo hizo creer el Positivismo lógico.

²⁹Wallerstein, *Abrir las Ciencias Sociales*, 81.

³⁰“we need to understand how processes that may seem immaterial in character function within, and even rearrange, the material conditions of production, distribution, communication, and circulation.” Marie-Pier Boucher, Stefan Helmreich, Leila W. Kinney, Skylar Tibbits, Rebecca Uchill y Evan Ziporyn, *Being material*, (Londres: Cambridge Mass, 2017), 11.

image in history, Keith Moxey menciona: “Las obras de arte, cuya importancia tradicionalmente ha sido vinculada a distintas nociones de valor estético, no son el único tipo de objetos visuales cuya presencia necesita ser reconocida”.³¹ Las imágenes pueden ser vistas como vehículos de significación y como materia, desde el paradigma hilomórfico. El giro material busca comprender las propiedades físicas de la imagen y sus efectos, pero se distancia de la idea de representación para centrarse en la presencia del objeto visual o bien, la presencia de un no-humano. Los nanotubos de carbono vistos desde el enfoque provisto por el giro material nos permiten repensar la fangosa distinción entre sujeto y objeto establecida con el advenimiento del pensamiento científico, las cosas ya no son cosas que sirven para algo sino presencias, entidades que interpelan a las audiencias a través de su agencia.

1.2 Agencia

¿Cómo adquieren significado los materiales? ¿Cómo los materiales se relacionan con la historia no solo en lo referente al contexto en el que nacen, sino cómo la transforman? Aquello que les permite a los materiales interpelar a las personas ha sido denominado *agencia* desde la teoría de la recepción; sin embargo, el concepto debe ser entendido como un proceso derivado de sus propiedades fisicoquímicas, no como una cualidad.

En *Arte y Agencia. Una teoría antropológica*, Alfred Gell escribió: “La agencia es atribuible a aquellas personas (y cosas [...]) que son vistas como iniciadoras de secuencias causales de un tipo particular, es decir, eventos causados por actos de la mente, la voluntad o la intención, en lugar de una mera concatenación de eventos físicos. Un agente es aquel que ‘hace que los eventos sucedan’ en sus alrededores”.³² Y continua más adelante: “Un agente es definido como aquel que tiene la capacidad de iniciar eventos causales en su entorno”.³³ En otras palabras, los agentes pueden ser humanos y no-humanos —en términos de Bruno Latour—

³¹Keith Moxey, *Visual Time. The image in history*, (Londres: Durham Press) 2013, 62.

³²“Agency is attributable to those persons (and things, see below) who/which are seen as initiating causal sequences of a particular type, that is, events caused by acts of mind or will or intention, rather than the mere concatenation of physical events. An agent is one who 'causes events to happen' in their vicinity”. Alfred Gell, *Art And Agency. An Anthropological Theory*, (Oxford: Clarendon Press) 1998, 16.

³³“An agent is defined as one who has the capacity to initiate causal events in his/her vicinity”. Gell, *Art And Agency*, 19.

que afectan el entorno, son fuente u origen de acciones disruptivas de las que se tiene conocimiento en tanto sus efectos. Las personas o cosas inician conversaciones, pero sabemos de su agencia no solo por las conversaciones que iniciaron, sino por las reacciones que provocan, son una especie de agujeros negros, a simple vista no los podemos ver, pero sabemos que están ahí por sus anillos de energía, es decir por sus efectos. El concepto propuesto por Gell es profundamente relacional y se preocupa por una lectura contextual, de manera que no es una clasificación de las agencias, sino una labor de rastrear sus afecciones.

En el caso de un cierto tipo de obras de arte Caroline van Eck explica que “su agencia consiste en poder influir en sus espectadores, de hacerlos actuar como si no se relacionaran con materia muerta, sino con personas vivas”.³⁴ Aunque en el caso del Vantablack y los nanotubos de carbono me gustaría ampliar el concepto de obra de arte y emplear el de «artefacto visual» debido a la diversidad de objetos descritos en el capítulo cuatro de la investigación, pero haciendo énfasis en el carácter performativo del material en la red de lo social. Van Eck acierta cuando habla de cómo las audiencias reaccionan frente a la obra de arte (artefacto visual) no por una especie de biologismo, sino por que la audiencia la experiencia como algo vivo. De hecho, esa reacción y esa forma de experimentar los nanotubos de carbono es lo que aviva la carrera por el negro absoluto.

Sin embargo, el concepto de agencia puede ser ambiguo y difuso. Ann-Sophie Lehmann menciona: “la idea de que el material posee agencia es aún bastante vaga y necesita ser pulida al unir esta noción general con otras teorías, algunas derivadas de la Historia del arte, otras de la Psicología, la Sociología y la Antropología, que han presentado el material como un elemento significativo de la creación artística”.³⁵ Aunque no existe un consenso sobre lo que es la agencia y cómo se inserta en las discusiones interdisciplinarias, es un concepto que evidencia la proyección o despliegue de los materiales en la historia.

³⁴“their agency, the power to influence their viewers, to make them act as if they are engaging not with dead matter, but with living persons.” van Eck, *Art, Agency and Living Presence*, 53.

³⁵“The idea that material possesses agency is, however, still quite unspecific and needs to be refined by joining this general notion with other theories -some stemming from within art history, others from psychology, sociology, and anthropology- that have presented material as a meaningful element of artistic creation”. Ann-Sophie Lehmann, “The matter of the medium: some tools for an art-theoretical interpretation of materials” en *The matter of art. Materials, practices, cultural logics, c. 1250-1750*, (Reino Unido: Universidad de Manchester, 2016), 26. Traducción mía.

Tim Ingold en el artículo “Materials against materiality” también se mantiene escéptico frente al concepto de agencia, pues frecuentemente el concepto se ha pensado en una relación causa y efecto, como si la agencia fuera una especie de alma que da vida a los objetos: “Las cosas están vivas no porque estén imbuidas de agencia sino por la forma en la que están atrapadas en la corriente del mundo de la vida. Las propiedades de los materiales, entonces, no son atributos fijos, sino procesos relacionales, describir estas propiedades de los materiales significa contar sus historias”.³⁶

La agencia no es una propiedad, más bien es una relación que se establece en el resquicio entre los aspectos que la integran y la influyen, existe un compromiso material entre la suma de un proceso perceptual y cultural. Los materiales tienen una relación dinámica entre su interioridad y su exterioridad, es esta relación la que es posible observar. ¿Cómo determina este modo de relacionarse en sí mismo su uso o aplicación en la escultura y la instalación? “La agencia, según lo define Latour, ‘se encuentra en el punto ciego en el que la sociedad y la materia intercambian sus propiedades’”.³⁷ Pero ¿a qué se refiere Latour con punto ciego? A que con frecuencia no logramos identificar cómo los objetos de la vida cotidiana configuran las acciones para los que son usados, generalmente, asumimos que los objetos se adaptan a nosotros, poco nos detenemos a pensar cómo es que nos influyen, nos modifican y menos alcanzamos a ver cómo es que nos limitan. “La acción debe considerarse un nodo, un nodo y un conglomerado, de muchos conjuntos sorprendentes de agencias que tienen que ser desenmarañados lentamente”.³⁸ Estos aspectos serán interesantes en lo que se refiere a la teoría del color. ¿Los colores son capaces de determinar o cambiar nuestro estado de ánimo? Esta manera de ver el mundo, o a los “objetos” resulta verdaderamente desafiante puesto que considerar a esos objetos como actores complejiza nuestra manera de comprender el ritmo y la velocidad con lo que se mueven las variables que componen lo real, “los actores llenan el

³⁶“Thus, things are active not because they are imbued with agency but because of ways in which they are caught up in these currents of lifeworld. The properties of materials, then, are not fixed attributes of matter but are processual and relational. To describe these properties means telling their stories”. Tim Ingold, “Materials against materiality”, *Archaeological Dialogues 14*, (Reino Unido: Cambridge University Press, 2007), p. 9.

³⁷“Agency, as defined by Latour, ‘lies in the blind spot in which society and matter exchange their properties’”. Ann-Sophie Lehmann, “The matter of the medium: some tools for an art-theoretical interpretation of materials”, *The matter of art. Materials, practices, cultural logics, c. 1250-1750*, (Reino Unido: Universidad de Manchester, 2016), 33. Traducción mía.

³⁸Bruno Latour, *Reensamblar lo social*, (Buenos Aires: Manantial, 2008), 70.

mundo de agencias”.³⁹ Sin embargo, eso que hacen las agencias no es algo del todo evidente, sabemos de ellas porque producen un cambio, pero debemos rastrear de donde viene, qué y cómo es que esa agencia es generada, y se vuelve todavía más complicado cuando esa agencia se relaciona con otras agencias produciendo más cambios. De manera, que sí, red es la mejor manera de objetivar ese vínculo.

La imagen tiene una fuerza que le pertenece por lo que es en sí; sin embargo, una parte de esta fuerza se la conceden los materiales de los que está hecha. La obra de arte es una mediación entre el material y la forma que este puede adquirir, antes de los límites de la significación están las fronteras materiales que se imponen a la imagen. Lo que la obra de arte puede ser y lo que no puede ser se encuentra mediado por las posibilidades formales del material que las figura, pero al mismo tiempo, la obra de arte está atravesada por fenómenos culturales que delimitan sus implicaciones socio históricas.

Ann-Sophie Lehmann, en el texto “The matter of the medium: some tools for an art-theoretical interpretation of materials”, recupera cómo se introdujo el aceite en la pintura y cómo es que este suceso fue determinante para la historia del arte. No se trataba del óleo como resultado de un proceso de apropiación artística, sino del efecto que trajo consigo introducir el aceite en la pintura al mezclarlo con pigmento. El aceite mejoró la resistencia de la pintura, su durabilidad y elasticidad, en una obra de arte al aceite le corresponde la transparencia y al pigmento las propiedades vinculadas con el color. “La agencia del medio, entonces, emerge de sus posibilidades y juntas participan en la apropiación mimética del mundo”.⁴⁰ Alfred Gell describe este fenómeno como una especie de transustanciación que nos permite tener un acercamiento tecnológico y “mágico” del medio, denominado en este caso: pintura al óleo, de manera representacional y material.⁴¹

El negro casi absoluto de los nanotubos de carbono corresponde a un nuevo modo de representación, nos interpela porque nunca habíamos visto de tal manera a la oscuridad, incluso el negro negado a ser un color se expresaba a través de la luz en el juego perpetuo

³⁹Latour, *Reensamblar lo social*, 81.

⁴⁰Lehmann, “The matter,” 33. Traducción mía.

⁴¹Lehmann, “The matter,” 31.

entre el claroscuro. ¿Qué pueden representar los nanotubos de carbono cuando su agencia es capaz de anular los límites visibles del volumen de los objetos en los que fue depositado? La agencia de los nanotubos de carbono, por un lado, nos permite acercarnos a la profundidad del abismo, a la infinitud del universo, lo representa porque nos ayuda a comprender el comportamiento de la materia en condiciones “extraterrestres”. Paradójicamente, el vacío que evoca es el mismo vacío en el que cimienta, el diámetro de los nanotubos de carbono se encuentra vacío, sin ese vacío la luz que incide en ellos no podría ser absorbida: “Un vacío que, paradójicamente, está lleno de materia invisible a simple vista y, por tanto, misterioso”.⁴²

1.3 Materiales: actores no-humanos

El giro material reconoce la relevancia científica e histórica de los materiales o cosas que más adelante denominaré, como lo hace Bruno Latour: no-humanos. Para comprender esta relación conceptual entre no-humanos y objetos, considero que la Teoría del Actor Red puede ser oportuna para repensar la verticalidad epistemológica de la operación sujeto-objeto, la propuesta pretende analizar distintos procesos sociales desde sus implicaciones tecnocientíficas:

La ANT viene a ser una generalización de la concepción latouriana de la ciencia que, bebiendo de las fuentes teóricas de la etnometodología, el pragmatismo y el estructuralismo, gira en torno a la idea de que la acción no es algo generado por un agente identificable como tal (un sujeto, un ser humano) sino algo que se da dentro de una red de eventos y transformación cuya estructura se halla en constante cambio. Tanto lo que tradicionalmente se consideraban “sujetos” o agentes (centros de actividad) como lo que tradicionalmente se consideraban “objetos” (las cosas, la naturaleza, los artefactos técnicos...) forman parte de esa red, y además forman parte de ella en pie de igualdad.⁴³

El posestructuralismo de Latour afirma que no existe una diferencia entre sujeto y objeto, su planteamiento adquiere carácter un político, epistemológico y hasta ontológico, reconoce en

⁴²“A void which is paradoxically full of invisible matter to the naked eye and therefore mysterious”. Elisa Aspod, *Beyond the Liminal: Ultra Black Art in Dark Times*. (Ljubljana: Aksioma-Institute for Contemporary Art:2014), 7. (Consultado el 10 de abril de 2021).
https://issuu.com/aksioma.org/docs/aksioma_postscriptum_11_eng_de_wild

⁴³José Carlos Loredo Narciandi, “¿Sujetos o «actantes»? El constructivismo de Latour y la psicología constructivista” en *Revista de Antropología Iberoamericana* Vol. 4, (Madrid: Antropólogos Iberoamericanos, 2009), 119.

primer momento que la verticalidad con la que hemos aprehendido el mundo es nuestra primera dificultad para habitarlo. El problema por resolver desde esta especie de metafísica del mundo es que sucede dentro de esta red (conjunto de relaciones entre humanos y no humanos). Él no propone reemplazar las categorías de análisis, las da por superadas y pretende —si es que eso fuera posible— “comenzar” de cero. Antes de continuar me gustaría mencionar que conceptos como «no-humano», «social» y «vida», son conceptos que hablan o se refieren a la transformación o transmutación de la materia en el tiempo, son referencias antropocéntricas que, aunque quizá no sean la manera más adecuada de referirnos a ese fenómeno del discurrir de la cosa en el tiempo y el tiempo en las cosas, evidencian todos ellos una serie de relaciones en el espacio-tiempo de la materia ya sean cuerpos humanos o no. La restauración y la conservación son testimonio de la resistencia que opone la objetualidad de la obra de arte ante los efectos cáusticos de la historia. La similitud entre las cosas y las personas es su capacidad de relacionarse, de modificarse entre sí y a sí mismas. “La corrosión de la historia solo apoya e intensifica la tendencia inherente de las cosas a pasar a un nuevo estado en sus vidas sociales”.⁴⁴

De acuerdo con Bruno Latour los materiales son componentes significativos de los artefactos. Los materiales no solo generan nuevos artefactos, devienen/se componen de artefactos; por ejemplo, los nanotubos de carbono son un componente significativo del Vantablack, una estructura química que adoptó el carbono dentro de un laboratorio. Bruno Latour parte de dos premisas; la primera, que los materiales son componentes significativos de los artefactos visuales; la segunda, los materiales no pueden ser separados de la representación.⁴⁵ Pero él apuesta por revertir esta operación en las ciencias sociales; es decir,

⁴⁴“The corrosion of history only supports and intensifies the inherent tendency of things to move on to some new state in their social lives.” Arjun Appadurai, “The thing itself” en *Arts in circulation*. Duke University Press: 2006, 15.

⁴⁵Sin embargo, el problema más importante a resolver será el rompimiento con la tradición que subordina el material a su significado: el Hilemorfismo. El Hilemorfismo es perspectiva dualista que contempló a la materia como un “vehículo” de la idea; en este sentido, la materia podría ser distinta, pues lo material es sometido a la manipulación o violencia que ejerce sobre él la idea. En consecuencia, aunque lo material es necesario, no es necesariamente como debe o puede ser, en tanto que es lo que la idea requiere que sea. De acuerdo con lo anterior, lo material en sí carece de significado, ya que éste es añadido por la idea. La idea determina qué, cómo y por qué lo material es como es. El Hilemorfismo ha hecho pensar que las teorías que explican lo material son más importantes que lo material mismo; sin embargo, tienen el mismo estatus, los elementos teóricos que

a establecer nuevas plataformas de investigación que aborden la materia y el material desde su propia “naturaleza” no desde el terreno de la representación, —pero no entendamos “su propia naturaleza” desde un determinismo entre el sujeto y el objeto, como si lo natural negara lo social o viceversa—. Valdría la pena reconocer entonces que, los nanotubos de carbono son capaces de operar en tres niveles; el primero, experiencia estética, al mostrar un modo de ser de la oscuridad nunca vista; el segundo, representación del vacío; finalmente, el perceptual, los límites de aquello que podemos percibir: ¿Qué vemos cuando no somos capaces de distinguir lo que percibimos?

Lo natural no es «algo» que le pertenece a la cosa, un «algo» dado que debe ser descubierto en la descripción, sino un conjunto de relaciones que la materia entabla con el entorno natural y social, no solo son los mecanismos de los que se vale un material para adquirir relevancia en el mundo social, sino materia interactuando con otra materia. Las cosas, los objetos que usamos día a día están hechos de materia, esta es capaz de transformarse a sí misma y es transformada por la influencia de otros “objetos”, que a partir de ahora y ciñéndome al posicionamiento de Bruno Latour denominaré «no-humanos». Sí, los materiales son entidades «no-humanas», es decir, una:

cosa que modifica con su incidencia un estado de cosas es un actor o, si no tiene figuración, aún, un actante. [...] Si podemos decir sin inmutarnos que golpear un clavo con un martillo o sin él [...] son las mismas actividades; que la introducción de estos implementos mundanos no cambia “nada importante” en la realización de las tareas, entonces estamos en condiciones de transmigrar al Lejano Mundo de lo Social y desaparecer de este mundo inferior. Para los demás miembros de la sociedad sí tienen incidencia y por lo tanto estos implementos, de acuerdo con nuestra definición son actores o, más precisamente, participantes en el curso de acción a la espera de que se le dé figuración. [...] ninguna ciencia de lo social puede iniciarse siquiera si no se explora primero la cuestión de quién y qué participa en la acción, aunque signifique permitir que se incorporen elementos que, a falta de mejor término, podríamos llamar *no-humanos*.⁴⁶

permiten comprender el mundo material pueden variar; es decir, la naturaleza de los materiales determina las herramientas conceptuales a través de las que deben ser conocidos.

El Hilemorfismo contemplaba que tanto el material como su significado eran “entes” aislados y que, a su vez, las cosas tangibles, como los materiales, eran resultado de una idea, debo reconocer incluso que esta investigación se origina bajo esta premisa; no obstante, como resultado del proceso de escudriñamiento, tomo distancia de esta postura puesto que no tengo interés de subordinar la materialidad de mi “objeto de estudio” a su significado, por eso pregunto: ¿Son los materiales necesariamente modos concretos de ser de la idea? Quizá al final de esta investigación podamos resolver esta pregunta.

⁴⁶Latour, *Reensamblar lo social*, 106-107.

El concepto «no-humanos» busca distanciarse de la lógica teleología del sujeto-objeto. De manera radical en *Reensamblar lo social* Bruno Latour sentencia que no existe tal cosa como la oposición entre lo natural y lo social, en este sentido los materiales son el pretexto perfecto para repensar esta relación. Tan “sujeto puede ser un humano como una piedra o un motor de explosión, y tan objeto pueden ser éstos como aquél”.⁴⁷ “Reensamblar” lo social significa pensar desde lo colectivo, sobre el cambio simultáneo que suponen las acciones y situaciones de los actantes, no importa si son o no humanos, pues establecen entre sí asociaciones indeterminadas: redes.

Si el estudio de los materiales se encuentra en el justo medio entre lo natural y lo social, sería importante pensar sobre cómo se construyó el conocimiento científico, aunque sea solo por un momento. En 1991, Bruno Latour publicó *Nunca fuimos modernos*, un libro en el que reflexiona acerca de la construcción del conocimiento científico y la oposición binaria entre lo natural y lo social. Para Bruno Latour la modernidad no es simplemente un periodo histórico, sino una manera de conocer y ordenar el mundo que yuxtapone a lo natural y lo social; es decir, tanto las Ciencias Naturales como las Sociales son construcciones socioculturales y que ni los fenómenos sociales ni los naturales son puramente sociales o naturales, están imbricados. Esta separación ha sido una especie de trampa que lejos de ampliar nuestra comprensión del mundo, la redujo, pues en la relación sujeto-objeto, las cosas, todo aquello que no es un humano, aparecen como silentes. Los materiales pertenecen al terreno de lo no-humano. Si el interés de esta investigación es comprender cómo los nanotubos de carbono influyen en nuestra experiencia del mundo, es necesario mirar a través de ellos y hacerlo más allá de estos; es decir, tomar en cuenta las relaciones de poder, económicas, sociales y culturales que atraviesan este material.

Este ejercicio implica reconocer que la historia también se construye a partir de los no-humanos; la experiencia humana en el mundo cambió después del descubrimiento de la electricidad, cambió también con la máquina de vapor, así como lo hace hoy con Internet. ¿Seremos otros después de los nanotubos de carbono? Los no-humanos creados en laboratorios o con proveniencia natural y orgánica cambian nuestro *estar* en el mundo. Por

⁴⁷Loredo Narciandi, “¿Sujetos o «actantes»?,” 122.

ejemplo, la introducción del aceite —pensado como un no-humano— transformó a la historia del arte, una sustancia transformada en un medio abonó en la durabilidad y maleabilidad de la pintura.

Los nanotubos de carbono son un material, un objeto, un no-humano que ejerce su posibilidad performativa, un actor y se hace presente ante lo humano en la plenitud de su ausencia. Los nanotubos de carbono —color y materia— son un ente que habita el mundo y entabla una relación con la historia, el espacio, el laboratorio y la obra de arte. De acuerdo con la teoría del actor red (TAR) es un actor: un actor-red. Lo que evidencia la TAR, a la que se adhiere la producción teórica de Bruno Latour, es que los grupos “sociales” se reconfiguran cuando un no-humano es agregado, los no-humanos son capaces de generar una nueva dinámica en el entorno, por tanto, la labor de los científicos y humanistas será escudriñar en y las asociaciones que resultan de dicha integración.

Los no-humanos pueden ser vinculados a un significado, pero actúan, se apropian del mundo y lo cambian, “usar la palabra ‘actor’ significa que nunca está claro quién y qué está actuando cuando actuamos, dado que un actor en el escenario nunca está solo en su actuación”.⁴⁸ El planteamiento que hace Bruno Latour en la Teoría del Actor Red es un mecanismo para aprender a movernos en el pantanoso terreno de la incertidumbre, entenderla y poder lidiar con ella, porque lo que es algo de un momento a otro, en el devenir *ensemble* se transforma en otra cosa.

El objeto construido o la obra de arte es lo visible de un proceso en el que la materia interactúa con las herramientas con las que fue fabricado y con los investigadores o artistas, según sea el caso. La interacción es un proceso dinámico; es decir, los materiales no son estáticos, son «dicientes», tienen una cualidad que escapa a la influencia de ese otro con el que interactúan, tienen algo que les pertenece y de lo que únicamente podemos ser observadores, de manera que el investigador/artista se adapta a su naturaleza, aquello que quizá cree dominar es solo una parte de él. Un material pertenece a lo vivo o inexacto, un movimiento que no vemos, pero que se nos manifiesta durante el proceso de interacción

⁴⁸Latour, *Reensamblar lo social*, 73.

como una fuerza antagónica. Las herramientas con las que un material se manipula son creadas para domesticar dicha fuerza.

Dos fenómenos, aparentemente opuestos —tecnología y encantamiento— se implican mutuamente en el poder de un objeto artístico (o agencia, como Gell lo llamó más tarde). Las obras de arte son el resultado de procesos técnicos y, a su vez de la manipulación del material, por consiguiente, están en condiciones de encantar al espectador y cambiar su percepción del mundo.⁴⁹

1.4 La materialidad no es una cualidad de la materia

Si la agencia es la capacidad de los agentes sociales, humanos o no-humanos, de influir en su entorno, la materialidad será cómo esa influencia se despliega en la historia. Si la agencia responde al qué, la materialidad responde al cómo. Que los nanotubos de carbono nos permitan pensar tan idóneamente el vacío no es un asunto menor; sin embargo, no es una cuestión únicamente de representación simbólica, nos confronta con una verdadera experiencia sobre la vacuidad, incluso aunque a simple vista no veamos la transparencia del vacío. Los nanotubos de carbono ya sean de pared simple, de pared múltiple o helicoidales⁵⁰ forman túneles diminutos, el diámetro de cada nanotubo se encuentra vacío, así como los espacios en los que se acomodan las capas de grafeno que conforman cada nanotubo. En este caso, lo inmaterial no será solamente una idea representada en la imagen, sino la naturaleza misma de la materia que compone a la imagen, la instalación o la escultura. *Hostage pt. 1* (2010) de Frederick de Wilde es "...99.9% de aire y 0.1% de carbono, literalmente es mirar

⁴⁹“Two phenomena apparently opposed -technology and enchantment- are then identified as mutually implicated in an art object's power (or agency, as Gell later calls it). Works of art are the result of technical processes, hence of manipulation of material, and are therefore in the position to enchant the viewer that's is, to change his or her perception of the world”. Lehmann, “The matter,” 30. Traducción mía.

⁵⁰En 1991, Iijima reportó que, además de los nanotubos de carbono de pared simple y paredes múltiples, existen los natubos helicoidales, cada nano o microtubo está formado por una hoja de grafeno en espiral. Sumio Iijima, “Helical microtubes of graphitic carbon”, en *Letters to nature*. (Japón: NEC Corporation. Fundamental Research Laboratories, 1991), 56-58. Aunque el Vantablack está hecho por nanotubos de carbono de pared simple, todos los nanotubos de carbono tienen como característica que el diámetro se encuentra vacío.

hacia la nada, el espacio vacío y lo más cerca que puedes estar de la nada...”.⁵¹ Asimismo, Jason Chase declara que Singularity Black: “es más aire que cualquier otra cosa”.⁵²

En la investigación sobre materiales, con frecuencia se exploran sustancias “intangibles”, imposibles de ser tocadas, la materialidad de la sustancia se construye sin un estado material aparente, se investiga lo que no se ve por la huella de su presencia invisible, de lo que existe, es decir de las paredes cilíndricas de los nanotubos de carbono, de la estructura que aloja ese vacío, como bien lo problematiza Michael Kelly: “...la materialidad implica no solo el mundo físico tangible sino también su estructura, que es inmaterial y a veces asociada con lo sagrado o sublime (como caos o complejidad)”.⁵³ En este caso, no solo el vacío es intangible, también lo es la estructura nanométrica de los nanotubos de carbono, pero la idea de vacío que evocan la exceden. La materialidad, en esta investigación, no debe ser entendida como la intangibilidad del vacío en los nanotubos de carbono, ni tampoco como la representación del vacío, sino la manera en la que el vacío se relaciona con otros actores o agentes sociales en la narración contemporánea. Lambros Malafouris menciona que tanto la agencia como la intencionalidad son parte del compromiso de la materia, la zona gris donde se combinan el cerebro, el cuerpo y la cultura, en ningún caso deberían ser entendidas como propiedades, ni de lo material ni de lo humano.⁵⁴

Michael Ann Holly escribe:

⁵¹“Hostage pt.1 (2010) is the world’s first nano engineered blacker-than-black artwork (7cm H x 7cm W) ‘grown’ from carbon nanotubes able to capture all light at all frequencies. The ultra-black artworks consists of approximately 99,9% air and 0,1% carbon, so you literally look into nothing, a void space and the closest you can get to nothingness. Pure horizontal depth.” Akshat Rathi y Katherine Ellen Foley, “Hostage pt. 1.” *Frederik De Wilde*. 2015, <https://frederik-de-wilde.com/project/hostage-pt-1/> El proceso de experimentación que contempla la investigación, supone explorar en la veracidad de la información que proporciona el artista; sin embargo, su explicación nos acerca a comprender el comportamiento de lo lleno y lo vacío en los nanotubos de carbono.

⁵²Jason Chase, “Painting with carbon nanotubes, the blackest black Paint.” En *TEDxNaperville: 2019, 2’49”*. Consultado el 25 de abril de 2021 <https://www.youtube.com/watch?v=-uCY2pVi2PI&list=WL&index=16>

⁵³“...materiality implies not only the tangible physical world but also its structure, which is immaterial and sometimes associated with the sacred or sublime (such as chaos or complexity).” Michael Kelly Materiality’ en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 18.

⁵⁴“...archaeologist Lambros Malafouris describes how a potter throws clay on the wheel, and states that agency is established in the space between all the elements involved: while agency and intentionality may not be properties of things, they are not properties of humans either, they are the properties of material engagement, that is, of the grey zone where brain, body and culture conflate.” Lehmann, “The matter,” 35. Traducción mía.

No obstante, diría que debido a que estas imágenes digitales se manifiestan como presencias, es decir, aunque muchas de ellas se consideran incorpóreas, existen en forma de presencias "como si" con diferentes ontologías hechas reales en el mundo material. Enriquecen nuestras percepciones, llenan nuestra conciencia y se suman a las experiencias "como si" algo sustancial hubiera ocurrido.⁵⁵

¿Por qué mirar hacia la materia y reflexionar una vez más sobre materialidad? En términos de Latour: ¿Cómo *repensar* lo material? ¿Cómo comprender a los objetos fuera de binarismo «sujeto-objeto»? ¿Cómo derribar el «nosotros y ellos»? El giro material es, en parte, una respuesta al antropocentrismo que ha colocado lo humano sobre lo material, incluyendo lo material dentro de lo natural. Pero no ha sido la única manera de replantear esta relación, la Teoría del Actor Red ha sido otra manera de posicionar a los objetos como agentes de la historia, como actores, una categoría reservada a los seres humanos y su conciencia, pero su planteamiento no superó el binarismo antropocéntrico, Bruno Latour los llamó no-humanos, una vez más «nosotros y ellos» aunque ese esfuerzo es más complejo que el propio dualismo, por lo que considero relevante su aportación para comprender y reconocer la agencia de los nanotubos de carbono. Sin embargo, al igual que Latour hay otros autores que cuestionan esa relación que los sujetos occidentales han establecido con los objetos, así como nuestra relación con ellos a partir de su uso y valor. Arjun Appadurai es un antropólogo indio que en 1986 editó y escribió la introducción de *La vida social de las cosas*, una serie de ensayos en los que diversos autores reflexionan sobre una idea fundamental: “las personas y las cosas no son categorías radicalmente distintas”.⁵⁶ Si no son distintas, ¿cuáles son las similitudes? ¿En qué se distinguen?

Los materiales son documentos sobre el pasado, aunque en este caso los nanotubos de carbono son un vestigio paradójico del presente. La materia —los elementos fisicoquímicos— que compone cada pigmento actúa entre sí, cada variación en las recetas elaboradas por artistas, artesanos y alquimistas a lo largo de la historia produce cambios en el comportamiento y desempeño de los pigmentos y pinturas, cada cambio es específico de

⁵⁵“I would argue nevertheless, that because these digital images manifest themselves as presences, that is, even though many of them are regarded as disembodied, they exist in form of "as if" presences with different ontologies made real in the material world. They enrich our perceptions, fill our consciousnesses add to experiences "as if" something substance has transpired.” Michael Ann Holly, ‘Materiality’ en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 16.

⁵⁶Appadurai, “The thing itself,” 15.

la interacción entre sus elementos y de estos con el medio ambiente. El color es un fenómeno físico, pero el pigmento es una sustancia química que opera como intermediario para la producción del color, en este sentido los nanotubos de carbono pueden ser considerados dentro del marco de la intermedialidad: un sustrato que produce color al absorber casi toda la luz que incide sobre él.

Abordar una sustancia desde la Teoría del Actor Red nos permite ubicar el valor de los estudios científicos en relación con la historia; es decir, cómo los materiales se introducen en la cotidianidad, cómo atraviesan distintos y extenuantes procesos de apropiación y significación cultural y sobre todo capaces de construir su propia historia. El Azul de Prusia y los nanotubos de carbono tienen en común ser productos químicos que originaron un nuevo color, la forma industrial de producir colores durante el siglo XVIII tomó distancia tanto de la figura del alquimista como de la del artista, la consolidación de los pigmentos y pinturas industriales provocó no solo el control de la producción y la comercialización, sino también los mecanismos de consumo, este proceso es el mismo modelo que Surrey NanoSystems sigue hasta nuestros días, enfatizando las dificultades técnicas que implica la deposición química de vapor.

Los materiales tienen una composición fisicoquímica que les permite a las y los artistas comunicar ideas y significados a través de sus obras, de cierto modo si una obra de arte es como es porque se lo permite dicha composición, la piedra y su perpetuidad, la maleabilidad de la pintura frente al pincel y su agudeza para la representación figurativa son ejemplos de la relación entre el material y las posibilidades que le brinda a la obra de arte. ¿Cómo le permiten los nanotubos de carbono ser a la obra de arte? ¿Cómo podemos abordar el artefacto visual que se niega a ser visto en su tridimensionalidad? A los materiales les pertenece lo dinámico, lo que se transforma constantemente y no porque su composición fisicoquímica cambie, aunque de hecho lo haga sino porque cambia nuestra manera de relacionarnos con ellos y de ellos con el entorno. De manera que, si bien la obra de arte es resultado de un proceso cultural e histórico, en sí mismos los materiales entablan distintas relaciones que escapan de lo sociohistórico, relaciones que han ocurrido y ocurren fuera del escudriño humano. Es decir, los materiales juegan un papel activo en el mundo.

Repensar lo material es un modo de *reensamblar* el artefacto visual y comenzar a hablar de ella desde otro lugar de enunciación. Los nanotubos de carbono traen algo ante nuestra mirada que a simple vista no está: la tridimensionalidad. Con los nanotubos de carbono; por ejemplo, la tridimensionalidad se esconde en lo bidimensional, los nuevos materiales expanden nuestras capacidades ópticas, nos enfrentan a una nueva experiencia que generalmente excede nuestras capacidades perceptuales o por lo menos aquellas que creíamos dominar en el terreno de la pintura o la instalación; por ejemplo, en la instalación *Descent into limbo* (1992) que en 2018 Anish Kapoor expuso en el Museo de Arte Contemporáneo de Serralves, Portugal, en la que el lunes 13 de agosto del mismo año un hombre italiano de 60 años cayó 2.4 metros al no distinguir la profundidad del agujero⁵⁷ incluso pese a la señalética del lugar. *Descent into limbo* es un “círculo negro” en el suelo de una habitación, la antesala de un espacio lleno de opacidad, una especie de portal a las entrañas de la tierra, oscuro y profundo. La pieza nos ayuda a comprender un tipo de experiencia a la que se enfrentará la audiencia cuando el Vantablack sea utilizado en obras de arte. Para explicar a este negro casi absoluto hay que comprender que su relación con el espacio es inconmensurable, es decir, “como una extensión ilimitada de lo que es, en este caso, un campo espacial ostensiblemente indeterminado”.⁵⁸

Los nanotubos de carbono como el material más cercano al cero absoluto nos permite repensar el modo en el que interactúa con la luz, más allá de la negación, al igual que W. D. Wright y el artista francés Pierre Soulages, pienso la ausencia en su acepción positiva, más propiamente como condición de posibilidad, la ausencia como el intersticio de lo posible.

Hay que pensar en la negrura como una percepción positiva y no solo como la ausencia de cualquier sensación luminosa. Los pintores, sospecho, son muy conscientes de esto y han utilizado este concepto en sus imágenes, de modo que este es otro ejemplo más de que los científicos tienen mucho que aprender de los pintores. Sin embargo, para el fotometrista, dado

⁵⁷s/a, “Holed up: man falls into art installation of 8ft hole painted black”, *The Guardian*, (agosto 21, 2018), consultado 22 de septiembre de 2019. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2018/aug/21/holed-up-man-falls-into-art-installation-of-8ft-hole-painted-black>

⁵⁸“namely as an illimitable expanse of what is, in this, case, an ostensible indeterminate, if not infinitive spatial field.” Craig Staff, *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*, (Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015), 23.

que el negro está ubicado en el punto cero en la escala de luminancia, se piensa que también está ubicado en el punto cero en la escala subjetiva de brillo aparente.⁵⁹

Quizá sería más productivo partir del comportamiento de electroconducción de los nanotubos de carbono para pensar que el vacío que los compone hace eficiente el movimiento de los electrones en su interior. Alan Hodgkin, Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1963, identificó que es la oscuridad lo que permite que los bastones de la retina se exciten con los fotones y liberen un transmisor químico que convierte los fotones en mensajes eléctricos transmitidos al cerebro.⁶⁰ Sin la oscuridad que habita en los bastones no habría respuesta ante los impulsos de la región visible del espectro electromagnético.

Los materiales interactúan entre sí a nivel atómico, el aire los degrada, la luz del sol, el agua los oxida, se modifican, una obra de arte está hecha de materia, los pigmentos tienen un comportamiento con el medio, la luz, la superficie, el aire, el tiempo. La obra de arte siempre es un *ensamblaje*, es decir, un conjunto de objetos que articulados generan nuevas relaciones. Hoy en día, dicho ensamblaje quizá más que en otros periodos nos obliga a mirar fuera del texto, pues la forma pocas veces se relaciona con algún pasaje histórico, biográfico o religioso. Ahora la textura de la obra, sus dimensiones, su tamaño, su relación con el espacio y el entorno nos permiten acceder a un discurso antes silenciado por la interpretación.

El giro material nos permite caer en cuenta de las nuevas asociaciones entre lo no-humano y la historia. Los no-humanos antes llamados “cosas” están hechos de materia, la materialidad no es un concepto abstracto que debe ser añadido a la materia, sino un conjunto de relaciones entre la materia y la historia. Para comprenderlas es importante prescindir del binomio sujeto-objeto, pues nadie duda de la potencia expresiva de la obra de arte y tampoco de la capacidad expresiva del material. La discusión entre lo natural y lo social que fue

⁵⁹One has to think of blackness as a positive perception and not just the absence of any luminous sensation. Painters, I suspect, are well aware of this and make much use of this concept in their pictures, so this is yet another example of a scientist having a great deal to learn from painters. To the photometrist, however, since black is located at the zero point on the scale of luminance, it is thought of as also being located at the zero points on the subjective scale of apparent brightness. W.D. Wright, “The nature” of blackness in art and visual perception” en *On the meaning of order* (II). *Leonardo*, Vol. 14, No. 3 (primavera, 1981), 236. <http://www.jstor.org/stable/1574287>

⁶⁰“The electronical activity inside the visual cells in the retina, [...] it is darkness rather than light which makes the inside of the photoreceptor electrically positive, and which releases a chemical transmitter to excite the next layer of cells.” Wright, “The nature,” 236.

motor para la construcción del pensamiento científico, de manera insoslayable nos ha permitido explicar el mundo; sin embargo, ante la aparición de nuevos materiales es necesario repensar si esa oposición basta para comprenderlo.

Ciertamente, no podemos mirar a simple vista los intercambios atómicos entre la materia, pero podemos ver cómo la materia es afectada por otras presencias, el óxido, por ejemplo, nos muestra la humedad a veces imperceptible. La materialidad para Ingold es una ilusión, no es algo que se encuentre en los objetos, no es tangible ni siquiera a través de ellos:

Puedo tocar la roca ya sea de la pared de una cueva o la roca del suelo que está bajo mis pies y puedo sentir el material del que está hecha la roca. Pero no puedo tocar la materialidad de la roca. La superficie de la materialidad, en resumen, es una ilusión. No la podemos tocar porque no está ahí.⁶¹

Estas transformaciones en la materia implican para ella experiencias distintas con el medio ambiente que la degrada, erosiona, corroe, desgasta. Los materiales seguirán respirando, huyendo y digiriendo intercambios de información al interior de sus propios cuerpos y fuera de estos, el tiempo se manifiesta a través de ellos, la luz, el aire, la humedad afectan la materia, pero paradójicamente no son aspectos que formen parte del análisis formal e iconográfico de una obra de arte, entonces habrá que buscarlos entre las ruinas que la cultura dejó a su paso. “La corrosión de la historia solo apoya e intensifica la tendencia inherente de las cosas a pasar a un nuevo estado en su vida social. Y esto es tan cierto para los objetos de arte como para las cosas en general”.⁶² Los materiales son variaciones de la materia: turba, lignito, hulla, antracita, grafito, grafeno y nanotubos de carbono son variaciones, “experiencias” del carbono. Pero los nanotubos de carbono tienen su propia historia, pensemos en las transformaciones del carbono, todas y cada una de ellas hasta llegar a ser nanotubos de carbono verticalmente alineados, esa historia es la materialidad. “Describir las propiedades de los materiales es contar las historias de lo que les sucede a medida que fluyen,

⁶¹“I can touch the rock, whether of a cave wall or of the ground underfoot and can thereby gain a feel for what rock is like as a material. But I cannot touch the materiality of the rock. The surface of materiality, in short, is an illusion. We cannot touch it because it is not there.”. Tim Ingold, “Materials against materiality”, *Archaeological Dialogues 14*, (Reino Unido: Cambridge University Press, 2007), p. 7.

⁶²“The corrosion of history only supports and intensifies the inherent tendency of things to move on to some new state in their social lives. And this is as true of art objects as it is of things”. Appadurai, “The thing itself,” 16.

se mezclan y cambian”.⁶³ La materia, compuesta por átomos, es una especie de organismo que hay que saber mirar en los laboratorios de diagnóstico y análisis.

Las cosas son experimentadas de manera social, humanos y no-humanos interactuando, cada uno con sus propias historias. El estudio que presupone el giro material es de cierta forma una aproximación arqueológica, analizar un material incluso en el más científico y experimental es contar su historia de vida, visibilizar las transformaciones que pasan desapercibidas para la audiencia, una aproximación experimental nos permite entender una parte de la realidad a través de los no-humanos. ¿Qué nos dicen los nanotubos de carbono? ¿Su carácter tóxico no nos indica cómo debemos relacionarnos con ellos? ¿No es eso parte de la interpelación de su agencia? En todo caso, “el papel cultural de las mercancías no puede divorciarse en última instancia de la tecnología, la producción y el comercio”.⁶⁴

Bruno Latour nos permitió pensar la obra de arte, el artefacto visual como un ensamblaje, como un conjunto de piezas, estructuras y dinámicas socioculturales. En ese sentido, Appadurai confirma que: “Todo el arte es un ensamblaje momentáneo de personas y cosas en movimiento. Los objetos, ensamblajes, eventos y representaciones artísticas varían solo en la intensidad en la que niegan o celebran la trayectoria social a la que todas las cosas están sujetas”.⁶⁵ Dichas trayectorias conforman un conjunto imbricando (una red), los hilos de nuestro geoplano. Esta aproximación también nos permite reivindicar la relevancia de las cosas en la vida social de las personas a través de la afirmación o el reconocimiento de su agencia.

Los materiales como objetos no son repositorios de un significado simbólico o un valor monetario, a través de su agencia los materiales se rehúsan a ser simples instrumentos de representación, son más bien vehículos. La cercanía al negro absoluto de los nanotubos de carbono le permite evocar el caos profundo y desconocido de un hoyo negro. Así, aunque

⁶³“To describe the properties of materials is to tell the stories of what happens to them as they flow, mix and mutate.” Ingold, “Materials,” 14.

⁶⁴ Appadurai, *La vida social de las cosas*, 53.

⁶⁵“all art is a momentary assemblage of mobile persons and things and that art objects, assemblages, events, and performances vary only in the intensity of their interest in denying or celebrating the social trajectory to which all things are subjects.” Appadurai, “The thing itself,” 16.

Appadurai no habla del giro material, podríamos pensar que su argumento se encuentra con el de Michael Ann Holly, pues ambos lo consideran una oportunidad para repensar la objetualidad, pero él localiza la discusión en la grieta entre el ser mercancía y la materialidad de las cosas. “Esta tensión entre el dominio de la mercancía y la indisciplina de la cosa en sí marca el espacio donde el arte indio y sus marcadores pueden encontrar un posible espacio de redención, en el que la abstracción pueda permanecer más al servicio de la materialidad en vez de ser su ama”.⁶⁶

Traigo a cuenta esta cita de Appadurai con el propósito no solo de ubicar la discusión sobre el giro material y la objetualidad, sino porque evidencia otras relaciones que tienen las culturas no occidentales con la materia. Appadurai y Kapoor coinciden en esta aproximación. A riesgo de caer en el antropocentrismo antes mencionado y sin afán de ser interpretada como una defensora de una especie de determinismo cultural, hago hincapié en este aspecto por el programa estético que Anish Kapoor inició durante la exploración de los pigmentos con la serie *1000 Names* a inicios de la década de los 80. Sin embargo, reconozco las limitaciones que impone un acercamiento biográfico a un conjunto de obras de arte realizadas con nanotubos de carbono, por eso considero que la interpretación de Appadurai es conciliadora para el giro el material. Los materiales tienen una vida social, biográfica no en un sentido atomista, sino verdaderas afecciones y modificaciones en la historia que, a su vez modifican la historia vital de las personas. La vida de las cosas como registro del tiempo, de manera que, reconstruir la historia vital de las «cosas» en una especie de biografía como un género (“literario”) que consiste en estudiar y datar la vida de los materiales, un género tan subjetivo como arbitrario en tanto lo que es digno de ser estudiado. Esta investigación tampoco escapa al antropocentrismo que me impone esta especie de ejercicio biográfico de los nanotubos de carbono, por lo menos en los términos de Arjun Appadurai.

Aunque Kapoor ha negado en más de una ocasión que su producción debe ser considerada como arte indio, no porque niegue su influencia cultural, sino porque reconoce que los temas que aborda son en cierto modo signos de la existencia humana que, aunque tienen un espacio-

⁶⁶“This tension between the rule of the commodity and the unruliness of the thing itself marks the space where Indian art and its markers can find a possible space of redemption, in which abstraction can remain the servant of materiality rather than its master.” Appadurai, “The thing itself,” 21.

tiempo lo exceden. Con la serie *1000 Names*, Kapoor exploró las características materiales del pigmento, es decir, estaba interesado en él como una sustancia fisicoquímica, en la capacidad del pigmento de evocar y crear espacios. La forma autogenerada que explora la serie es una respuesta al objeto creado por el ser humano, la sustancia que se rehúsa a ser objeto o cosa, específicamente mercancía, porque “las mercancías, en virtud de su destino de intercambiabilidad y su mutua conmensurabilidad, tienden a disolver los lazos entre las personas y las cosa”.⁶⁷ Entonces, el lugar de enunciación de la forma autogenerada se modifica, ya no “contemplamos un objeto separado de nosotros, sino que nos fusionamos en él, desaparecemos junto con él, mientras que el espacio que nos rodea renace”.⁶⁸ Lo que ambos autores (Kapoor y Appadurai) nos permiten reflexionar es que no hay una verdadera oposición binaria entre lo físico y la trascendencia, entre lo simbólico y la materia, no es uno más importante que otro, ambos originan a la obra de arte. Kapoor apunta con el *Vantablack* hacia la inconmensurabilidad del vacío, su perpetua infinidad, la ausencia de sus límites. De manera particular el *Vantablack* silencia el régimen visual de la imagen para escuchar el silencio de lo ausente. ¿Podría otro material negro con base de carbono evocar el vacío de la manera en la que lo hacen los nanotubos de carbono?

Las mercancías [...] pueden concebirse provechosamente como si tuvieran historias vitales. En este enfoque de proceso, la fase mercantil en la historia vital de un objeto no agota su biografía; ésta culturalmente regulada, y su interpretación queda abierta en cierto grado a la manipulación individual [...] la mercancía no es un tipo de cosa en vez de otra, sino una fase en la vida de algunas cosas.⁶⁹

¿Los nanotubos de carbono cambian nuestra experiencia sobre el mundo? ¿Es posible replantear ciertos aspectos de nuestra manera de acercarnos a la imagen por medio de la negación de la luz que presuponen los nanotubos de carbono? Los nanotubos de carbono nos proponen una visualidad que se niega a sí misma, lo interesante es poder construir y registrar hoy su historia vital. Latour menciona que los no-humanos marcan nuestra experiencia del tiempo, somos otros después de la electricidad, somos otros después de la máquina de vapor, y lo somos después de Internet. ¿Seremos otros después de los nanotubos de carbono? Los

⁶⁷Appadurai, *La vida social de las cosas*, 41.

⁶⁸Lee Ufan, “Los prodigios del arte”, en *Anish Kapoor. Arqueología: biología*, Coord. Ekaterina Álvarez Romero (Ciudad de México: MUAC, 2015), 115.

⁶⁹Appadurai, *La vida social de las cosas*, 33.

materiales creados y diseñados en laboratorios o con proveniencia natural y orgánica cambian nuestro *estar* en el mundo, somos transformados por ellos, si no en un sentido esencial, sí en un sentido cotidiano. Por ejemplo, Internet cambió nuestra manera de estar en el mundo, esencialmente no modificó nuestra manera de comunicarnos o de utilizar el lenguaje; sin embargo, posibilitó que el intercambio de información venciese el tiempo y la distancia.

Los nanotubos de carbono nos invitan a pensar sus imposibilidades, sus paradojas o sus múltiples aporías, por un lado, niega la visualidad, pero al mismo tiempo crea su propio régimen. ¿Cómo participa la mano del ser humano en la creación de esta superficie? ¿Los nanotubos de carbono se depositan o se cultivan? La literatura nos dice que el proceso de fabricación de los nanotubos de carbono se lleva a cabo a través de la deposición química de vapor, en sentido estricto los nanotubos aparecen sobre la superficie del sustrato; es decir, al interior de las cámaras al alto vacío el proceso se lleva a cabo al margen de la participación humana. Los seres humanos participan en la fabricación de las máquinas en las que se producen, nuestra participación es solo de manera indirecta. Los nanotubos de carbono no se cultivan porque a diferencia de un cultivo agrícola o biológico pueden prescindir de los “cuidados” de la mano de la especie humana.

2. El color y la luz: un encuentro entre los paradigmas científicos y los estilos artísticos

Podemos distinguir objetos iguales, pero de colores distintos porque cada uno absorbe ciertas longitudes de onda del espectro visible, mientras que otros las rechazan. El espectro visible es una pequeña porción del espectro electromagnético en el que viajen las longitudes de onda de modo que, por grande que parezca el libro de Tauba Auerbach *RGB Colorspace Atlas*, sus 3 mil 632 páginas en las que podemos ver todas las combinaciones posibles entre el rojo, verde y azul no son suficientes para dar cuenta de la complejidad de la totalidad del espectro electromagnético. En sentido estricto, el color que percibimos en un objeto es precisamente el color que no está presente en él, percibimos la parte del espectro electromagnético que éste es capaz de reflejar. “Todos los cuerpos opacos, al ser iluminados, tienen la propiedad de reflejar toda o parte de la luz que reciben [...] Si el cuerpo iluminado es negro, ocurrirá todo lo contrario; en principio, llegarán al cuerpo negro los tres colores primarios; pero luego serán absorbidos totalmente”.⁷⁰

El fenómeno del color ocurre en el ojo humano, específicamente, en los conos que se agrupan en la fovea. El ojo humano tiene dos tipos de células fotosensibles: conos y bastones; mientras que los bastones nos permiten ver en la oscuridad —su principal función es distinguir la luz de la sombra—, los conos nos permiten apreciar el color; en 1mm² hay 150 mil conos.⁷¹ Pero no todos los conos son iguales, se diferencian por ser selectivos, los conos tipo L son sensibles a las longitudes de onda larga, los M a las longitudes de onda mediana y los S a las longitudes de onda corta. El tipo L tiene una sustancia llamada eritropsina, la responsable de absorber una longitud de onda de 560 nanómetros que corresponden al color rojo; por su parte, el tipo M contienen cloropsina, sustancia que absorbe 530 nanómetros propios del color verde.⁷² Finalmente, el tipo S posee cianopsina una sustancia sensible a longitudes de onda de 440 nanómetros mejor conocidos como amarillo. Estos tres tipos de conos en realidad absorben

⁷⁰José M. Parramón, *Teoría y práctica del color*, (Parramón ediciones), 14.

<https://gabrielagarbo.files.wordpress.com/2010/01/jose-parramon-teoria-y-practica-del-color2.pdf>

⁷¹Neirl A. Campbell, *Biología. Conceptos y relaciones*, (México: Pearson, 2001), 593

⁷²Kassia St. Clair, *The secret lives of color*, (Nueva York: Penguin, 2017), 16.

un amplio rango de colores y en conjunto pueden detectar, virtualmente, cualquier color en el espectro visible (entre el ultravioleta y el infrarrojo).

Podemos percibir una gran cantidad de colores gracias a que “la luz de cada color en particular ocasiona un patrón de estimulación único en millones de conos de la retina”,⁷³ dicho así y pese a que resulte insuficiente, no podemos negar que *RGB Colorspace Atlas* es un proyecto ambicioso. Los nanotubos de carbono son una trampa para nuestros bastones, pues sin luz difusa es imposible que transmitan información sobre la tridimensionalidad del entorno y el objeto hacia la corteza cerebral. Esta explicación nos introduce en una discusión todavía más interesante de índole metafísica, aunque no me ocuparé de ella: ¿El color existe o es una manifestación interna de nuestro cerebro? ¿El color es una cualidad de los objetos o una propiedad de la luz?

La luz y el color no son sinónimos, aunque en el terreno de la física y la óptica el color sea resultado de un modo de ser de la luz, los alquimistas identificaron el comportamiento de los pigmentos en su práctica material, desarrollando una tecnología que les permitió crear colores y manipularlos. En parte, la alquimia era una práctica especializada basada en la observación, el análisis y experimentación de los pigmentos.

Los alquimistas sabían que los colores le pertenecían a las sustancias y los colores aparentes eran efectos de la luz. La alquimia que experimentaba las sustancias produjo un conocimiento material sobre los colores, al igual que el teñido textil su labor no fue considerada una tarea menor. Aunque la aproximación científico-experimental de Isaac Newton abordó una discusión fundante sobre la luz (que desplazó con el tiempo a la alquimia), las características físicas de los pigmentos escaparon a los ideales ópticos propuestos por Newton, pero eso no impidió que la práctica pictórica fuera influida por los descubrimientos científicos de la época. “lo verdaderamente impactante de sus investigaciones ópticas fue su demostración de que todas las radiaciones del espectro [...] eran expresiones cromáticas independientes que no

⁷³Neirl A. Campbell, *Biología*, 593.

podían considerarse resultado de la mezcla de otros colores”.⁷⁴ El color debe ser entendido como luz y materia, un fenómeno que nos obliga a abordarlo desde ambas aristas.

Un ejemplo de la influencia científica de Newton durante el siglo XIX es el metrócromo. Cien años después de la *Óptica*, George Field diseñó y construyó uno de los primeros instrumentos de medición cromática el cromómetro o metrócromo, basado en los principios de absorción de la luz. Field “llegó a pensar que los colores primarios se relacionaban con los principales minerales y las tierras: ‘Así, el *aluminio* es la base natural para los *rojos*, el silicio para los *azules* y la *cal* para los *amarillos*’”.⁷⁵ En el texto “Algo más sobre la palabra «Cromatografía»”, J. M. Bueno Marco menciona que para George Field la cromatografía significaba describir el color y concebía al metrócromo como una “especie de espectrofotómetro ideado por él para el análisis de los colores, basado en el principio de utilizar tres vasos conteniendo líquidos de color rojo, amarillo y azul [...] Aunque el metrócromo no separaba los colores (como en el caso de Newton), sino que los medía a través de una mezcla de los tres colores primarios”.⁷⁶

Durante 1665 y 1666, Isaac Newton realizó varios experimentos con prismas de cristal que buscaban conocer el comportamiento de la luz y en todo caso responder a la pregunta: ¿Qué es la luz? Una de sus obras más importantes *Óptica: o un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, publicada en 1704, corresponde a estos experimentos. Pasaron casi 40 años desde que Newton comenzó con los experimentos hasta la publicación de la obra, pues además de ser una contribución a la óptica, fue un hecho importante por dos razones; la primera, y a la que Heriberto Ramírez referencia en la presentación de *Ensayos de Óptica. Newton y la naturaleza de la luz*⁷⁷ es que la publicación de *Quaestiones quaedam philosophicae* permitió que otros pensadores de la época refutaran

⁷⁴John Gage, *Color y cultura. La práctica y el significado del color de la Antigüedad a la abstracción*, (Singapor: Siruela, 2001), 154.

⁷⁵Gage, *Color y cultura*, 216.

⁷⁶J. M. Bueno Marco, “Algo más sobre la palabra «Cromatografía»”, en *Cromatografía y Técnicas Afines*, Vol. 22, (2001), 57. *Entre paréntesis mías*.

⁷⁷Heriberto Ramírez, *Ensayos de Óptica. Newton y la naturaleza de la luz*, (México, UNAM), 2016, 15-23.

y replicaran los experimentos de Newton;⁷⁸ la segunda, de orden metodológico corresponde al establecimiento del método experimental como el paradigma del conocimiento científico, aunque también es cierto que no fue la única manera de hacer ciencia como lo menciona Juan Pimentel: “es discutible que dicho método fuera un método homogéneo y compacto, y mucho menos, como algunos han querido ver, que fuera ‘el método científico’ por antonomasia, pues jamás hubo uno tan hegemónico que monopolizara las muchas formas de hacer ciencia”.⁷⁹

Los experimentos de Newton demostraron que la luz solar, que hasta el momento era considerada homogénea, en realidad es heterogénea; es decir, una mezcla de rayos diferentemente refrangibles que corresponden a lo que llamamos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta; en otras palabras, que los colores no son cualidades de los objetos, sino propiedades de las longitudes de onda, vibraciones. “La luz no es similar y homogénea, sino que consiste en rayos disformes, algunos de los cuales son más refrangibles que otros: así aquellos que sean incidentes en forma similar en el mismo medio, algunos serán más refractados que otros, y no por ninguna virtud del cristal u otra causa externa, sino por una predisposición, que consiste en que cada rayo particular tiene que sufrir un grado particular de refracción”.⁸⁰

Las hipótesis y los experimentos de Newton sobre la luz fueron determinantes para el negro, considerando desde entonces un no-color; sin embargo, para Newton no era ajeno el valor simbólico de la luz y por ende el de la oscuridad como oposición binaria. Durante la Ilustración la luz fue utilizada como metáfora de la verdad que permanecía entre las sombras de la oscuridad hasta no ser desvelada por el conocimiento. Luz y oscuridad son «misterios» por conocer, recordemos la acepción de misterio propuesta al inicio del trabajo.

⁷⁸“Estos documentos fueron los primeros pronunciamientos públicos del hombre que ha sido parte de todas las generaciones subsecuentes el arquetipo de creatividad científica preeminente, y su aparición en los primeros volúmenes de las *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* constituyó la primera contribución importante a la ciencia hecha por medio de una publicación técnica, el medio que rápidamente se convirtió en el modo estándar de comunicación entre científicos.” Thomas S. Kuhn, “Los documentos de Óptica de Newton” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 97.

⁷⁹Juan Pimentel, “Teorías de la luz y el color en la época de las luces. De Newton a Goethe”, *Arbor* 191, no. 775 (2015), 6.

⁸⁰“De Newton a Oldenburg” Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 41.

Los críticos de Newton apuntaron que más bien los experimentos describían “satisfactoriamente un accidente del fenómeno de la luz”,⁸¹ un comportamiento específico de la luz en circunstancias concretas, pero no necesariamente la naturaleza —en sí— de la luz. Por lo que él mismo tuvo que aceptar que sus experimentos no alcanzaron a determinar qué es la luz en sí, sino que la luz es “una cosa capaz de excitar vibraciones en el éter”.⁸² Newton perteneciente a la tradición matemática entendía la luz de manera mecanicista e incluso geométrica (como venía ocurriendo desde el Renacimiento), de donde devino el conjunto de teorías ondulatorias durante los siglos XVIII y XIX, las cuales asumían “que los rayos de luz son cuerpos pequeños que se emiten para lados desde las sustancias brillantes, estos, cuando chocan con cualquier superficie reflectante o refractante, necesariamente excitan vibraciones en el éter, de la manera que hacen las rocas se alejan del agua”.⁸³ Las explicaciones de Newton enfatizaron que la luz es un fenómeno natural, incluso hoy podemos definirla “como un conjunto de partículas, pulsos, unas vibraciones o unas ondas en movimiento”.⁸⁴ Por antitética que parezca esta idea sobre la luz y el color será importante tiempo después para la psicología del color.

Todos los objetos están calificados para reflejar un tipo de luz, a ese tipo de luz se le puede llamar color. Los nanotubos de carbono están calificados para absorber el 99.96% de energía visible del espectro electromagnético, esa absorción casi absoluta de la luz nos enfrenta a una experiencia nueva, el nacimiento de un nuevo color —aunque no en el sentido newtoniano— que no depende de la incidencia de luz, uso el término color porque tampoco conozco una palabra que describa mejor al fenómeno, negarlo («no-color») niega también los aspectos simbólicos y pragmáticos de las sustancias y los materiales negro que han sido usados a la largo de la historia por la humanidad.

Los nanotubos de carbono brindan una experiencia visual que no depende de la refracción como lo hacen otros colores, o depende de ella, pero en el sentido inverso, proporcionándonos el negro más abisal. Para Isaac Newton, “no se puede discutir más si existen colores en la

⁸¹Pimentel, “Teorías de la luz,” 5.

⁸²Isaac Newton, “Una hipótesis,” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 61.

⁸³Isaac Newton, “Una hipótesis,” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 62.

⁸⁴Pimentel, “Teorías de la luz,” 7.

oscuridad, ni si son cualidades de los objetos que vemos, ni tampoco quizá, si la luz es un cuerpo. Ya que los colores son las cualidades de la luz, teniendo sus rayos como su objeto completo e inmediato, ¿cómo podemos pensar que esos rayos son *cualidades* también, a menos que una cualidad pueda ser objeto de y sostener a otros, lo cual en efecto es llamarla sustancia”.⁸⁵ Los nanotubos de carbono son una sustancia que sorprendería a Isaac Newton por la opacidad que logra en las superficies tridimensionales. ¿Afecta o modifica nuestra percepción del mundo el “borramiento” que presupone la absorción del 99.96% de luz?

¿Por qué resulta inútil querer obtener un negro profundo mezclando colores? Mezclar colores para obtener un negro profundo es inútil tanto en la óptica como en la química. Siguiendo a Hermann von Helmholtz hay dos tipos de mezclas de colores: aditiva y sustractiva.⁸⁶ La aditiva se refiere a la combinación de distintas longitudes de onda que al sumarse resultan en la luz blanca, tal y como lo demostró Isaac Newton en sus experimentos; en las mezclas sustractivas, aquellas que se dan entre pigmentos ocurre que, cada uno al mezclarse entre sí pierde valor en su longitud de onda respecto al espectro visible.⁸⁷ La aportación de Isaac Newton sobre la luz cambió el rumbo de los estudios sobre el color que hasta ese momento habían sido de interés principalmente para la tratadística y los pintores, convirtiéndose así en objeto de estudio para las ciencias experimentales.

Newton explica que:

Las transmutaciones hechas por la concentración de diferentes colores no son reales; ya que cuando los rayos disformes son separados de nuevo, exhibirán de nuevo los mismos colores que hacían antes de entrar a la composición; como se ve, los polvos *azules* y *amarillos*, cuando se mezclan finamente, aparecen al ojo color *verde*, y aun así los colores de los corpúsculos componentes no han sido realmente transmutados por ello, sino que solo se han mezclado. Cuando se ven con un buen microscopio, aun aparecen en intervalos azules y amarillos.⁸⁸

⁸⁵ Isaac Newton, “Nueva teoría acerca de la luz y los colores” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 46.

⁸⁶ Martin Kemp, *La ciencia del arte. La óptica en el arte de Brunelleschi a Seurat*, (España: Akal, 2000) 333.

⁸⁷ “Essentially, there are two different types of color mixing: additive and subtractive. With additive mixing, different light wavelengths are combined to create different colors, and when added together the result is white light. This is what Newton demonstrated with his prisms. However, the opposite happens when paints are mixed. Since each pigment only reflects back to the eye a proportion of the available light, when several are mixed together more and more wavelengths are subtracted. Mix enough together and very little of the visible spectrum is reflected, so we will perceive the mixture to be black, or very close to it.” St. Clair, *The secret*, 20-21.

⁸⁸ Isaac Newton, “Nueva teoría” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 43.

Este ejemplo del estudio material de los pigmentos realizado por Isaac Newton demuestra que, a simple vista las mezclas que presuponen una pérdida en realidad no modifican la estructura fisicoquímica de los pigmentos o mejor dicho de las propiedades innatas de las distintas longitudes de onda.

Entre 1790 y 1810 Johann Wolfgang von Goethe trabajó en su teoría de los colores, como respuesta a la *Óptica* de Newton, ambos coincidían en el régimen escópico (como lo llamaría mucho tiempo después Martin Jay en *Ojos abatidos. La denigración de la visión en el pensamiento francés de siglo XX*) de la percepción visual, pero diferían en asumir una noción mecanicista del color. “Goethe negó que los colores formaran parte de la luz, más bien eran gradaciones del color de la luz con la oscuridad, siendo el amarillo la primera variación y el azul la última, la más cercana a las sombras”.⁸⁹

Goethe apelaba a la materialidad del color, a la experiencia que generaba como estímulo sensible; en los comentarios de la séptima lámina de su teoría del color —en la que por supuesto replicó y explicó los experimentos de Newton— escribe:

en ella (en la lámina) se han reunido algunas capciosas y falsas figuras de Newton, tal como desgraciadamente vienen repitiéndose desde hace un siglo de manera irresponsable en todos los compendios, diccionarios enciclopédicos y demás libros de texto [...] un rayo de luz de cierta anchura atraviesa el prisma y sale por detrás de este como una imagen alargada sobre la lámina. Pero lo que ocurre en realidad en el prisma, y entre el prisma y la lámina, no se dicen y se silencia. [...] Delante del prisma, todas las líneas son absolutamente hipotéticas.⁹⁰

A Goethe le resultaba insuficiente saber que los colores son manifestaciones heterogéneas de la luz, por lo que diseñó su propio modelo del comportamiento de los colores: un círculo cromático. Aunque Goethe no fue el primero en hacer un círculo cromático, los estudios sobre el color se remontan a la Antigüedad, la oposición entre el blanco y el negro ni siquiera es propia del cristianismo, como tampoco lo ha sido la necesidad de explicar y organizar al «color». “Las primeras fuentes escritas griegas sobre el color, que aparecen en la poesía del Alcmeón de Crotona (principios del siglo V a.C.), insisten en la antítesis entre el blanco y

⁸⁹Pimentel, “Teorías de la luz,” 10.

⁹⁰Johann Wolfgang von Goethe, *Teoría de los colores: las láminas comentadas*, (Barcelona: Gustavo Gili, 2019), 27.

negro o entre la oscuridad y la luz”.⁹¹ Existió y existe todavía un entendimiento cosmogónico sobre el color ligado; por ejemplo, a los elementos naturales, un uso indicativo y simbólico. En el tratado *De Pictura* escrito en 1434 por Leon Battista Alberti es posible rastrear cómo se recupera la tradición antigua de relacionar los colores “primarios” con los elementos de la naturaleza, el rojo con el fuego, el azul con el aire, el verde con el agua y el pardo con el color de la tierra.

Goethe dividió los colores en tres categorías; los colores fisiológicos, aquellos colores producidos en la retina del ojo humano (rojo, verde y azul); los colores físicos, aquellos colores que resultan de los fenómenos atmosféricos, pensemos; por ejemplo, en el gris Payne que permitió la representación de la perspectiva atmosférica, aunque para el tiempo de Goethe ese gris todavía no existía, hago referencia a su color pues pertenece a un fenómeno atmosférico. Finalmente, los colores químicos creados de la oposición binaria gradual entre el amarillo y el azul; el amarillo cercano a la luz y el azul a la oscuridad; los colores químicos también se conocían como colores materiales, puesto que se obtenían con frecuencia de materia orgánica.⁹² La aproximación al color por parte de Goethe fue fenomenológica, partía de la observación más que de la experimentación —entendiendo por experimentación la reproducción del fenómeno para observarlo y concluir— las diferentes láminas que propuso en su teoría del color son el conjunto de sus observaciones sobre el comportamiento del color. El trabajo *De lo espiritual en el arte* (1912) de Vasili Kandinsky será un heredero de la tradición de Johann Wolfgang von Goethe.

Goethe basaba sus deducciones en experimentos en los que inspeccionaba los límites entre áreas claras y oscuras a través de un prisma y observaba las franjas coloreadas que aparecían donde se desplazaba la imagen de los bordes [...] Él llegó a la conclusión de que la luz era homogénea, que solo creaba color al ser perturbada por la oscuridad.⁹³

A la distancia, lejos de considerar esta polémica entre Goethe y Newton como una confrontación en el entremedio de la aproximación mecanicista y fenomenológica se encuentra la discusión que Bruno Latour pretende introducir con la Teoría del Actor Red

⁹¹Gage, *Color y cultura*, 12.

⁹²Pimentel, “Teorías de la luz,” 9-10.

⁹³Gage, *Color y cultura*, 201.

como una estrategia teórico-metodológica que brindan información complementaria sobre actores no-humanos, llámense luz o color. El trabajo de Goethe no pretende dominar la naturaleza del color, sino dialogar con ella; como tampoco la explicación de Newton aspiraba a agotar las explicaciones sobre la naturaleza de la luz. Goethe sabía sobre la imposibilidad de los significados universales del color y Newton que, aunque lo veía en sus experimentos podía ser corroborado sus conclusiones correspondían a un comportamiento específico de la luz.

En la Edad Media el azul era considerado un color cálido, quizá el más cálido, hoy es un color frío. Los colores no pueden ser fríos, ni cálidos, pero clasificarlos de esta forma es una manera más de hacerlos asequibles; sin embargo, habrá que tener presente siempre que todas las clasificaciones se hallan en consideración. El estudio del color correspondiente a cada época se encuentra motivado por un programa artístico o científico e independientemente de cual sea su naturaleza cada aproximación se encuentra vinculada a las necesidades prácticas de las disciplinas en las que se originan, por lo que cada una tendrá una parte de la “verdad” sobre la naturaleza del color. Incluso cuando parezcan excluirse, todas abordan aspectos fundamentales para la comprensión material del color y la luz. Frente al color hay que mantener una actitud ecléctica.

La teoría del color de Goethe, el aceite, el tubo de óleo industrial y el comportamiento del material en las paletas de los artistas permitió que los pintores se relacionaran de una manera “íntima” con el color, que lo experimentaran. Desordenar los colores en las paletas del siglo XX que siempre habían estado relacionados con el orden de diversos sistemas cromáticos permitió que las y los artistas entablaran una relación sensual con la materia, tal como lo recupera John Gage: “Matisse consideraba que el orden solo podía establecerse en el lienzo medida que se pintaba; las múltiples paletas de color que le rodeaban y las representaciones de las mismas que aparecen en sus pinturas y dibujos [...] se resisten al análisis, ya que difieren considerablemente entre sí y no parecer responder a principios de organización comunes”.⁹⁴

⁹⁴Gage, *Color y cultura*, 188.

Esta “desorganización” y relación sensual del color encaminó a la materia para ser protagonista en el cuadro, consolidando el camino hacia la abstracción. El dibujo ya no era considerado la columna vertebral de la composición, pues bastaba la materialidad del color para articular un cuadro entero. “Paul Klee y Wassily Kandinsky, contemporáneos de Matisse, ya se habían dado cuenta de que lo que ocurría en la caja de pinturas o en la paleta era más importante para el trabajo artístico que lo que ocurría en la naturaleza, en la temática aparente”.⁹⁵ Ellos identificaron que el color de los pigmentos y el color de las pinturas era capaz de generar «sensaciones cromáticas» o «vibraciones espirituales» como las llamaba Kandinsky o «estado mental» como lo llamó Yves Klein. Klein quería demostrar que los pigmentos “son sustancias con propiedades y atributos específicos, [...] en sí mismos obras de arte, frutos de la habilidad y la creatividad, y sustancias magníficas por su elegancia y esplendor”.⁹⁶

Una solución al problema quizá sea pensar en los efectos psicológicos del color desde su relación signica —no necesariamente simbólica—; ejemplo, los nanotubos de carbono como signo del vacío, del vacío físico, donde no hay aparentemente «algo», pero en el que la negación de luz nos acerca a un tipo de experiencia sobre la profundidad y la perspectiva de un negro “tan saturado” como los colores brillantes del Impresionismo que tuvo lugar con la proliferación los pigmentos sintéticos y su aspiración de pintar la luz.⁹⁷

Una de las premisas desarrolladas por G. L. Allesche en 1925 en sus estudios sobre las preferencias cromáticas de distintos grupos poblacionales fue la identificación del placer “producido por los colores brillantes, saturados, era el mismo en todos los períodos y en todos los pueblos”,⁹⁸ aunque no podemos establecer un principio de universalidad a partir de esta conclusión, sí podemos decir que los nanotubos de carbono pueden generar sensaciones de placer, miedo, angustia o quietud ante lo que se supone es una nueva experiencia visual. Depositar nanotubos de carbono en un sustrato o superficie es una experiencia material que no solo se relaciona con el comportamiento de la luz, sino con la

⁹⁵Gage, *Color y cultura*, 188.

⁹⁶Phillip Ball, *La invención del color*, (España: Fondo de Cultura Económica, 2003) 23 y 30.

⁹⁷Gage, *Color y cultura*, 222.

⁹⁸Gage, *Color y cultura*, 208.

idea del color como sustancia, un producto fisicoquímico, un material poseedor de “misterios” revelados a través de la observación microscópica, un actor no-humano.

El estudio material de los pigmentos que había propuesto George Field resultó relevante para el análisis de los pigmentos sintéticos, los entonces nuevos pigmentos fueron recibidos con recelo, pues se consideraban una alteración al orden natural del color, pero sobre todo porque se desconocía cómo los afectaría el deterioro a lo largo del tiempo. El acercamiento al color que propuso este nuevo tratamiento de la materia requería manuales que abordaran las cualidades y los defectos de los pigmentos, por lo que la *Royal Academy* montó al inicio del siglo XX el primer laboratorio de análisis material. “La producción en masa de colores provocó la invención de los pigmentos sintéticos, que a su vez impulsó programas de investigación”,⁹⁹ que buscaban revelar en qué radicaba la estabilidad de los materiales usados en las obras de arte icónicas para el estudio de la Historia del Arte.

La relación de los pigmentos con el tiempo, la textura que es capaz de adquirir el empaste de la pintura y el tono de cada material era preocupaciones importantes del siglo XX, para Nikolai Tarabukin “Los colores [materiales] poseen un valor estético autónomo que no acaba en el tono. Poseen un material estético específico que es un elemento más del todo el colorido... queda claro que la misma obra de arte nos afecta de modo diferente según sea pintada al óleo, a la acuarela o al temple”.¹⁰⁰ A este comportamiento es lo que denominé usos o transformaciones de los materiales, a las formas que pueden adquirir y a los modos de ser que tienen cuando se relacionan con otros elementos. El color, pero más precisamente el material, puede ser considerado como un elemento constructivo igual que cualquier otro. Los materiales son capaces de dar forma a la composición, pero no solo una forma de representación, sino una forma “tangible”. Fue así como, el color, según John Gage, se convirtió en el paradigma de lo visual equiparable al lenguaje, pero con sus propias estructuras lingüísticas.¹⁰¹

⁹⁹Gage, *Color y cultura*, 214.

¹⁰⁰Gage, *Color y cultura*, 225.

¹⁰¹Gage, *Color y cultura*, 247.

La pintura abstracta estaba interesada en indagar sobre los códigos del color y los poderosos efectos cromáticos que le daban autonomía frente al dibujo y la decoración. El color “iba a allanar el camino para el arte no representacional; parecía inaugurar una nueva era de libertad visual sin precedentes”.¹⁰² La pintura abstracta rescató algunos preceptos de la psicología del color, pero comprendió que el color era también una categoría filosófica y experimental (científica). Con el establecimiento de la Bauhaus en 1919 se hizo evidente la necesidad de estudiar el color de manera interdisciplinaria, pues no bastaba explicar el comportamiento de la luz, también había que considerar sus aspectos fisiológicos y psicológicos, que en realidad nunca fueron ajenos al arte.

La autonomía que el color adquirió con la pintura abstracta de Piet Mondrian, estaba condenada a las formas geométricas de acuerdo a Josef Albers. Había que ir un paso hacia adelante para continuar con su proceso de liberación, una estrategia fue difuminar los contornos (como en el caso de Mark Rothko) donde lo geométrico adquiriría forma por el color y no el color a través de lo geométrico. ¿Cómo podemos sumar a la autonomía del negro con los nanotubos de carbono si cuando no los tenemos de frente solo podemos comprenderlos a través de formas geométricas? La representación geométrica de la luz que propuso Newton hace 300 años nos orienta de igual modo a comprender el porqué la ausencia de “luz” puede ser entendida a través de representaciones abstractas. Un círculo en el suelo, un hoyo en la pared, una idea de portal que coquetea desde hace tiempo con distintas manifestaciones del arte contemporáneo. Por ahora, es necesario reconocer que aun como elemento didáctico los nanotubos de carbono se encuentran sometidos a la forma geométrica. Al mismo tiempo que es capaz de liberar a la perspectiva, se somete a los principios geométricos de la forma. Hasta hoy, la omisión de la tridimensionalidad a la que nos invitan los nanotubos de carbono solo puede ser comprendida en unidades geométricas cuando no se tiene frente a frente.

El Expresionismo estimuló la experimentación con materiales industriales, los materiales adoptaron un papel fundamental para la comprensión de la pintura a nivel estético y científico, pues llevaron al límite los materiales pictóricos y a los materiales industriales al

¹⁰²Gage, *Color y cultura*, 247.

lenguaje pictórico, los márgenes extendidos del lienzo requerían botes grandes de pintura,¹⁰³ el Expresionismo despertó la “sensualidad” empírica con el material (pinturas, lienzos y brochas) a la que estaban vinculados los tintoreros y los alquimistas.

En 1915, Kazimir Malevich realizó *la Última exposición futurista: 0.10* en una galería de San Petersburgo, ahí presentó *Black Square* [img.1], una pintura no representacional que se aleja de las formas naturales y se compromete con la representación geométrica en pos de la abstracción. De acuerdo con Philip Shaw la pintura podría ser interpretada bajo los términos de lo sublime en la teoría kantiana: “La experiencia de contemplar la pintura implica, pues, una sensación de dolor provocada por la ruptura de la representación seguida de una poderosa sensación de alivio, incluso de júbilo, ante la idea de que lo informe o lo masivo pueda, no obstante, ser captado como un modo de razón”.¹⁰⁴ El suprematismo, sus formas y colores, aspira a una sensibilidad pura,¹⁰⁵ el vacío de *Black Square* no es el cuadrado suspendido, sino el marco blanco que dispone al cuadrado negro como la obra de arte. Lo sublime aparece en esta relación tirante entre el espacio vacío y el pigmento negro como un objeto material. El lienzo convertido en una superficie llana elimina los planos —figura y fondo aparecen en el mismo— para destruir la perspectiva figurativa basada en la distancia racional mimética.

Malevich quería reducir todo a cero y luego ir más allá de él, pero multiplicó las condiciones de posibilidad del negro abstracto que quería ser nada; incluso en la cercanía al negro absoluto de los nanotubos de carbono existen infinitas posibilidades. El negro en su uso monocromo se convirtió en una expresión del infinito carente de referencias objetivas. “La primera pintura no objetiva no solo carece de objetos representados en ella. Sino también de

¹⁰³Gage, *Color y cultura*, 267.

¹⁰⁴“The experience of viewing the painting thus involves a feeling of pain brought about by the breakdown of representation followed by a powerful sense of relief, even elation, at the thought that the formless or massive can nevertheless be grasped as a mode of reason.” Philip Shaw, ‘Kasimir Malevich’s Black Square’, en Nigel Llewellyn y Christine Riding (eds.), *The Art of the Sublime*, (Tate Research Publication, enero 2013), <https://www.tate.org.uk/art/research-publications/the-sublime/philip-shaw-kasimir-Malevichs-black-square-r1141459>, consultado el 20 de agosto de 2020.

¹⁰⁵Evelyn Weiss, *Vanguardia Rusa: 1910-1930*, (Madrid: Fundación Juan March, 1985) 7.

un objetivo: sin fin y sin final al mismo tiempo”.¹⁰⁶ *Black Square* es una invitación para pensar en la vastedad de infinito. En ese momento, considerando al negro como símbolo del infinito, la audiencia debía comprometerse a imaginarlo; sin embargo, ya estaban presentes de algún modo las incógnitas y las paradojas que hoy los nanotubos de carbono colocan ante nuestros ojos, “una imagen visual que habla de la imposibilidad de ver, encarnada en un objeto cuya razón misma de existir es ser vista”.¹⁰⁷

Pero no fue Malevich el primero en pensar lo infinito desde la abstracción geométrica del cuadrado negro. En 1617, Robert Fludd publicó el primer tomo de *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris metaphysica, physica atque technica historia*; en el primer tratado, libro I, capítulo V, el cosmólogo aborda el posible origen del universo, una especie de pre-universo o un no-universo. ¿Qué hubo antes de que existiera el Universo? Para responder a la pregunta, Fludd propuso un diagrama de la nada. Fludd consciente de los límites de la representación y prodigalidad de lo infinito, dibujó un cuadrado, lo coloreó de negro, pero escribió en cada lado: “Et sic in infinitum”.¹⁰⁸ [img. 2], Fludd quería que su cuadrado negro evocara la oscuridad primaria e indiferenciada anterior al inicio de los tiempos, para los alquimistas esta materia «primigenia» era; sin embargo, fecundada y transformada, conceptos como las singularidades del universo y el principio de gravedad dialogan con la idea de Fludd.¹⁰⁹

La imagen que él produjo es profundamente contemporánea —no parecen haber transcurrido en ella 404 años— es austera y simple, dejando al *todo* suspendido en cada uno de sus lados, es como si a través de un cuadrado surgiera la forma del universo y a la vez, un Universo entero estuviera contenido en un cuadrado negro. Fludd intuía que el negro contiene a todos

¹⁰⁶“The first non-objectivity painting is not only without objects represented in it. It is also without objective: without an end and endless at the same time”. Craig Staff, *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*, (Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015), 13.

¹⁰⁷“a visual image that tells of the impossibility of seeing, embodied in an object whose very reason for existing is to be seen.” Leon Battista Alberti, *On Painting and sculpture*, (Londres: Phaidon, 1972), 47.

¹⁰⁸“Y así hasta el infinito”. Robert Fludd, *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris metaphysica, physica atque technica historia: in duo volumina secundum cosmi differentiam diuis*. Getty Research Institute: Oppenheim aere Johan-Theodori de Bry, typis Hieronymi Galleri.
<https://archive.org/details/utrusquecosmima01flud/page/n33/mode/2up>

¹⁰⁹ Vid. Craig Staff, *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*, (Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015), 14.

los colores, pero que al mismo tiempo era capaz de negarlos, como en el Big Bang cuando comenzó la expansión de la materia del Universo, lo que parece nada en realidad lo es todo, “[...] podría decirse que tanto Fludd como Malevich buscaron aprovechar la vastedad del negro monocromo como una estrategia en la que las limitaciones impuestas a la imagen por las convenciones normativas de la representación podían eludirse, aunque no del todo”.¹¹⁰ Esta dualidad que contiene y expande, que afirma y niega solo puede ser representada en el lenguaje del color negro, para ello los nanotubos de carbono son idóneos, no son solo sin símbolo del vacío, son vacío.

De hecho, Malevich tampoco fue el primero en pintar un cuadrado negro. Paul Bilhaud lo hizo 31 años antes, en 1882 el poeta francés perteneciente a *Incoherents* pintó una serie de rectángulos monocromos dentro de un marco ornamental, al rectángulo negro le correspondió el nombre *Negroes Fighting in a Tunnel at Night* [img. 3], de acuerdo con Noam M. Elcott, “los negros monocromos eran bromas irreverentes o provocaciones estéticas que marcaban los límites del arte establecido, aunque rara vez operaron como catalizadores de la oscuridad artificial”.¹¹¹

¿Qué quiere decir Elcott con esto? Por un lado, que pese a que el arte monocromo negro sí ha sido una reflexión sobre el color (las sustancias que originan los distintos tonos de negro y su relación con la luz), muchas de esas obras no generaron un sistema de conocimiento sobre el modo de ser de la oscuridad del negro en cada uno de los medios disponibles. La tecnología de la oscuridad, como Elcott mismo la denomina, se ha encargado de desarrollar y pensar materiales como el Vantablack, que ponen de manifiesto a la oscuridad como una condición ontológica del negro. Esta oscuridad artificial arrojada por los nanotubos de carbono se distingue del negro orgánico que brinda la noche, tampoco es el negro que producen las sombras y mucho menos la oscuridad que producen otros negros de origen

¹¹⁰ “[...] arguably both Fludd and Malevich sought to harness the illimitability of the black monochrome as a ply wherein the limitations imposed upon the image by a normative set of the representational convention could be sidestepped, if not entirely outflanked.” Craig Staff, *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*, (Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015), 14-15.

¹¹¹ “Black monochromes were irreverent jokes or aesthetic provocations that marked the limits of establishes art, but they rarely channelled the operations of artificial darkness.” Noam M. Elcott, *Artificial Darkness. An obscure history of modern art and media*, (Chicago: University of Chicago Press, 2016), 13.

carbónico. Estas aproximaciones al negro se distancian de sus significados, no porque sus significados hayan dejado de ser importantes, sino porque abren nuevas líneas de investigación.

Los pigmentos, como objeto del análisis material, muestran su deterioro, su relación con la luz del sol, el agua, el clima, la humedad. De acuerdo con Frank Stella, “Picasso vio el peligro (de esta nueva relación con la materialidad) —el peligro de que el nuevo, abierto y atmosférico espacio de la abstracción pudiera ser atascado y aplastado por la masa de su único ingrediente real: el pigmento—”.¹¹² El arte contemporáneo no dudó en explorar el camino trazado por el arte moderno hacia el pigmento, desplazando a la pintura por la preocupación material por el color. Al color le pertenece una agencia que por épocas le hace ser temido o repudiado.¹¹³

En el arte representacional el color se encontraba sometido a la dictadura de la línea y la forma, era entendido como una distracción de la verdadera gloria del arte. “Fue visto como autocomplaciente y, más tarde, como pecaminoso. [...] Herman Melville escribió que ‘los colores no son más que engaños sutiles porque no son inherentes a las sustancias, son imposiciones que deifican la naturaleza y la hacen lucir como una ramera’”.¹¹⁴ ¿No es este posicionamiento el mismo de Clement Greenberg, pero un siglo después? Cuando escribía: “una obra moderna de arte debe procurar, en principio, evitar la dependencia de cualquier tipo de experiencia que no venga dado por la naturaleza esencial de su medio”.¹¹⁵

Claramente Greenberg y Melville era cromóforos. ¿Pero qué pensaba Greenberg del pigmento Azul Klein, un azul *eléctrico, vibrante*, un azul pictórico, un azul escultura? ¿Qué hubieran pensado ambos sobre la serie *1000 names* de Anish Kapoor en la que el color de los pigmentos es inherente a las esculturas? Markus Gabriel escribe en *Por qué no existe el mundo* que: “el color, despreciado por la revolución científica de la modernidad, y que fue denunciado como una ilusión provocada por nuestro aparato sensorial, ha devenido, en la

¹¹²Gage, *Color y cultura*, 268.

¹¹³St. Clair, *The secret*, 29.

¹¹⁴St. Clair, *The secret*, 31.

¹¹⁵Clement Greenberg, *Arte y cultura*, (España: Paidós, 2016), 161.

pintura moderna en el auténtico portador del sentido del arte”.¹¹⁶ Aunque prefiero precisar que si bien el color fue denunciado como una ilusión del juego entre el ojo y el cerebro, no todos los colores fueron despreciados de la revolución científica, como ocurrió con el negro.

2.1 Me llamo negro: una «biografía» social y cultural

¿Cuántos tonos y matices del negro es capaz de percibir el ojo humano? ¿Cuántos negros podemos nombrar ahora mismo? ¿Qué tan significativa es la diferencia entre el negro de la obsidiana, el diamante negro y el azabache? El negro está vinculado con la superstición, la brujería y el diablo; sin embargo, no siempre fue así. En el presente apartado hago un breve recorrido historiográfico por distintos pigmentos negros usados en diversos contextos de producción artística con el objetivo de identificar el lugar que tienen los nanotubos de carbono en el devenir de la época actual y aunque propiamente no es pigmento, sí es un material con base de carbono.

Comienzo con tres premisas sobre el negro. La primera, el negro es un color porque interactúa con la luz de manera específica, no importa cómo o cuál esa relación, el negro establece un modo de relacionarse con la luz, incluso en su ausencia.¹¹⁷ En segundo lugar, porque independientemente de cuál o cómo sea esa relación los materiales negros (entre ellos los pigmentos enlistados en el quinto capítulo de la investigación) tienen una función pragmática y simbólica. Tercera, que los significados y usos pragmáticos están determinados por la relación espacio-tiempo; es decir, el negro no tiene un significado unívoco, todos los significados del negro muestran una parte de su “personalidad” y son capaces de coexistir.

El negro ha estado presente desde la Antigüedad en África, Asia, América y Europa en distintas formas materiales, de acuerdo con Victoria Finlay, “el negro nace entre cenizas y descomposición”,¹¹⁸ nace principalmente de materia orgánica quemada, de la madera y el carbón. El negro no es un color moderno, los análisis materiales han identificado y datado pigmentos negros con base de carbono en las primeras imágenes creadas por los seres

¹¹⁶Markus Gabriel, *Por qué no existe el mundo*, (México: Océano, 2016), 202.

¹¹⁷St. Clair, *The secret*, 244.

¹¹⁸Victoria Finlay, *Colores*, (México, Océano, 2004), 89.

humanos. De acuerdo con la enciclopedia *CAMEO*, el carbono es un elemento no metálico presente en las moléculas orgánicas, el pigmento negro de carbón es uno de los pigmentos más importantes en la historia de la imagen pues ha estado presente desde la antigüedad, ya que se obtiene mediante la incineración de diferentes tipos de materiales orgánicos como el acetileno, la madera, los huesos o semillas de frutas y vegetales, tallos de vid, hueso de origen animal, marfil, gas, corcho, resinas y aceites.¹¹⁹

El negro es el color de la oscuridad, pero ha sido vinculado a conceptos como fertilidad, humildad, dignidad, autoridad, luto, pecado, infierno y finitud. “En la cultura occidental, el negro a menudo representa la muerte. Después de todo, la oscuridad es una descripción de lo que sucede cuando se absorbe toda la luz y cuando nada se refleja, por lo que, si crees que no hay retorno de la muerte”.¹²⁰ El negro como el color de la muerte, por lo menos para occidente, es un duelo sin esperanza, evoca el caos, la guerra, lo desconocido, es el color del universo, de la incertidumbre, el mal, la angustia, la tristeza, el inconsciente, del abismo y lo abisal; los materiales negros comparten el significado que les ha sido otorgado por el color. El negro de los nanotubos de carbono la luz no muere, deviene en energía. ¿Por qué le tememos a la oscuridad? ¿Es acaso por esa sensación de incertidumbre que nos produce la privación de la vista? En ella —en la oscuridad— “nos damos cuenta de nuestras limitaciones como especie: nuestro sentido del olfato y el oído son demasiado obtusos para poder transitar por el mundo [...] sin vista, somos vulnerables, nos resulta imposible escondernos de nuestros depredadores. Nuestro terror es tan visceral que vemos la noche como si fuera completamente negra, incluso cuando no lo es”.¹²¹

Pensar el negro más allá de la luz nos permite mirar en él una condición de posibilidad, si la luz nace de la oscuridad como lo dice el Génesis, y si todos los colores se esconden en el

¹¹⁹*CAMEO*, Carbon, <http://CAMEO.mfa.org/wiki/Carbon> consultado en marzo de 2021

¹²⁰“In Western culture black often represents death. Blackness is, after all, a description of what happens when all light is absorbed and when nothing is reflected back, so if you believe that there is no return from death then black is a marvellous symbol.” Victoria Finlay, *Color. A natural history of the Palette*, (NYC, Random House, 2004) 95.

¹²¹“In the dark, we become acutely aware of our limitations as a species: our senses of smell and hearing are too blunt to be of much use in navigating the world, our bodies are soft, and we cannot outpace predators. Without sight, we are vulnerable. Our terror is so visceral we are wont to see nighttime as pitch black, even when it isn't.”. St. Clair, *The secret*, 263.

negro como lo mencionan los maestros coloristas chinos capaces de representar la iridiscencia en la monocromía del negro, considerando a esta última como un «estado mental». ¿No es la muerte una condición para la vida? La pintura negra le dio vida a la imagen, la tinta negra a la escritura, mientras que el tinte negro le dio elegancia a la indumentaria, cada material negro se relaciona de manera específica con los textiles, el papel o el lienzo, las fórmulas para la tinta no funcionan para el tinte, así como las de la pintura no funcionan para la tinta.

De acuerdo con una anotación hecha por John G. Hawthorne y Cyril Stanley, en *On Divers Arts*,¹²² el negro de humo, negro vid y el carbón molido tenían un estrecho vínculo con la representación de las sombras, un vínculo independiente de su connotación cristiana, una relación mimética con el objeto representado. Pensemos como pensó Leonardo da Vinci respecto que la pintura debía “reproducir con precisión los efectos de la naturaleza [...] el pintor debía comparar directamente sus colores con los de su motivo”.¹²³ Lo que le interesaba a Leonardo da Vinci respecto al color es que fuese capaz de representar el «verdadero» color de la naturaleza, el cielo azul o el sol brillante. Lo mismo ocurre con los nanotubos de carbono, es evidente la capacidad mimética que tiene para representar al *vacío*, mismo que no había sido representado con tal precisión como hasta ahora. El material nos permite establecer una analogía para comprender fenómenos físicos como los hoyos negros, la materia y energía oscura, referencias científicas que, paradójicamente a su relación con la luz (física y simbólicamente) nos muestra lo invisible en lo visible, su valor simbólico se encuentra marcado por el conocimiento secular.

La abstracción del arte moderno permitió que muchos artistas exploraran la relación entre las formas geométricas y el color. Así sucedió con Émile Cohl en 1910 y *Le peintre néo-impressionniste* [img. 4], una ficción producida por Gaumont Studios que anticipó el éxito del naciente arte monocromo. El suprematismo de Malevich en *Black Circule* (1915) [img. 5], los rayogramas de Man Ray en 1930 [img. 6], *Black on Black* (1951) de Ellsworth Kelly [img. 7], *The Marriage of Reason and Squalor II* [img. 8] (1959) y *Black Series I* (1967)

¹²²Teofilo, *On Divers Arts*, (Estados Unidos: Universidad de Chicago, 1979), 15.

¹²³Gage, *Color y cultura*, 136.

[img. 9-17] de Frank Stella, el expresionismo abstracto de Ad Reinhardt en sus *Black Paintings* [img. 18-20], el trabajo de Barnett Newman en *The Station of the Cross: Lema Sabachtani* (1958-1966) [img. 21-25] y *The broken obelisk* (1963-1967) [img. 26], las *Black Paintings* (1964-1967) de Mark Rothko [img. 27-39]; en el caso de Rothko, Reinhardt y Newman lo abstracto les permitió hablar sobre lo inefable, sobre “la esencia de la imagen que reposa en el fundamento ausente”,¹²⁴ en otras palabras, sobre el vacío, dichas obras hicieron de las cualidades físicas del negro, principalmente la ausencia de luz y color, una metáfora sobre lo abisal. Por otro lado, *Two Black Squares (The Paradoxes of Absolute Zero)* de 1966 y 1967 por Art & Language [img. 40-43], *Black Plank* (1967) de John McCracken [img. 44], *Do it yourself, homage to Malevich* (1968) de Maurizio Nannuci [img. 45-47].

En nuestro país, el trabajo y la búsqueda material que Beatriz Zamora inició en 1977 con el negro cósmico [img. 48] y que actualmente suma más de cuatro mil piezas, *Blue black indigo black* (1977) y *Black watercolour* (1987) de Bob Law [img. 49-50], *Pacific Judson Murphy* (1978) de Richard Serra [img. 51], el trabajo de Pierre Soulages con el *Outrenoir* de 1979 [img. 52-58], una de las propuestas más importantes porque logró redimensionar la oscuridad del negro definiéndola como una cualidad metafísica, el negro como luz transmutada. *Forty Plaster Surrogates* (1981) de Allan McCollum [img. 59 y 60], las xilografías impresas en negro marfil sobre papel Okawara de Donald Judd en 1988 [img. 61]. El trabajo de Mary Corse (1998 y 2001) [img. 62 y 63], las pinturas de Julije Knifer desde la década de 1970 hasta el 2002 [img. 64-67]. *Black 3* del año 2008 [img. 68-69] y *Orange, Black Painting with Blue Edge, and Burgundy* (2011) [img. 70] hechas por Robert Irwin, *Hostage pt. 1* (2010) de Frederick De Wilde [img. 71 y 78], las pinturas negras de Byron Kim realizadas en 2015 [img.72-76].

El negro entendido como ausencia de luz refiere al proceso de ocultación de la imagen, los trabajos citados anteriormente son “la plasmación solemne y trágica de la búsqueda infructuosa por plasmar la imagen del Absoluto, el resultado silencioso de esta visión

¹²⁴Antoni, Gonzalo Carbó, “El arte abstracto y lo indecible: el fondo abisal de la obra de arte.” *Convivium: revista de filosofía*, Núm. 11, 1998, 129. Consultado 05 de junio de 2017.
<http://www.raco.cat/index.php/convivium/article/viewFile/73446/98756>

imposible [...] La fuente de la visión conduce de manera paradójica a la ausencia de modelo, al icono como punto vacío, a la *kénôsis*, al pozo sin fondo de la imagen opaca”.¹²⁵ Desde Fludd hasta Kapoor, las y los artistas que han trabajado de cerca con el negro forman parte del circuito de la oscuridad¹²⁶ que, ha trabajado en la recepción y producción de imágenes que han dado forma al arte moderno y contemporáneo a través de cada uno de sus medios y sus propios temas. Este circuito de la oscuridad como se refiere Noam M. Elcott, es la tradición del negro monocromo de siglo XX a la que se refiere Elisa Aspod.¹²⁷

José Clemente Orozco también tuvo un interés importante en el negro, en su trabajo realizado en la Universidad de Guadalajara realizó su propia mezcla del color, ya que ninguna de las que se encontraban en el mercado le permitía hacer los contraste entre negro y blanco como él los imaginaba. Al inicio, trabajó con los pigmentos blanco y negro de Le Franc, además del rojo de Bloch, pero el blanco resultaba invisible sobre el negro. Por lo tanto, realizó su propia mezcla blanca con cal molida, lo mismo ocurrió con el negro, fabricándolo con carbón muy quemado, el proceso de fabricación del negro era más complejo, ya que debía ser limpiado de impurezas y grasa. Orozco consideraba que el contraste generado entre el blanco y el negro le permitía ser más objetivo que el color, mostrando en sus imágenes mayor fuerza: “blanco y negro es el presente ‘real’, el color es la Idea; uno es la ‘realidad’”.¹²⁸ A través del contraste y la oposición, Orozco representaba lo político y lo contemporáneo, Xavier Villaurrutia menciona que el trabajo de Orozco: “no es el de la placidez ni el orden ni el de la calma, sino, por el contrario, el mundo de la angustia, del desorden, de la inquietud. Atormentado y convulso, ebrio y delirante, no puede menos que producir estremecimiento, un escalofrío de horror”.¹²⁹

¹²⁵Antoni, Gonzalo Carbó, “El arte abstracto,” 132.

¹²⁶Noam M. Elcott hace referencia a diversas contribuciones que ayudaron a distinguir o diferenciar al negro de la oscuridad a partir de la segunda mitad del siglo XIX, específicamente se refiere al cine y al teatro que exploraron y explotaron sus diferencias, pero que constantemente dialogaron con otros medios como la pintura y la fotografía, haciendo del cuadrado o rectángulo negro el paradigma dominante de lo moderno. Elcott, *Artificial Darkness*, 5-7.

¹²⁷Vid. Elisa Aspod, *Beyond the Liminal: Ultra Black Art in Dark Times*. (Ljubljana: Aksioma-Institute for Contemporary Art:2014), 4, consultado el 10 de abril de 2021.

¹²⁸Renato González Mello, “José Clemente Orozco” en *El color en el arte mexicano*, (Ciudad de México: IIE-UNAM, 2003), 240.

¹²⁹Cita de Xavier Villaurrutia mencionada en Renato González Mello, “José Clemente Orozco” en *El color en el arte mexicano*, (Ciudad de México: IIE-UNAM, 2003), 240.

2.2 Pigmentos negros con base de carbono

El color es un fenómeno complejo y a su alrededor existen tres discusiones fundamentales, ninguna excluye a la otra. La primera de carácter metafísico que plantea la pregunta de si el color realmente existe o si es un producto de la percepción, una abstracción que tiene únicamente lugar en el cerebro y el ojo humano. La segunda, la función pragmática y simbólica del color, su historia y su contexto. La tercera, de origen material, en la que el color es producido a una escala atómica y molecular, esta es la discusión que abordaré con el único objetivo de comprender el comportamiento de este no-humano.

Una buena parte de los pigmentos negros proceden del carbón, el negro humo, marfil, vid y vegetal son algunos ejemplos, por lo que resulta ambiguo y redundante decir los nanotubos de carbono proceden del carbono o que es el negro más negro por ser el negro más cercano a lo absoluto. Para comprender la procedencia y denominación de los pigmentos me ceñiré a la clasificación propuesta por Barbara H. Berrie en el cuarto tomo de *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristic* y *Pigment compendium. Optical microscopy of historical pigments* de Nicholas Eastaugh, Valentine Walsh, Tracey Chaplin y Ruth Siddall. En dicho sistema de clasificación los aspectos contextuales mencionados son completamente irrelevantes, pues será el elemento químico predominante aquel que determine la forma de los cristales que componen un pigmento. Que un pigmento sea cristalino significa que sus átomos están organizados, y en este caso de manera geométrica, la estructura hexagonal del grafeno, componente primario de los nanotubos de carbono corresponde a la misma estructura fisicoquímica del carbono. Si los nanotubos de carbono están hechos de estructuras cilíndricas de grafeno, ¿cómo distinguirlos del grafito o incluso de otros pigmentos carbónicos? Responderé a esa pregunta en el quinto apartado de esta investigación.

Los nanotubos de carbono son un material con base de carbono. En el estudio cristalográfico existen siete sistemas simétricos: triclínico, monoclínico, ortorrómbico, tetragonal,

hexagonal, trigonal y cúbico.¹³⁰ Esta clasificación geométrica de los cristales dista en la mayoría de los casos de cristales perfectos con aristas y ejes completamente definidos, la cristalización se ve afectada por distintos factores.

El color es, naturalmente, una propiedad fundamental de interés en los pigmentos y la mayoría de las fases de pigmento son predominantes bajo la luz del microscopio. Sin embargo, la aparición de color está lejos de ser un concepto simple, debido a que el color observado surge de la transmisión de algunas longitudes de onda de luz y la absorción de otras. La transmisión de la luz, y por lo tanto el color, está controlada por la estructura cristalina y la composición química del material.¹³¹

La necesidad de clasificar el color (en secundarios y primarios) y describirlo con palabras es un fenómeno condicionado culturalmente, que trajo consigo que este ejercicio de abstracción redujera el léxico disponible para referirnos a los distintos matices de cada color, aunque es un problema antiguo sigue vigente. “Favorino [...] reconocía la pobreza de la terminología cromática grecolatina en comparación con la capacidad del ojo para distinguir matices cromáticos”.¹³² Los colores primarios y secundarios como selección mínima —o secundaria— de relaciones lumínicas no reconoce las diferencias sutiles entre cada color; en esta clasificación no es relevante que el amarillo sea ocre o cadmio, ni que se refiera al 102 C o el 107 C en la escala propuesta por Pantone©. En este sentido, cuando nos referimos el negro de los nanotubos de carbono hablamos de un nuevo matiz del negro, un negro casi absoluto, pero también nos referimos a un proceso de uso y apropiación simbólica que responde a la oposición binaria entre luces y sombras, a la luz vista desde la física moderna y la existencia de agujeros negros.

El arte ha mostrado interesado por lo material aunque de distintos modos; por ejemplo, durante la Edad Media el interés material de la pintura se relacionaba con las estipulaciones de los contratos celebrados entre artistas y contratistas. Los contratos buscaban mantener la

¹³⁰Nicholas Eastaugh, Valentine Walsh, Tracey Chaplin y Ruth Siddall, *Pigment compendium. Optical microscopy of historical pigments*, (Amsterdam: Elsevier, 2008), XIV.

¹³¹“Colour is, naturally, a fundamental property of interest in pigments and most pigment phases appear strongly coloured under the microscope. However, the occurrence of colour is a far from simple concept. Observed colour arises from the transmission of some wavelengths of light and the absorption of others. Transmission of light -and therefore colour- is controlled by the crystal structure and chemical composition of the material.” Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, XIV.

¹³²Gage, *Color y cultura*, 35.

calidad y exclusividad en los materiales que formarían parte de la obra, muchos pigmentos procedentes de materiales preciosos eran considerados un lujo al que solo podían acceder ciertas élites. Esta necesidad obligó a que los pintores y productores de pigmentos se especializaran en la manufactura y comercialización de éstos; es decir, en observar su comportamiento, la química que los conforma y la tecnología que interviene su creación, uso y preservación. “Las materias colorantes más brillantes de la Baja Edad Media eran también las más caras”.¹³³ Esta práctica se extendió hasta el Renacimiento, aunque en el siglo XXI ocurre lo mismo con los nanotubos de carbono, un material inasequible por su costo y sus limitaciones prácticas.

La estructura cristalina de los pigmentos es una de las categorías de análisis en la propuesta metodológica de Nicholas Eastaugh, *et al.*, cuando se trata de la observación microscópica.¹³⁴ Para llevar a cabo la observación conviene tener en cuenta tres cosas; la primera, que los pigmentos inorgánicos con frecuencia provienen de minerales naturales; la segunda, algunos pigmentos —los modernos, sobre todo— han abierto toda una gama interminable de tonalidades aún cuando su composición química y morfología sea similar, y sobre todo, tratándose de los colorantes orgánicos. A estos se les denomina materiales sintéticos. Tercera, existen pigmentos que proceden de biomateriales, el colorante sepia es un ejemplo.

Los pigmentos negros a base de carbono comprenden cualquier pigmento que contenga alguna forma de carbono elemental como ingrediente único o principal. Los pigmentos a base de carbono se pueden clasificar según el material de partida utilizado y el método de fabricación.¹³⁵

Los pigmentos casi nunca son elementos puros, siempre están mezclados con otras sustancias que modifican sus colores, esa es la situación del Kohl (sulfuro de plomo) al que se le solían añadir metales y perlas molidas para matizar el negro de la galena. Los pigmentos

¹³³Gage, *Color y cultura*, 122.

¹³⁴Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, 513-515.

¹³⁵“Carbon-based black pigments comprise any pigments that contain some form of elemental carbon as either the sole or the chief ingredient. Carbon-based pigments can be classified according to starting material used and method of manufacture.” John Winter y Elisabeth West FitzHugh, “Pigment based on Carbon”, *Artists’ Pigments. A handbook of their history and characteristics*, ed. Barbara H. Berrie, (Londres: Archetype Books, 2007), 1.

son ensambles de distintas materias, el Kohl es resultado de la aleación de minerales y biomateriales. Los estudios materiales y las técnicas empleadas arrojan información que enriquece la literatura de la historia del arte, abordar los pigmentos y otros materiales como documentos nos permite comprender cómo se creó una obra, cuándo y por qué.

En el trabajo mencionado de Nicholas Eastaugh, *et al*, se propone la identificación de cuatro pigmentos carbónicos sin importar su nombre comercial y únicamente tomando en cuenta su composición química y propiedades fisicoquímicas. Para todos los que estudiamos los pigmentos y materiales del arte, es importante tomar en cuenta que el nombre comercial puede hacer referencia a una mezcla compleja de diversos materiales, no solo pigmentos sino también colorantes orgánicos e inclusive cargas inorgánicas o metálicas agregadas como aditivos o extendedores del material. Como lo menciona Leslie Carlyle en *The Artist's Pigments*, compañías como Winsor & Newton produjeron negros compuestos de partículas procedentes de distintos tipos de carbono no especificados; por ejemplo, el carbón vegetal produce un pigmento negro azulado difícil de replicar por la industria, por lo que las casas de materiales optaron por mezclar de manera alternativa negro de marfil con índigo para obtener un negro frío parecido al obtenido del carbón vegetal, pero sin las dificultades que implica su manufactura.¹³⁶

Algo similar ocurría con los negros de marfil y hueso que erróneamente se consideran indistintos, pero presentan diferencias en cuanto a su preparación. Durante la observación en el microscopio el negro marfil casi nunca aparece en su forma pura porque con frecuencia el negro marfil era adulterado con negro de huesos; adulterar el negro marfil era imperceptible a la vista pues ambos pigmentos negros se pueden mezclar con aceite y agua, son durables y tienen un negro “neutral”; sin embargo, sus «misteriosas» partículas no escapan a la reflectografía infrarroja o la exposición a radiación ultravioleta, es a través de estas técnicas que se ha revelado la respuesta particular de cada material bajo esta longitud de onda vinculada con su naturaleza y modo de preparación. Asimismo, el negro plomo (grafito mal

¹³⁶“blue black consisted of lampblack of some sort, mixed in minute proportions with some blue pigments, probably indigo.” Leslie Carlyle, *The Artist's Assistant. Oil painting instruction manuals & handbooks in Britain 1800-1900 with reference to selected eighteenth-century sources* (Michigan: Archetype Publications, 2001), 466.

llamado plumbago) también fue alterado con negro humo. “El plomo negro figuraba entre los colores al óleo de los tubos fabricados por Winsor & Newton en su catálogo de 1846 y a partir de ese momento figuró a lo largo de ese siglo, pero en el catálogo de 1896 lo identificaron como grafito preparado”.¹³⁷

Siguiendo la propuesta de Nicholas Eastaugh *et al.*, es posible identificar cuatro tipologías de pigmentos negros a base de carbono:

1. Grafito: frente al estudio de luz plana polarizada se observa que el grafito está compuesto por partículas opacas de morfología hexagonal o completamente irregular de un tamaño que va de lo fino a muy grueso (<1.662 μm); ante la luz UV no es fluorescente, pese a su apariencia metálica y su comportamiento birrefractante. Cuando el grafito se mezcla ya sea por medio de procesos geológicos o de manera artificial con otros minerales, como el cuarzo o metales como el acero se acentúa su comportamiento reflectante. El grafito se considera defectuoso; es decir, impuro porque la presencia de esos materiales reflectantes disminuye su negrura y aumenta la diafanidad del material.¹³⁸ El grafito natural se identifica por la perfección geométrica de sus cristales, un proceso geológico de millones de años que el grafito sintético no puede igualar.
2. Ceniza: las partículas de este pigmento negro generalmente están formadas por precursores sólidos, es decir, provienen de un material orgánico que atravesó un proceso de carbonización. La morfología de sus partículas obedece a la morfología celular de sus precursores sólidos, las partículas de este pigmento procedentes de cenizas conservan las dimensiones de la celulosa; por ejemplo, de la madera, huesos de frutas y semillas, sus partículas opacas van de un tamaño fino a grueso.¹³⁹
3. Coque (levaduras y hueso): al igual que las cenizas, el coque atravesó por un proceso de carbonización; sin embargo, a diferencia de las cenizas en dónde no se ve afectado el tamaño ni la morfología de las partículas, la pirólisis convierte un material sólido en un

¹³⁷“Black lead was listed amongst Winsor & Newton's tube oil colours in their catalogue for 1846 and it appeared from then on consistently throughout the century. In their c. 1896 catalogue they identified it as Prepared Graphite.” Carlyle, *The Artist's Assistant*, 469.

¹³⁸Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, 229.

¹³⁹Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, 231.

material líquido/plasmático antes de ser carbonizado por completo. Este cambio en el estado de la materia afecta de manera importante la forma de las partículas, pero ¿por qué el hueso no se clasifica como cenizas habiendo sido materia orgánica sólida? Porque el hueso contiene colágeno que durante la pirólisis forma una sustancia bituminosa de consistencia viscosa y oscura también conocida como alquitrán. A este grupo pertenecen el negro de huesos y marfil. “El carbono proviene principalmente de la proteína colágeno, aunque algunos pueden proceder de grasas y otros componentes orgánicos. Todos dan como resultado un coque, aunque, por supuesto, con una alta proporción de hidroxiapatita y otros posibles compuestos de calcio”.¹⁴⁰

4. Hollín: las partículas de los pigmentos negros procedentes del hollín se obtienen de un proceso de combustión en el que participan el gas, gasolina u otro hidrocarburo.¹⁴¹ Su estructura es irregular, opaca, escamosa y gruesa. Sus partículas se dispersan con dificultad en medios acuosos. Las trayectorias de los quiebres en los enlaces entre las partículas dispersadas que se observan en el microscopio hacen pensar a los científicos que las partículas de negro humo —como se le conoce comercialmente— producen uno de los negros más estables y puros hasta antes del descubrimiento de los nanotubos de carbono. La estructura de las partículas de hollín es amorfa y de entre todos los pigmentos carbónicos este tipo presenta las partículas más porosas y en buena medida podríamos decir que a eso se debe su dificultad al dispersarse.¹⁴² El hollín y el negro humo se obtienen de la combustión suave en la que el hollín queda atrapado en el cristal de las lámparas o platos metálicos colocados sobre las flamas alimentadas por oxígeno.

La presente investigación utiliza esta clasificación de pigmentos carbónicos a la que correspondería añadir como un rubro más al negro absoluto que forman los nanotubos de carbono producidos a través de la deposición química de vapor. Los nanotubos de carbono se encuentran vinculados al grafito a través de la estructura fisicoquímica del grafeno; sin embargo, por sus diferencias en cuanto los métodos de producción, reflectancia y diafanidad

¹⁴⁰“The carbon comes primarily from protein collagen, though some may be from fats and other organic components. All of these give a coke, though of course with a high proportion of hydroxyapatite and possibly other calcium compounds.” Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 20.

¹⁴¹“Winsor & Newton reported that their Lamp Black was obtained by the imperfect combustion of hydrocarbons.” Carlyle, *The Artist's Assistant*, 468.

¹⁴²Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall, *Pigment compendium*, 235.

merecerían una clasificación específica. No todos los pigmentos carbónicos tienen una estructura hexagonal por su procedencia carbónica, la mayoría los cristales son irregulares y esta variabilidad los hace más complejos.

Con relación al tamaño de las partículas de pigmentos negros con base de carbono, los materiales, incluidos los nanotubos de carbono, se clasifican de la siguiente forma

Tamaño absoluto de la partícula (μm)	Tamaño relativo de la partícula
>40	Muy gruesa
10-40	Gruesa
10-3	Grande
1-1	Mediana
1.1-0.3	Fina
<0.3	Muy fina
20nm	Nanopartículas ¹⁴³

Aunado a lo anterior, existe otra clasificación vinculada con los nombres comerciales de los pigmentos carbónicos que se han registrado en la historia del arte y que integra seis materiales:¹⁴⁴

1. Grafito
2. Negro humo
3. Carbón
4. Carbón vegetal
5. Negro de huesos o negro marfil
6. Negro tierra

De hecho, con estos nombres es cómo se pueden encontrar fácilmente los pigmentos en las casas de materiales para artista. Considerar de los nombres comerciales me permite rastrear monográficamente los pigmentos que fueron empleados en obras de arte específicas.

¹⁴³Tomado de Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, XVII. El tamaño de las partículas de los nanotubos de carbono no fue tomado en cuenta ya que los nanotubos de carbono rebasan el periodo que comprende la investigación citada, por lo que cabe agregar que las partículas de los nanotubos corresponden a 20 nanómetros o 0.02 micrómetros (μm) como se podrá leer a detalle en otro apartado de esta tesis.

¹⁴⁴John Winter y Elisabeth West mencionan seis tipos de pigmentos negros a base de carbono en Winter y West, "Pigment based on Carbon," 1-2.

Con relación a sus propiedades, la porosidad es fundamental para comprender el secado de las pinturas. En casos como el negro de humo para acelerar su proceso de secado en una capa pictórica, se le añaden distintos agentes que modifican la densidad de la pintura. Si un pigmento es poroso significa que tiene la capacidad de absorber mayor cantidad de líquidos, el aceite o el agua se aloja entre los poros de las partículas haciéndolo más denso y viscoso, por ejemplo, el “negro de huesos absorbe el 50% de aceite de linaza, el negro vid 50 a 110%, el negro humo puede ser de 80 a 800%, un amplio rango debido al tamaño de partícula anormalmente pequeño de algunos grados”.¹⁴⁵ Si los pigmentos interactúan con el aceite absorbiéndolo ¿cómo se comportan los nanotubos de carbono ante un medio como el aceite de linaza? ¿Por qué las partículas de la pintura Gravity Oil Black se dispersan con dificultad? Responderé a estas preguntas en el capítulo cinco de la investigación.

Los pigmentos negros de carbono son insolubles en solventes orgánicos, agua y ácidos, por su estrecha relación con el fuego tienen una resistencia al calor mayor que otros pigmentos; sin embargo, cuando se incendian el negro de huesos y marfil por su procedencia animal dejan un rastro blanco, un residuo de fosfato de calcio; de entre los pigmentos carbónicos, el grafito es el más resistente a la incineración. Los pigmentos negros, que parecen tan iguales, se diferencian en sus procesos de producción y aunque todos sean resultado de la carbonización, presentan divergencias cuando son analizados desde la perspectiva de la ciencia de materiales. Se ha observado por ejemplo que, de acuerdo con su método de obtención o su lugar o periodo de extracción, los índices de reflectancia varían puesto que también su composición química y patrón cristalino o morfología pudo cambiar.

En este sentido, los nanotubos de carbono mejoraron por mucho los índices de reflectancia de sus predecesores —otros pigmentos negros con base de carbono—; que los nanotubos de carbono se produzcan de manera sintética a través de la deposición química de vapor es fundamental para alcanzar su índice de reflectancia. La deposición química de vapor no se encuentra vinculada al proceso de carbonización y obtención de otros pigmentos negros, por ello es importante revisar la morfología de los pigmentos y compararla con los materiales de

¹⁴⁵“Bone black absorbs 50% linseed oil, vine black 50%-110%, and lampblack maybe 80%-800%, a wide range due to the abnormally small particle size of some grades.” Winter y West, “Pigment based on Carbon”, 14.

nueva generación. Los nanotubos de carbono ofrecen un negro casi absoluto, como ningún otro material en la historia del arte.

La oscuridad de los pigmentos negros es una estimación subjetiva que deviene de una apreciación a simple vista comparativa, pero de acuerdo con John Winter y Elisabeth West FitzHugh un pigmento mejora su rendimiento frente a la luz mientras más pequeñas son sus partículas. Lo anterior no se refiere a lo bien o mal molido que se encuentre un pigmento, sino a la estructura atómica de las partículas. “El negro más profundo se encuentra a medida que disminuye el tamaño de las partículas, hasta llegar a las más pequeñas”.¹⁴⁶ Los nanotubos de carbono se ciñen a esta regla, “las partículas más pequeñas tienen [...] un color más profundo en pinturas”.¹⁴⁷ Materiales con base de carbono

2.2.1 Carbón mineral

El carbón es una roca negra sedimentaria organogénea, como su nombre lo indica tiene mayor presencia de carbono (C), seis protones organizados de manera hexagonal. Los materiales carbónicos pueden ser más o menos puros de acuerdo con la presencia de hidrógeno, azufre, oxígeno o nitrógeno, su pureza depende del estado evolutivo biológico y geológico; es decir, un “mayor” estado evolutivo reduce la presencia de agua y aumenta la presencia de carbono. Ejemplo, la turba está compuesta por 50-55% de carbono, por la presencia de agua es una roca suave y porosa; en contraste, el grafito es 100% carbono, razón por la que no es apto para ser usado como combustible, pese a su pureza, su dureza es mínima con solo 2 Mohs, a diferencia de su hermano el diamante con 10 Mohs, por lo que mucho tiempo se creyó que el diamante era el material más rígido, hasta que se descubrió el grafeno, paradójicamente, la estructura fisicoquímica del grafeno es más cercana al grafito que a la del diamante.¹⁴⁸

¹⁴⁶“Blackness is found to increase with decreasing particle size down to the smallest particles found.” Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 14.

¹⁴⁷“Smaller particles have [...] deeper colour in paints”. Nina Hauptman, “Electrical conductivity of carbon black pigments” *Dyes and Pigments* 95, (abril 2012) 1.

¹⁴⁸Ver Mark Miodownik, “Irrompible” en *Cosas (y) materiales. La magia de los objetos que nos rodean*, (España: Turner, 2017), 193-215.

La mayor parte del carbón se formó durante el periodo Carbonífero de la era Paleozoica del eón Fanerozoico; es decir, millones de años antes de la existencia de los primeros *australopitecos*, su formación y sus primeras estructuras no requirieron del fuego; por el contrario, requirieron agua. Las bacterias anaeróbicas son las responsables del proceso de carbonización, éstas se alojaron en las cuencas con los restos vegetales que fueron protegidos por el agua, si hubieran quedado expuestos en la superficie terrestre el oxígeno los habría degradado. En el caso del carbón los planos hexagonales no se forman con calor, como lo dije antes,

sino en procesos geológicos a los que se ve sometida la materia vegetal muerta durante millones de años. El carbón nace como turba y, dadas las condiciones justas de calor y presión, se transforma en lignita, luego en carbón bituminoso, luego en antracita y finalmente en grafito. En este proceso va perdiendo poco a poco los compuestos volátiles de nitrógeno, azufre y oxígeno que están presentes en los residuos vegetales, convirtiéndose así en una forma cada vez más pura de carbono. Al crearse las capas hexagonales, el material toma un brillo metálico, como se observa sobre todo en la antracita, cuyas facetas son como espejos negros. En cualquier caso, el carbón rara vez es una forma pura de carbono, motivo por el cual puede oler bastante mal cuando se quema.¹⁴⁹

El carbón es el alfa y la omega, con él inició la imagen y lo representado; su color: el negro. De manera que, el negro no solo es fin (o muerte), sino inicio, tal como ocurría con la tierra fértil de Egipto. “El carboncillo es un emblema perfecto de los comienzos. El contorno, usualmente negro, fue inventado hace más de 30 mil años, y aunque puede que no sea el mejor ejemplo de un artefacto puramente artístico, eso nunca ha sido relevante para los artistas, la línea negra sí es la piedra angular del arte”.¹⁵⁰

Las pinturas murales más antiguas son las de Chauvet, por más de 30 mil años las cuevas permanecieron prácticamente intactas, lejos de la mirada de la especie humana. A nadie le cabe duda de la importancia del fuego para los y las habitantes del Paleolítico, pues fue a través del fuego que se obtuvo la energía y el calor suficiente para cocinar alimentos, mantener a raya el frío glacial, mirar el oscuro entorno de las cavernas y, finalmente, obtener un fino pigmento negro para la pintura rupestre. Encontramos carbón en todo aquello en lo

¹⁴⁹Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 203-204.

¹⁵⁰“A piece of artists’ charcoal is a perfect emblem for beginnings. The outline—usually black—was invented over 30,000 years ago. It may be the example non-plus ultra of artistic artifice, but this has never mattered to artists, and the black line is art’s foundation stone.” St. Clair, *The secret*, 245.

que haya habido fuego, aunque su presencia no sea condicionante para este. De hecho, la pintura rupestre es prueba de que “el *Homo sapiens* habría estado viviendo y cazando, y pintando, por supuesto, en un mundo verdaderamente genial”.¹⁵¹

Las pinturas murales encontradas de Altamira (1879), Lascaux (1940) y Chauvet (1994)¹⁵² demuestran el poder y la vigencia del carbón, su eficiencia. Durante mucho tiempo se pensó que técnicamente el arte rupestre pertenecía a un estadio evolutivo inferior de los seres humanos, pensamiento propio del evolucionismo; sin embargo, las formas encontradas en las cuevas prueban la complejidad del pensamiento simbólico. El carbón como materia prima del contorno permitió representar tanto las siluetas de animales como de los humanos, sus cuerpos y sus huellas, más tarde dichos contornos serían coloreados con tonos ocre, provenientes de la tierra, para potenciar el dinamismo de las formas, las figuras se valían de las formas de las rocas para encarnar el volumen de los cuerpos o la velocidad con la que las manadas de bisontes corrían en la superficie terrestre. Más aún, durante el Paleolítico el carbón se mezcló con otros materiales; es decir, el hombre y la mujer del Paleolítico sabían de la necesidad de usar un medio o aglutinante para darle perpetuidad a la pintura mural.

Por sí mismos, sin seres humanos observándolos maravillados, estos antiguos dibujos rupestres hechos de carbón, especialmente aquellos mezclados con pegamento, grasa, sangre o huevo podían haber durado otra glaciación y 10 mil años más de lluvias de verano. Pero tan pronto como fueron encontrados, los dibujos comenzaron a desvanecerse, casi como si el simple hecho de mirarlos los desgastara. Mejorar la permanencia de las obras de arte ha sido un problema y una preocupación para todos los artistas, pero aún en las mejores condiciones, nadie se atrevería a esperar que permanecieran luego de 15 mil años. Estas pinturas del pasado, carentes de la protección del barniz, fueron protegidas por un entorno estable, que al cambiar las vulneró. Fueron pintadas con cenizas y están haciéndose polvo.¹⁵³

¹⁵¹“*Homo sapiens* would have been living and hunting—and painting, of course—in a very cool world indeed.” Finlay, *Color. A natural*, 77.

¹⁵²Finlay, *Color. A natural*.

¹⁵³“On their own, without human observers to wonder at them, these ancient charcoal cave drawings—especially if mixed with glue or fat or blood or egg—can last for an ice age and through another 10,000 years of summer rains. But as soon as people find them and pay them any kind of attention the drawings start to fade, almost as if too much looking wears them out. Keeping one’s work permanent is a perennial problem for all artists, but few people dare hope that the marks they have made can last for 15,000 years. And these paintings of the past, unprotected by varnish, but protected by their own stable environment, are vulnerable as soon as that environment changes. They were painted with ashes and they are returning to dust.” Finlay, *Color. A natural*, 79.

Además del valor histórico de esta triada (Altamira, Lascaux y Chauvet), en general la pintura del Paleolítico, el Mesolítico y el Neolítico nos introduce a una discusión material. De modo que, no se trata únicamente de cómo se relacionan los materiales entre sí, sino de la relación que mujeres y hombres establecieron con la materia y cómo entendían eso que hoy denominamos «objeto». ¡Qué prueba más fehaciente de la *vida* en la materia de la pintura rupestre, sino su degradación al ser expuesta a calor y la humedad! Utilizo el término *vida* no en un sentido animista de la materia, sino en el sentido que el término me permite enfatizar el conjunto de relaciones fisicoquímicas que la materia establece consigo misma, pero también de ella con la historia. Una idea de vida no-humana vista desde la TAR.

Así se refirió Isaac Newton al carbón en sus experimentos cuando observó que las vibraciones de la luz en el éter son los:

medios principales por los que las partes de sustancias en fermentación o combustión, los licores fluidos, o derretidos, o ardiendo, u otros cuerpos calientes, siguen en movimiento, se sacuden como un barco por las olas y se disipan en vapores, exhalaciones o humo, y luz liberada o excitada en estos cuerpos, y en consecuencia un cuerpo se convierte en un carbón ardiente, y en humo, llama; y, supongo yo, la llama es nada más que las partículas de humo girando por el acceso de la luz y el calor a los carbones ardientes, pequeñas e innumerables.¹⁵⁴

Nuestra relación con el carbón cambió durante la revolución industrial. Si el primer movimiento de la tinta vino con la escritura, y el segundo con la imprenta; el primer movimiento del carbón vino con el arte rupestre y el segundo con la Revolución Industrial, el carbón tiñó con residuos hulla ciudades enteras modificando de manera gradual el medio ambiente. ¿Qué tiene que ver el carbón con la aparente proliferación de la polilla negra? En ese periodo, las partículas de hulla adheridas a las cortezas de los árboles los oscurecieron e hicieron a la polilla moteada presa fácil de los depredadores, de manera que no proliferaron las polillas negras, sino que sobrevivieron; aunque no dejaron de ser “víctimas” de las supersticiones del siglo XVIII que relacionaban a cualquier criatura negra con el Diablo. Aunque esta anécdota parece no decir mucho sobre el carbón, nos permite establecer una serie de relaciones entre la materia, sus usos, su recibimiento por parte de la comunidad y su

¹⁵⁴Isaac Newton, Nueva teoría” en Ramírez, *Ensayos de Óptica*, 66.

relación con el medio ambiente, un ejemplo que evidencia que la materialidad no es un atributo de la cosa, sino un conjunto de relaciones, el material es un actor en la red.

Las entrañas de la tierra, que habían permanecido escondidas durante siglos, emergieron con fuerza, pero esta vez domesticadas por la minería y el transporte. El negro fue omnipresente durante el siglo XIX, no solo por la máquina de vapor impulsada por hulla, sino por la creación de motores de combustión interna que usan hidrocarburos derivados del petróleo, sumada a la predominante presencia del acero que a su vez cambió la arquitectura. Con la extracción de hulla, petróleo y acero no solo se transformó el paisaje, sino la vida cotidiana en sus actividades labores y económicas.

En todas partes, el horizonte se hizo negro, gris, marrón, oscuro. El carbón, principal fuente de energía para la industria y los medios de transporte, es el símbolo de este nuevo universo. La producción mundial de carbón fósil pasó de 172 millones de toneladas en 1858 a 928 millones de toneladas para 1905: ¡un incremento de más del 500 % en menos de un siglo! En la paleta de colores del negro, no hay lugar para la poesía ni para la melancolía: el carbón lleva consigo el humo, el hollín, la suciedad y la contaminación. El paisaje urbano se transforma profundamente, las fábricas y las oficinas se multiplican, las calles cambian de aspecto [...] Se transita bajo la tierra, se trabaja en las fábricas, se vive encerrado, se alumbra con gas y más tarde con la electricidad; la luz se transforma y con ella la mirada y la sensibilidad.¹⁵⁵

Para el carbón el siglo XIX será tan importante como el siglo XVIII para el negro, aunque de manera inversa; mientras el siglo XIX muestra la importancia del carbón en el desarrollo industrial del mundo, el siglo XVIII sepulta al negro porque incluso hoy, en el siglo XXI el paradigma newtoniano continúa vigente. ¿Será nuestro siglo capaz de reivindicar al negro con la aparición de nuevos materiales como los nanotubos de carbono?

¹⁵⁵ “Ovunque, l’orizzonte diventa nero, marrone, scuro. Il carbone, principale fonte di energia per l’industria e i trasporti, è simbolo di questo nuovo universo. La produzione mondiale di carbone fossile passa dai 172 milioni di tonnellate del 1858 ai 928 milioni del 1905: un aumento di più del 500% in meno di mezzo secolo! Nella tavolozza dei neri non c’è ormai più posto per la poesia e la malinconia: il carbone porta con sé il fumo, la fuliggine, la sporcizia, l’inquinamento. Il passaggio urbano si trasforma profondamente, le fabbriche e le officine si moltiplicano, le strade cambiano aspetto. [...] Si circola sottoterra, si lavora in fabbrica, si vive rinchiusi, si illumina con il gas, più tardi con l’elettricità; la luce si trasforma a sua volta e con essa si trasformano lo sguardo e la sensibilità.” Michel Pastoureau, *Nero. Storia di un colore*, (Milan, Ponte alle grazie, 2008), 170.

La industrialización del siglo XIX también dio lugar a la creación de nuevos pigmentos, entre ellos el negro de anilina creado en 1863, el primer pigmento negro sintético de la industria química, su negrura neutra optimizó los procesos de impresión de la imprenta. Muchos pigmentos del siglo XIX son resultado de procesos industriales que nada tienen que ver con la intención de descubrir nuevos tonos; es el caso de William Perkin que, a sus 18 años, mientras buscaba la cura para la malaria descubrió en 1856 el púrpura de Perkin, un tono malva, conocido también como anilina morada.¹⁵⁶

Así como ocurrió con el gris Payne¹⁵⁷ que posibilitó la representación de la perspectiva atmosférica, o los pigmentos disponibles durante el Renacimiento que permitieron una representación realista, con luces y sombras de la perspectiva, ¿cómo podríamos representar de manera acertada las partículas de contaminación en las nacientes ciudades industriales del siglo XIX sin la aportación de William Payne en materia de pigmentos y acuarela? ¿Hubiera sido el Impresionismo posible sin este pequeño artefacto? El tubo de óleo fue tan importante para los artistas de la época, como la telefonía móvil para nosotros.

Fue relativamente tarde, en el siglo XIX que los artistas realmente se beneficiaron con la proliferación de los pigmentos prefabricados [...] Junto con la invención de los tubos de óleo, los nuevos colores, permitieron a los artistas trabajar en el exterior y empapar sus lienzos con los pigmentos más brillantes que alguien haya visto antes.¹⁵⁸

Hoy la relación de los artistas con el pigmento es distinta de como lo fue en el Renacimiento, la industrialización cambió la relación de los artistas con los materiales. Principalmente porque la creación del tubo de óleo en 1841 significó un proceso de mediación entre el pigmento y la pintura (obra), el pintor podía prescindir del conocimiento técnico sobre la creación y el comportamiento de los pigmentos y aglutinantes sin que eso afectara el resultado que buscaban en la obra. John Gage también lo menciona cuando se refiere a la práctica pictórica de Frank Stella, él “no solo tuvo que utilizar colores industriales, como lo

¹⁵⁶St. Clair, *The secret*, 23.

¹⁵⁷William Payne era un ingeniero civil que, de 1809 a 1812, fue miembro de la sociedad de acuarelistas. Su principal preocupación era representar la luz solar y la atmósfera, por lo cual desarrolló un azul grisáceo hecho a base de azul Prusia, amarillo ocre y carmín de cochinilla. St. Clair, *The secret*, 250.

¹⁵⁸“It was only relatively late in the nineteenth century that artists really benefited from a proliferation of ready-made pigments. [...] Coupled with the invention of collapsible metal paint tubes in 1841, the new colors allowed artists to work outside and douse their canvases with the brightest pigments anyone had ever seen”. St. Clair, *The secret*, 26.

hicieron los expresionistas abstractos, sino que también tuvo que usarlos de un modo industrial”.¹⁵⁹ Quizá nuestro conocimiento sobre la tecnología del color sea más profundo; sin embargo, para indicar las características de un objeto no distinguimos entre el azul ultramar hecho de lapislázuli, el azul de Prusia procedente del hierro cyan o incluso el azul egipcio compuesto por un doble silicato de calcio y cobre,¹⁶⁰ porque es simplemente *azul*.

Más allá del aceite y el tubo, pensemos en los utensilios que intervienen en el desarrollo tecnológico del color; por ejemplo, en la paleta y su relación con el color. Durante la Edad Media mezclar colores en las paletas no era una práctica común, las mezclas se realizaban directo en las superficies de los trabajos pictóricos, en el siglo XVI con la introducción del aceite mezclar los colores en las paletas fue, de manera paulatina, una práctica habitual, pero el color nunca apareció ni se usó de manera fortuita. El color en las paletas se encontraba organizado, vinculado a los paradigmas cromáticos de distintas épocas, generalmente el blanco y el negro se hallaban a los extremos, el resto de los colores con posiciones intermedias del más claro al más oscuro, con espacios que permitían mezclar los colores entre sí de manera gradual, a veces con los colores primarios como protagonistas. Las paletas son archivo sobre la actitud de los pintores hacia el color, un dispositivo que nos permite comprender cómo fue su relación con la materialidad del color, con las sustancias. Los distintos círculos cromáticos y las paletas de los pintores son esfuerzos por entender el color, pero sobre todo usarlo.

2.2.2 Grafito

El grafito es una sustancia cristalina de estructura hexagonal, las estructuras están unidas por enlaces covalentes que forman “hojas” o laminas, que a su vez forman capas. Al conjunto de estas capas se les conoce como grafito y a cada “hoja” como grafeno.¹⁶¹ [img. 77 (2)] El grafito natural es un fósil; sin embargo, también puede ser sintetizado, aunque el paso de millones de años creó estructuras casi perfectas que no pueden ser igualadas en el

¹⁵⁹Gage, *Color y cultura*, 268.

¹⁶⁰CAMEO, *Egyptian blue*. http://cameo.mfa.org/wiki/Egyptian_blue Consultado 28 de enero de 2022.

¹⁶¹Ver Miodownik, “Irrompible,” 193-2015.

laboratorio. “Los minerales negros procedentes de la tierra pueden ser carbónicos, y en algunos casos, por lo menos, podrían ser considerados como grafitos defectuosos”.¹⁶² Es decir, en todo el grafito hay carbono, pero no todo el carbón deviene grafito, eso depende del proceso geológico del material. De entre los materiales carbónicos, el grafito es el más puro.

El lápiz —o por lo menos la idea de él— nació del mismo principio para el que el metal era usado: marcar. Aunque el metal no es borrable como el grafito, un material que permite corregir, equivocarse. Durante mucho tiempo se le considero y se le trató igual que al plumbago, del cual heredó su nombre en inglés (*lead*), pero no existe rastro de su presencia en el análisis microscópico, “el negro plomo fue descrito en las fuentes bibliográficas como una forma de grafito y no como un pigmento a base de plomo”.¹⁶³ Tan pronto como se descubrieron las bondades del grafito, incluyendo aquellas electroconductoras — recordemos que en 1880 Thomas Alva Edison patentó la bombilla incandescente con filamento de carbono, más precisamente de grafito—, los asentamientos fueron explotados principalmente por los ingleses; que durante el siglo XVI restringían el comercio de los lápices con Francia.

En 1847 Francia envió a Jean Pierre Alberti a la frontera entre China y Siberia donde localizó la reserva más grande de grafito en el mundo, pronto iniciaron a comercializar sus propios lápices que se distinguían por la calidad del grafito. Los lápices fueron vendidos como si fueran chinos pues la fama del país asiático en el desarrollo e innovación de materiales les supondría éxito. Más tarde para competir contra el mercado europeo, Estado Unidos creó el lápiz amarillo que lleva ese color en referencia a la dinastía Manchú, que vestía túnicas amarillo ámbar. Al margen de la anécdota que cuenta Victoria Finlay en *Color. A natural history of the Palette*,¹⁶⁴ lo importante fue que al envolver las minas de grafito con madera el artefacto se hizo resistente al uso cotidiano, su fragilidad fue medrada.

¹⁶²“Graphite was originally from natural deposits but is now usually manufactured. Black lead is a misnomer. Mineral blacks of an earthy habit may be carbonaceous (black earths), and in some cases, at least, the carbon is a defective graphite.” Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 19.

¹⁶³“Black lead was described in the sources as a form of graphite and was not a lead based pigment”. Carlyle, *The Artist’s Assistant*, 468-469.

¹⁶⁴Finlay, *Color. A natural*, 88.

¿Qué les da valor a los materiales de carbono? La pregunta viene al caso porque el grafito se aprecia por su utilidad, el diamante por la belleza de su brillo. Por muchos años el grafito fue explotado para una función primaria: escribir. Ya fuera que recurriéramos a él para escribir o dibujar, su valor se resumió en ser un material funcional en diversas circunstancias; por ejemplo, ante la gravedad cero del espacio exterior porque a diferencia de la tinta el grafito no puede derramarse y al ser oscuro permite el alto contraste sobre la superficie en la que es colocado.

Un sofisticado lápiz del siglo XVI consistía en un punto de grafito insertado en el extremo de un tubo de madera. A finales del siglo XVII, se desarrolló el lápiz con cubierta de madera, que usaba un corte cuadrado de grafito. Los crayones o lápices Conté, inventados en 1794, estaban hechos de grafito finamente dividido y mezclado con arcilla, luego eran secados y cocidos. El término crayones Conté hoy se refiere a una tiza ligeramente grasa o aceitosa con un colorante añadido, en algunos casos negro de carbón.¹⁶⁵

Cuanto más rígida es la mina del lápiz, mayor es su porcentaje de grafito y menor su cantidad de polímeros y grasa. A eso atañe la clasificación internacional de las minas, un número del 2 al 9 y una letra H o B, “H” para *hard* y “B” (*black*) para indicar su negrura. Los lápices «duros» son los que mayor cantidad de grafito contienen, contrario a las minas más oscuras que incrementan las cantidades de grasa y polímero. Aunque el grafito no es un material reconocido por su dureza (de 1 o 2 Mohs), es fundamental conocer cómo su estructura se relaciona con la rigidez otros materiales grafiticos como el grafeno, los nanotubos de carbono, los fullerenos y el carbino.

“En el grafito los átomos de carbono están unidos en planos hexagonales extraordinariamente duros y estables; y los enlaces atómicos son más fuertes que en el diamante, lo que parece increíble”¹⁶⁶ si pensamos que es gracias a las fuerzas de Van der

¹⁶⁵“a stylus developed in the sixteenth century consisted of a graphite point inserted in the end of a wood tube. At the end of the seventeenth century, the wood-cased pencil using square cut graphite mineral was developed. Conté crayons or pencil, invented in 1794, were made of finely divided graphite mixed with clay, then dried and fired. The term Conté crayons today refers to a slightly greasy or oily kind of chalk with colorant added, in some cases carbon black.” Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 37.

¹⁶⁶Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 195.

Waal que podemos escribir sin mayor esfuerzo. Debido a su exfoliación, el grafito transfiere buena parte de sus átomos a las superficies haciendo posible escribir o dibujar.

De acuerdo con Mark Miodownik el grafito es un conductor semimetálico, a eso debemos su brillo.

Que el grafito sea un metal —al contrario— que el diamante se debe a su estructura atómica hexagonal [...] En el grafito... los electrones que están más lejos del núcleo no se emparejan con los del átomo vecino, sino que más bien forman un mar de electrones, por decirlo así, dentro del material: la capacidad de estas partículas para moverse como un fluido tiene varias consecuencias, entre ellas la del permitirle al grafito conducir la electricidad.¹⁶⁷

En *Pigment compendium* se menciona que el grafito al tener una superficie brillante plateada cuando es analizado en el microscopio y expuesto a la luz, esta se refleja, pero su alto índice de carbono lo hace incapaz de reaccionar a la fluorescencia de la luz UV. Cuando el grafito se mezcla con otros elementos como cuarzo, minerales o acero la negrura en sus partículas disminuye.

En la luz polarizada plana, el grafito forma partículas que van de débilmente translúcidas a (más comúnmente) opacas. El relieve es moderado y el IR es mayor que el del medio. La morfología de las partículas varía, desde partículas irregulares en forma de migajas hasta escamas y placas hexagonales subédricas. Las partículas pueden estar distorsionadas. Cuando las superficies de las partículas son discernibles es porque se encuentran facturadas. El tamaño de las partículas varía de fino a muy grueso.¹⁶⁸

La debilidad del grafito —si es que así podemos llamar a las fuerzas de Van der Waal— quedaría superada por el descubrimiento del grafeno.

2.2.3 Grafeno

El grafeno es un material casi transparente compuesto de carbono en una de sus formas más puras [img. 76 (4)]. Andréi Gueim, un físico holandés, se dio a la tarea de investigar otras estructuras de carbono luego de que en 1985 Harry Kroto descubriera una estructura

¹⁶⁷Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 202-203.

¹⁶⁸“In plane-polarised light, graphite forms weakly translucent to (more commonly) opaque particles. Relief is moderate and IR is greater than that of the medium. Particle morphology ranges from irregular, crumb-like particles to flakes and subhedral, hexagonal plates. Particles may be distorted. Particle surfaces, when discernible, are fractured. Particle size range from fine to very coarse.” Eastaugh, Walsh, Chaplin y Siddall. *Pigment compendium*, 229.

denominada *buckyballs* o fullereno. Gueim y su equipo lograron aislar una *monocapa* (“hoja”) *de grafito*, concluyeron que las estructuras grafiticas devienen de estas “hojas” hexagonales de grafeno.¹⁶⁹ El descubrimiento le valió el Premio Nobel de Física en 2010. En un encuentro con él, Mark Miodownik cuenta:

Me enseñó el método que había utilizado su equipo para crear una única lámina hexagonal de carbono. Primero tomó un trozo de cinta adhesiva y la fijo en el grafito. Cuando la quitó, la cinta tenía pegado un resto muy fino del material con un brillo como metálico. Entonces cogió otro trozo de cinta y lo pegó en este fragmento de grafito, y luego lo quitó. La pequeña lámina se dividió así en dos. Esta operación la repitió cuatro o cinco veces, obteniendo láminas de grafito cada vez más finas. Finalmente anunció que había creado grafito del grosor de un átomo.¹⁷⁰

El grafeno, una capa atómica de grafito [img. 76 (2)], es un cristal (carbónico) de estructura hexagonal. Considerado por los científicos como un supermaterial, pues es cien veces más fuerte que el acero con solo el 5% de su densidad, su movilidad intrínseca también es cien veces mayor a la del silicio. “Capaz de transportar electricidad con mayor rapidez, eficiencia y precisión que cualquier otro material; con alta conductividad térmica, elástico y más rígido que el diamante”.¹⁷¹ “Además produce el efecto túnel de Klein, un extraño fenómeno cuántico en el que los electrones que contiene el material atraviesan toda clase de barreras con enorme facilidad, como si no existieran”.¹⁷² Por ahora, el único material que lo supera es el carbino.

La forma cilíndrica que adquiere el grafeno en los nanotubos de carbono es la responsable de su bajo índice de reflectancia, el cual es de 0.036%; ya que, cuando la luz incide en el grafeno es absorbida una y otra vez por las estructuras tubulares, hasta ser tragada casi por completo. El carbono sigue estado presente en la historia del arte, no importa si es como carbón, grafito o nanotubos de carbono.

2.3 Otros materiales negros

¹⁶⁹Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 195.

¹⁷⁰Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 212.

¹⁷¹“Los supermateriales: conoce el grafeno”, Centro de Investigación en Química Aplicada, (México: CONACYT), <https://centrosconacyt.mx/objeto/los-super-materiales-conoce-el-grafeno/>

¹⁷²Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 213.

2.3.1 Kohl

Existen materiales negros que han adquirido relevancia en la historia por sus funciones pragmáticas, como en el caso del kohl, mismas que luego fueron vinculadas a un significado simbólico. Ese significado no solo se arraiga en el objeto, sino en sus características como el color, la textura o la forma, de manera que, en un punto, la línea que divide al significado de las características formales se desdibuja. El kohl o galena, un pigmento mineral de sulfuro de plomo, fue usado en Egipto durante el Antiguo, Medio y Nuevo Imperio —incluso hoy en día su uso continúa como un delineador de ojos— ya que al ser mezclado con cloruro la piel del párpado produce 240% más óxido nítrico reduciendo el riesgo de una infección,¹⁷³ el dato es relevante considerando que en la época no existían antibióticos y una infección menor podía tener complicaciones mortales.

Una aparente actitud decorativa como lo es delinear el ojo con Kohl adquirió relevancia cuando se observó que los materiales protegían al ojo de la arena y luz solar del desierto libio, dicha protección ocular fue trasladada al terreno espiritual, pues luego de morir a ricos y pobres, hombres y mujeres se les delineaban los ojos de negro para ser protegidos en la otra vida, de modo que la protección también era espiritual, así lo demuestran los contenedores de delineador encontrados entre los objetos funerarios de los fallecidos. El Kohl era mezclado con polvos de piedras y metales preciosos como la esmeralda, el oro y perlas para que adquiriera distintos subtonos y destellos que eran apreciados a la luz del día. Aunado a sus propiedades espirituales y medicinales, el Kohl, como lo hace hoy el *smoke eye*, jugaba el truco del contraste —aunque la teoría de los colores complementarios y de contraste vendría muchos siglos después— haciendo resaltar el blanco de la esclerótica que entonces, como ahora, se consideraba distintivo y atractivo.¹⁷⁴

Más tarde, el Kohl se usó como máscara para pestañas y ennegrecer las cejas; sin embargo, el Kohl no fue el primer material probado para maquillar el rostro, de hecho, fue el carbón, aunque muy pronto se dieron cuenta de que era el responsable de la irritación ocular por lo que fue sustituido. El negro del Kohl fue mejorado con plomo, los seres humanos tardaron

¹⁷³St. Clair, *The secret*, 248.

¹⁷⁴St. Clair, *The secret*, 247.

mucho en limitar su exposición a este metal pesado causante de intoxicaciones y envenenamiento. Egipto heredó el uso del Kohl a otras zonas geográficas, por ejemplo, en Asia, de hecho, fue en Medio Oriente donde el material recibió el nombre por el que lo conocemos, significa “macha ojos” y proviene del árabe *kahala*.¹⁷⁵ En Egipto el negro era el color del limo del Nilo, rico en materia orgánica que fertilizaba y enriquecía la tierra.

2.3.2 Obsidiana

La obsidiana, una roca ígnea extrusiva, nace del magma solidificado en la superficie terrestre luego de una erupción volcánica. La obsidiana es por lo menos 70% dióxido de silicio, su sólido color negro se ve afectado por la presencia de hierro o magnesio, como el caso de la magnetita, un óxido ferroso diférrico, que la convierte en una piedra negra iridiscente. Presente en todos los continentes, la obsidiana tiene una historia relevante en América para distintas culturas mesoamericanas, especialmente para los mexicas. La roca magmática estaba vinculada con Tezcatlipoca, el dios invisible, el que se funde con la oscuridad, el omnipresente, el dios de la discordia, la guerra, la noche y los gobernantes, pero también de la juventud, la misericordia y la sabiduría. Tezcatlipoca lleva en el pecho un espejo de obsidiana, símbolo de su nombre *espejo que humea*.

Aunque Tezcatlipoca no era la única deidad mesoamericana vinculada a la obsidiana, también estaba Itzpapalotl una diosa chichimeca con cuerpo de mariposa y alas de obsidiana, deidad de la guerra, la muerte, renacimiento y regeneración. La mariposa es un insecto que se transforma y como tal, durante los procesos de colonización Itzpapalotl se convirtió en el arquetipo de la bruja. La obsidiana como un objeto de la cultura material fue vinculada a la diosa chichimeca a través de un significado simbólico, relacionado por ende con su color: el negro.

El siglo XVII fue un siglo influido por el surgimiento del Puritanismo, así como la proliferación de la brujería como un “efecto imprevisto” de la Reforma Protestante, además fue un siglo que vio nacer las nuevas ideas sobre el color (negro) derivadas de los

¹⁷⁵Finlay, *Color. A natural*, 82.

experimentos llevados a cabo de 1665 a 1666 por Isaac Newton que precedieron la publicación de *Óptica: o un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*.

A finales del siglo XVI e inicios del XVII se presenció el consistente regreso de los más inquietantes, paranoicos y pesimistas aspectos del cristianismo; por ejemplo, el poder del mal en la tierra, la presencia del diablo y sus enviados, especialmente las brujas, ocupadas de derrocar el orden establecido por Dios y llevarlo al poder. En ese contexto, el negro y todos sus tonos adquirieron significados inquietantes. Durante los juicios de las brujas, no solo el Diablo era descrito como un ser negro y peludo, sino que esa fue la imagen misma del Sabbat que obsesionó a Europa y más tarde a Norteamérica: la oscuridad. Desde los bosques oscuros durante la noche, hasta la ropa de los asistentes, pasando por la comitiva de animales sirvientes del Diablo (murciélagos, cuervos y gatos negros), los Sabbat eran verdaderas orgías de negrura. La obsidiana, una roca oscura arrojada desde las ardientes entrañas de la tierra, era naturalmente sospechosa.¹⁷⁶

De manera que, sería más pertinente considerar al espejo de obsidiana como un objeto ritual propio de la cosmovisión mexicana y no un objeto de adivinación como en el caso de John Dee, sobre todo por el paralelismo que la teología cristiana construyó entre Tezcatlipoca y el Diablo con fines evangelizadores ¿Cómo distinguir entre el negro de la obsidiana y el negro del azabache? ¿A simple vista podríamos diferenciar ambas piedras?

2.3.3 Azabache

El azabache se formó hace cerca de 145 millones de años durante el Cretáceo, cuando la madera de pino y araucaria atravesaron un proceso de carbonización a grandes presiones lo que causó la compresión de sus partículas. Se podría pensar que el azabache es mineraloide lignito; no obstante, el azabache atravesó por su propio proceso, de haber continuado por el camino del carbón bituminoso se habría convertido en antracita y quizá más tarde grafito. El

¹⁷⁶“The late sixteenth and early seventeenth centuries witnessed the widespread return of the most disturbing, paranoid, and pessimistic aspects of Christianity: belief in the potency of the devil on earth, and that his envoys—witches—were busy working to overthrow order and bring him to power. In this context blacks of all shades took on disturbing new meanings. Not only was the devil usually depicted (and described by witnesses at witch trials) as black and hairy, but the idea of the sabbat, which so obsessed Europe and later North America, was filled with darkness. From their venues—often forests at night—to their black-clad participants and the retinue of animals that attended Satan—crows, bats, and cats—sabbats were veritable orgies of blackness. Obsidian, a dark rock spewed forth from the fiery bowels of the earth, was naturally deeply suspect”. St. Clair, *The secret*, 252.

azabache es más ligero que la obsidiana y a diferencia de ésta, el azabache desprende un olor fétido cuando es expuesto al calor debido a los hidrocarburos que contiene conocidos también como betún.

El carbón más apreciado estéticamente proceso de los fósiles de araucaria [...] Al igual que el ámbar, produce electricidad estática, que le pone a uno el pelo de punta: de ahí que a veces se le conozca como ámbar negro. Pero es más común llamarlo azabache. En el siglo XIX lo puso de moda en Inglaterra la reina Victoria, quien, después de morir su consorte, el príncipe Alberto, llevó vestidos negros y joyas de azabache el resto de su vida. La demanda de ese material aumentó tanto en todo el imperio británico que los habitantes de Whitby, la ciudad de Yorkshire donde Bram Stoker escribiría más tarde su obra maestra, *Drácula*, dejaron repentinamente de utilizar como combustible el azabache de los grandes yacimientos que había en la región, y se hicieron famosos por fabricar joyas para el luto.¹⁷⁷

Al inicio de la investigación me referí a los cambios y transformaciones de la materia en el devenir de la historia y cómo es que esas transformaciones están influidas e influyen en lo social, es fascinante; por ejemplo, que podamos medir el tiempo con la tabla cronoestratigráfica, y que esta tenga un sustento material como la Tierra, su “vida” y sus cambios. Aquí cabe preguntarnos: ¿Por qué una roca metamórfica como el azabache se vinculó al lujo y al luto durante el siglo XIX? Su importancia radica en el color, textura, brillo, dureza, todas características de la materia que la componen, de su agencia.

2.3.4 Tinta

¿Cómo influyen las cualidades materiales de la tinta en el desarrollo de la escritura? En el antiguo Egipto se observó que la fluidez de la tinta permitía hacer trazos finos sobre las superficies de papiro, aunque parece una observación menor por su simplicidad, no podría haber sido de otro modo, de hecho, ese principio se mantiene hasta el día del hoy, 3 mil 700 años después. La tinta tiene una longevidad mayor a la del grafito y el carbón, en términos de duración la tinta permite otro tipo de relación de la escritura con la perpetuidad,

El José bíblico —el de el abrigo multicolor— era el virrey de Egipto alrededor del año 1700 a. C., y fue capaz de manejar todas esas hambrunas y otras crisis agrícolas con solo la ayuda de una ciudad de escribas que registraban todo y enviaban cartas escritas con letra cursiva, la

¹⁷⁷Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 204.

versión hierática de los jeroglíficos, que fueron difundidas por equipos de corredores. Cada empleado egipcio tenía dos tipos de tinta, roja y negra, que solían colocar en escritorios portátiles. La tinta negra estaba hecha de hollín mezclado con goma para adherirla al papiro.¹⁷⁸

Es cierto que antes de la invención de la tinta, la escritura ya existía, los jeroglíficos ya eran inscritos en piedra y madera su función era ritual y monumental, los caracteres ideográficos dialogaban con las columnas y las paredes de los templos e hipogeos, la escritura tallada gozaba de un carácter sagrado. En cambio, la escritura hierática, una escritura simplificada y derivada de jeroglífica, tenía una función administrativa, literaria o científica. La tinta era colocada en el cálamo y éste era colocado sobre el papiro. El cálamo, un trozo de bambú seco, tiene un corte sesgado por uno de sus extremos, funciona como un pincel y permite un estilo caligráfico con trazos verticales gruesos y trazos horizontales delgados.

China fabricó su tinta con hollín procedente de madera de pino, resina o vino, para ellos el negro era considerado como un color intelectual, la posibilidad de evocar un estado mental superior, de mayor sabiduría y templanza.

Conceptualmente, para los artistas chinos de hace miles de años, la tinta negra contenía todos los colores, al igual que en la filosofía Zen un grano de arroz contiene todo el mundo. El texto clásico taoísta, el Dao De Jing (Tao Te Ching), advierte que dividiendo el mundo en cinco colores (negro, blanco, amarillo, rojo y azul) cegarían los ojos a la verdadera percepción. El mensaje es que nosotros pensaríamos con más claridad si no nos empeñáramos en dividir el mundo.¹⁷⁹

La escritura es una experiencia sensorial, por eso la tinta no solo debía ser seductora al contacto con el papel ante la mano o la vista, ellos agregaban perfumes en la tinta, un proyecto verdaderamente sensual que, al involucrar más sentidos resultaba en una experiencia estética. En torno al siglo XII la tinta se realizaba con la corteza de bayas de

¹⁷⁸“The Biblical Joseph—he of the multicolored coat—was viceroy of Egypt in around 1700 BC. He was able to manage all those famines and other agricultural crises only with the help of a huge city of scribes to record everything and send letters—written in the cursive or “hieratic” version of hieroglyphics—which would be posted by teams of runners. Each Egyptian clerk had two kinds of ink—red and black—which they used to carry around in pots set into portable desks. The black was made of soot, mixed with gum to make it stick to the papyrus.” Finlay, *Color. A natural*, 90-91.

¹⁷⁹“conceptually, for Chinese artists a thousand years ago, black ink did contain all the colors, just as in Zen philosophy a grain of rice contains the whole world. The Daoist classic text, the Dao De Jing (Tao Te Ching), warns that dividing the world into the five colors (black, white, yellow, red and blue) would “blind the eye” to true perception. The message is that we would all think so much more clearly if we didn’t divide the world at all.” Finlay, *Color. A natural*, 90.

espino como lo relata Teófilo en *On Divers Arts*,¹⁸⁰ la preparación de la tinta consistía en dejar reposar la madera seca de bayas de espino en agua por ocho días aproximadamente para que el agua absorbiese la sabia, luego había que hervir la mezcla hasta hacerla espesar para más tarde añadir vino mientras continuaba el proceso de ebullición hasta obtener una especie de nata, la “tinta” era retirada del fuego y reposada en la luz del sol hasta que el color negro drenase los tonos rojizos, luego el líquido era colocado en pequeñas bolsas de pergamino para filtrar los restos de agua y obtener el pigmento negro. Finalmente, para escribir era necesario colocar el pigmento en un poco de vino al fuego añadiendo ácido sulfúrico; para oscurecer la tinta se calentaba al rojo vivo un trozo de hierro e inmediatamente era sumergido en la tinta.

Las tintas no son solo fluidas, sino negras. ¿Por qué la tinta es negra? ¿Por qué se prepondera la oscuridad en este material? ¿Por qué no basta con agregar agua en pintura negra para obtener tinta? ¿En qué se distinguen la tinta de la pintura si ambas están hechas de pigmento negro y goma arábiga? “Las tintas tienden a ser negras porque deben ser muy fluidas para escribir con facilidad, incluso más que con pintura; la mayoría de los pigmentos no serían suficientemente legibles en niveles tan altos de dilución”.¹⁸¹ Entonces ¿Cuál es el pigmento idóneo para hacer que la tinta sea tan oscura como fluida?

La tinta era producida incluso hasta poco antes de la invención del bolígrafo con negro humo, el pigmento u hollín que se forma al quemar o encender una vela o lámpara. La goma arábiga favorecía la dispersión en agua de las partículas del negro humo; cuando se le agregó aceite de linaza se logró mayor adherencia y mejor permanencia en el papel, el reto de la tinta es, al mismo tiempo, ser oscura y fluida, pero suficientemente espesa para secar casi al ser colocada sobre el papel. “Con excepción de la materia prima inicial, la receta de la tinta no tuvo cambios hasta el siglo XIX. Ni siquiera la invención de la imprenta tuvo gran impacto en ella. De hecho, cuando la línea 42 La Biblia comenzó a derramarse de las prensas de Gutenberg alrededor de 1455, el olor de la tinta en el aire debió ser muy parecido al de los numerosos *scriptoriums* monacales (durante la Edad Media). El principal ajuste a la receta

¹⁸⁰Teófilo, *On Divers Arts*, 42-43.

¹⁸¹“Inks have tended to be black because they need to be very fluid to write with easily—far more so than paint; most pigments would not be sufficiently legible at such high levels of dilution”. St. Clair, *The secret*, 254.

fue el uso de aceite de linaza”.¹⁸² Para Kassia St. Clair la imprenta no habría tenido éxito si Gutenberg no hubiera creado una tinta para impresión suficientemente adecuada para la reproducción de los textos, una tinta espesa, aceitosa, “solo era cuestión de jugar con combinaciones de trementina, aceite de linaza, nuez, brea, resina y negro humo hasta hacerlo bien [...] el aceite de linaza era un medio prácticamente perfecto, pero necesitaba ser tratado antes de que pudiera ser usado”.¹⁸³

El Palo de Campeche también fue un material usado con frecuencia para producir tintas en el siglo XVII; pero fue hasta 1763 que William Lewis llevó a cabo estudios sobre la estructura química de la tinta ferrogálica revelando que, además del sulfato de hierro, agalla de roble y goma arábica, algunas tintas contenían Palo de Campeche. Este hallazgo permitió el desarrollo de distintas fórmulas similares a la tinta ferrogálica, pero que contenían entre sus principales ingredientes *Haematoxylum campechianum* y un agente oxidante como el cromato de potasio.

Los compuestos de los diversos materiales incluidos en la preparación de las tintas tuvieron la misma injerencia en el color de la tinta como ocurría con los colorantes textiles. La tinta hecha de cromo y Palo de Campeche era color violeta rojiza cuando salía de las plumas, pero tan pronto como tocaba el papel se hacía negra debido a la combinación de los elementos con la tinta ferrogálica que era de tonos azulados y violetas. La tinta de Palo de Campeche y alumbre también era violeta, pero al añadirse un cromato se tornaba negra azulada. Mientras que la tinta a la que se le añadía acetato de cobre adquiría un aspecto rojizo.¹⁸⁴

Una transformación más de la tinta hecha con Palo de Campeche y cromo vino con la adición de glicerina y azúcar para optimizar su permanencia, que desde hacía tiempo se utilizaba

¹⁸²“With the exception of the initial raw material, the recipe for most ink remained stable until the nineteenth century. Even the invention of the printing press had little impact on it. When the 42-line Bible began spilling off Gutenberg’s presses in around 1455, the smell of ink in the air would have been much the same as in countless monastic scriptoria. The principal tweak to the recipe was the use of linseed oil as the base medium, which made for thicker ink that would adhere more easily to the paper.”, *The secret lives of color* (Nueva York: Penguin, 2017), 254. Entre paréntesis mías.

¹⁸³“it was just a matter of playing around with combinations of turpentine, linseed oil, walnut oil, pitch, lampblack and resin until they got it right [...] Linseed oil was a near-perfect binding medium, but it needed to be treated before it could be used.” Finlay, *Color. A natural*, 95.

¹⁸⁴“The compounds of the various metals included in these preparations had much the same influence on the colour of the ink as they had when used in dyeing. Fresh logwood-chromate ink was reddish violet as it came off the pan, but this darkened on the paper to black, in combination with iron-gall ink it was violet or blue violet. The logwood-alum ink was also violet, while the addition of chromate to this gave a blue-black. Logwood-alum-copper acetate inks had a reddish appearance.” Davies, “Logwood under the Microscope,” 183.

para copiado o reproducción simultanea de la escritura. La tinta de copiado y más tarde la tinta para impresión fueron relevantes tanto para el desarrollo del comercio internacional como para prevención de fraudes. En 1832 William Savage observó que el color de la tinta era propenso a cambiar con los ácidos que le eran añadidos, así que “ideó una tinta hecha a base de Palo de Campeche, agalla de roble y sulfato de hierro que podía usarse para imprimir giros bancarios, letras de cambio y recibos”.¹⁸⁵ La tinta de Palo de Campeche también fue utilizada en las artes gráficas aunque no con tanto éxito, más tarde con el advenimiento de los colorantes artificiales negros (anilina, naftol y naftilamina) su uso fue reemplazado, incluso como tinta de copiado debido a la introducción del papel carbón con el uso de la maquina de escribir en torno a 1734.

La importancia de esta historia es que todas estas transformaciones en el uso y la estructura química de los colorantes y tintas hechas con Palo de Campeche nos muestran las dificultades técnicas y científicas que implica conocer las reacciones de oxidación, miscibilidad y durabilidad para utilizar el material de una manera u otra. Los procesos de investigación suelen requerir tiempo, son historias dentro de la historia, historias y relaciones que conforman la materialidad del Palo de Campeche, la materialidad no será un atributo o una cualidad, sino un entramado, —recordemos el geoplano que utilicé de ejemplo al inicio del texto— de relaciones y vínculos entre los objetos (no-humanos), las cosas y sus circunstancias.

El sentido de perpetuidad de la tinta continua vigente, por eso no es extraño que para firmar documentos importantes como actas de nacimiento, matrimonio o defunción sea necesaria la tinta. La tinta común del bolígrafo está hecha con anilina azul, roja, amarilla y morada, que mezcladas se asemejan a la profundidad del negro, pero con un aspecto metálico, esta tinta no es resistente al agua; sin embargo, la tinta hecha de carbón vegetal sintético y sulfato de hierro fabricada por Dormy Ltd. no solo es resistente al agua sino a la luz del sol, pues contiene químicos que se oxidan en la superficie del papel haciéndola más y más oscura con el paso del tiempo.

¹⁸⁵“He devised a logwood-iron-gall ink which could be used for printing banks drafts, bills of exchange and receipts.” Davies, “Logwood under the Microscope,” 184.

Esencialmente, la escritura sigue siendo trazar letras sobre un fondo neutro, blanco, que les permita a las palabras aparecer en la danza del contraste. Una tinta ligera y a la vez suficientemente pigmentada permitió reducir cada vez más el tamaño del papel y su grosor hasta hacer del libro uno de los artefactos más importantes para el conocimiento. ¿Sin la fluidez de la tinta existiría la historia como archivo o un cúmulo de conocimiento? Las exigencias de la vida cotidiana tienen nuevos retos para la tinta, retos a los que no solía enfrentarse; por ejemplo, la porosidad del papel; la investigación y la creación de nuevos materiales, tales como el papel piedra, un papel prácticamente hidrófobo, suave y mucho más brillante, requiere una tinta espesa para adherirse al papel y fluida para contribuir a la rapidez de la escritura, capaz de secar al contacto con el aire sin transferir en la parte posterior del papel. Si el papel piedra resiste los embates del agua, la tinta deberá hacerlo también, distinguiéndose, por supuesto, de la tinta permanente del plumón.

2.3.5 Tinte

En cuestión de moda, el siglo XVI será tan importante para el negro como el siglo XVIII para el carbón, pues pasó de ser un color despreciado y maldito a ser el símbolo de la elegancia y sofisticación, aunque en realidad fue resultado de un largo proceso que comenzó con la heráldica y la caballería del siglo XIII. En el siglo XIII, la producción textil era la producción más importante en Europa, ser tintorero no era una tarea sencilla, implicaba tanto una organización jurídica y administrativa como una distribución geográfica de los colores, misma que les otorgaba derechos y obligaciones a los tintoreros. Algunas ciudades estaban destinadas exclusivamente a producir textiles rojos, otras negros, azules, verdes y amarillos; del mismo modo, existían colorantes legales e ilegales. Muchos tintoreros se especializaban en un color, era común encontrar que ciudades enteras se dedicaran exclusivamente al comercio de un color, los tintoreros (ordinarios y de lujo) se dedicaban a producir sus propios pigmentos, por lo que su labor requería un conocimiento técnico. La especialización, considerada una norma, se establecía

con base en los materiales utilizados (lana, seda, lino y cáñamo, posiblemente algodón en algunas ciudades italianas), pero sobre todo de acuerdo con los colores o a grupos de colores. Las regulaciones en realidad prohibían teñir una tela u operar en una gama de colores para los cuales no se tenía licencia. Para la lana, por ejemplo, a partir del siglo XIII, si eras tintorero de

rojo no podías teñir de azul y viceversa. Por otro lado, los tintoreros de azul a menudo teñían en tonos verdes y negros, mientras que los tintoreros de rojo se dedicaban a la gama de amarillos y, a veces, a los blancos.¹⁸⁶

Hasta el siglo XIV, obtener una tela negra era verdaderamente una hazaña. El negro estaba muy lejos de ser un negro profundo, era un color oscuro, pardo, obtenido de materia orgánica ignita como las raíces de los árboles o frutos como la nuez de agalla (que en realidad es una larva crecida en la corteza de los árboles de roble) y la castaña, para mejorar la adherencia del color a las fibras se utilizaba un mordiente de alumbre, un «medio», como ocurría con la goma arábiga entre la tinta y el papel; aunque para la época, también era frecuente usar óxido de hierro, otro pigmento negro. En la Edad Media el roble era considerado maléfico, su toxicidad era atribuida a su poder para evocar al Diablo, pero eso no impidió que el pigmento de la nuez de agalla fue el más consumido del siglo, era importado de Medio Oriente y el Norte África sin importar el costo, situación que hizo del negro el color de moda durante los siguientes dos siglos.

Subrayamos aquí que, el negro principesco nacido a finales del siglo XIV todavía está presente en las cortes del XVI y también en la primera parte del XVII. Ahora son los Habsburgo de Austria y España, quienes, como herederos perfectos de los duques de Borgoña, se convierten en estandartes del negro. María de Borgoña (1457-1482), hija de Carlos el Audaz, de hecho, dota a su esposo Maximiliano de Habsburgo (1459-1519) no solo un poder político incomparable, fundado en un vasto conjunto de territorios, sino también de la etiqueta vestimentaria de la corte que, en pocas décadas se convirtió en la etiqueta de la corte de España. Desde 1520 en adelante, la corte española impuso sus códigos de vestimenta en Europa y en todas partes, hasta mediados del siglo XVII, triunfó la famosa "etiqueta española". El negro formaba parte, como lo hacía en el siglo precedente, del protocolo borgoñés. Sobre todo, porque el emperador Carlos V (1500-1558), sobrino de María y Maximiliano, mostró una preferencia particular por él en todos los campos. Un hombre de gran piedad ve en el negro un color majestuoso, digno de su rango y poder, pero también un color virtuoso, símbolo de humildad y templanza.¹⁸⁷

¹⁸⁶“La specializzazione e la regola ovunque. Viene stabilita in base ai materiali testile usati (lana, seta, lino e canapa, eventualmente cotone in qualche cita italiana), e soprattutto a seconda dei colori o dei gruppi dei colori. I regolamenti vietano in effetti di tingere una stoffa o di operare in una gamma di colori per la quale non si ha la licenza. Per la lana, ad esempio, a partire dal XIII secolo, se si è tintori di rosso non si può tingere in blu e viceversa; in compenso i tintori di blu tingono spesso nei toni verdi e nei toni neri, mentre i tintori di rosso si occupano della gamma dei gialli e a volte di quella dei bianchi.” Pastoureau, *Nero*, 90.

¹⁸⁷ “Sottolineiamo qui che il nero principesco, nato alla fine del XIV secolo, è ancora ben presente nelle corti del XVI e anche del primo XVII. Ormai sono gli Asburgo, d’Austria e di Spagna, che, da perfetti eredi dei duchi di Borgogna, si fanno campioni del nero. Maria di Borgogna (1457-1482), figlia di Carlo il Temerario,

El negro en la ropa fue símbolo de penitencia y arrepentimiento, pero también de elegancia y sofisticación. Las autoridades comenzaron a vestir de negro, como en el caso del Ducado de Borgoña, creadores del negro borgoña, un negro púrpura con el que se hicieron retratar los nobles de la época. El negro fue símbolo de estatus y autoridad, más tarde fue adoptado por banqueros, administradores, jueces y comerciantes, la burguesía se convirtió en el mejor cliente de los tintoreros, así lo demuestra la pintura de los Países Bajos del XVI.

A fines del siglo XVI, el método más conocido para obtener un hermoso y profundo negro era sumergir la seda o la lana primero en un baño de color índigo que le diera a la tela un hermoso tono azul, y luego, cuando la tela estaba seca, se volvía a sumergir, pero ahora en un tinte rojo con un mordiente de alumbre. [...] La fascinación y el interés de los tintoreros por el negro refleja el hecho de que el negro era un color supremo de poder, estatus y moda en la Europa moderna temprana. A fines del siglo XVI, era esencial que los jóvenes de familias ricas se hicieran retratar vestidos de negro. Aunque los negros profundos y suntuosos con matices azules, púrpuras o rojos generalmente se asocian solo con las élites y las clases mercantes, el negro era; de hecho, el color más importante también en la ropa de artesanos y comerciantes ordinarios [...] En Siena entre 1550 y 1650... el 25% de toda la ropa masculina y femenina consistía en prendas teñidas con diferentes tipos de negros, incluidas chaquetas, pantalones, overoles, entre otros.¹⁸⁸

Debido a las distintas recetas del tinte, sus ingredientes y la variedad de los tejidos casi nunca se obtenía el mismo negro, algunas veces era más rojizo, otras más azulado. “Lo que mucha

porta in effetti in dote al marito Massimiliano d'Asburgo (1459-1519) non solo potere politico incomparabile, fondato su un vasto insieme di territori, ma anche un'etichetta di corte e mode vestimentarie che diventano in qualche decennio quelle della corte di Spagna. Dal 1520 in poi questa corte impone all'Europa intera suoi codici e i suoi usi, e ovunque, fino alla metà del XVII secolo, trionfa la famosa «etichetta spagnola». Il nero ne fa parte, come faceva parte nel secolo precedente del protocollo borgognone. Tanto più che l'imperatore Carlo V (1500-1558), nipote di Maria e di Massimiliano, mostra di avere in tutti i campi una particolare predilezione per questo colore. Uomo di grande pietà, vede nel nero un colore maestoso, degno del suo rango e del suo potere, ma anche un colore virtuoso, simbolo di umiltà e di temperanza.” Pastoureau, *Nero*, 103.

¹⁸⁸By the late sixteenth century, the best-known method to get a beautiful, deep black was to dip the silk or wool first in either a woad or indigo bath that gave the cloth a beautiful blue undertone, and then, when the fabric was dry, to overdyer the fabric with madder (red dye) on an alum mordant. The fascination and interest of dyers over black reflects the fact that black was an ultimate colour of power, status and fashion in early modern Europe. By the end of sixteenth century, it was essential for young men of wealthy families to have their portraits painted in black. Although deep, sumptuous blacks with blue, purple or red undertones are usually associated only with the elites and merchant classes, black was, in fact, the most important colour also in clothing of our ordinary artisans and shopkeepers. Our initial data shows that, for example in Siena between 1550–1650, whenever colour was mentioned, 25% of all male and female clothing consisted of garments dyed with different types of blacks, including jackets, breeches, over-gowns among others.

Paula Hohti, “Exploring historical blacks: the Burgundian black Collaboratory”, *Refashioning. The Renaissance*, (febrero 2019), consultado 4 de septiembre de 2019.

<http://refashioningrenaissance.eu/exploring-historical-blacks-the-burgundian-black-collaboratory/>

gente hizo fue sumergir la tela en tintas con distintos colores (azul, rojo y amarillo) hasta dar la impresión de negrura. Sin embargo, eso era costoso, había que encontrar otra opción”.¹⁸⁹ La principal dificultad de los tintoreros era que el negro debía ser resistente al agua y al mismo tiempo soluble en ella. Incluso hoy, el negro, sobre todo en fibras naturales como el algodón, sufre mayor desgaste que otros colores, la ropa que una vez fue negra se hace grisácea al cabo de sus primeros encuentros con los detergentes modernos.

Alrededor del siglo XVI, ocurrieron dos eventos importantes; el primero, la reforma protestante (1517-1648); el segundo, la colonización que inició en 1492, pero se extendió por lo menos hasta el siglo XIX. Los protestantes adoptaron el significado monacal del negro, la moral social y religiosa de la reforma protestante fue cuidadosa de adoptar una vestimenta acorde con sus valores, limitaron el uso del color por considerarlo banal, los colores de la reforma fueron el negro, el gris y el blanco, una paleta sombría, pero distante de la connotación diabólica que tuvo esa gama cromática durante la Edad Media. Los principios morales del protestantismo hicieron del negro la norma del gusto. El negro en la ropa como signo vergüenza y pecado debía recordarles a las personas su miseria, por lo que debía ser simple, discreta y sobria.

El negro se vuelve adversario del lujo, “para Calvino, adornarse es signo de impureza, maquillarse es una obscenidad y vestir de otros colores una abominación [...] una excesiva preocupación por el cuerpo y la ropa coloca al hombre por debajo del nivel del animal. Para todos, el lujo es corrupción, el único ornamento que se necesita es el del alma”.¹⁹⁰ En consecuencia, se observa “una extrema austeridad en la ropa y en el aspecto exterior: simplicidad de formas, discreción de los colores, eliminación de los accesorios, y de los objetos que pueda enmascarar la verdad”,¹⁹¹ así nace la cromofobia. El negro lujoso de las Cortes Borgoñesas de la época de Felipe el Bueno se funde con el negro austero de Martín

¹⁸⁹“What many people did was dye clothes in several vats— blue, red and yellow—until the impression was one of blackness. However, that was expensive. Another option had to be found.” Finlay, *Color. A natural*, 96.

¹⁹⁰“Per Calvino, adornarsi è un segno di impurità, truccarsi un’oscenità, travestirsi un abominio... un’eccessiva preoccupazione per il corpo e l’abbigliamento colloca l’uomo al di sotto del livello dell’animale. Per tutti il lusso è una corruzione; il solo ornamento che bisogna ricercare è quello dell’anima...” Pastoureau, *Nero*, 130.

¹⁹¹“un’estrema austerità nell’abbigliamento e nell’aspetto esteriore: semplicità di forme, discrezione dei colori, soppressione degli accessori e degli artifici che possono mascherare la verità.” Pastoureau, *Nero*.

Lutero. El protestantismo transformó la sensibilidad de la época hacia el negro a través de la tinta impresa en el libro y la moral monocroma y “minimalista” de sus templos y vestidos.

Aunque esta investigación no es sobre los materiales textiles, destaco su relevancia y sobre todo su relación con los pigmentos y tintes. El comportamiento de las fibras de muy distintas naturalezas frente a los tintes orgánicos y sintéticos modernos es una transformación no solo para los colorantes, sino para los materiales crudos que requieren técnicas y tecnología específica para producir telas de colores brillantes o negros profundos y sólidos, procesos que no tienen relación con las técnicas artesanales o procesos industriales a través de los cuales se obtiene el tubo de óleo o las pastillas de acuarelas.

Tristan Weddigen menciona: “el textil es un híbrido bajo el cual muchas veces se entrelazan distintas propiedades —material, tecnología, medio y metáfora— pero en el que rara vez se refiere a uno de ellos de forma aislada”.¹⁹² En estricto sentido, los materiales textiles se transforman y transforman a los colorantes, como lo mencioné en el apartado sobre el giro material, constituyen un ensamble, un giro. El análisis material sobre los colores en los textiles requiere una metodología específica que le concierne tanto a las fibras de la tela, como los colorantes y la tecnología en la que se producen. Los textiles y sus colorantes son un elemento vital en la cultura material en cualquier coordenada espacio temporal, como otros no-humanos son documentos en sí mismos que entrañan sobre aspectos técnicos y representacionales. Uno de los colorantes negros ha sido el Palo de Campeche, explicaré porqué.

El Palo de Campeche o *Haematoxylum campechianum* “es el duramen de un árbol leguminoso, nativo de América Central. Descubierta en Campeche en la costa oeste de la península de Yucatán durante la conquista de México a principios del siglo XVI”.¹⁹³ Con el establecimiento de las rutas comerciales entre España y la Nueva España, los españoles comenzaron a llevar desde Yucatán el Palo de Campeche a Europa. Fue introducido a Gran

¹⁹²“the textile is a hybrid under which properties are often strung together -material, technology, medium, and metaphor- and only rarely does it refer to one of these in isolation.” Tristan Weddigen ‘Materiality’ en “Notes from the field: Materiality”, *The Art Bulletin*, 2014, 34.

¹⁹³Davies, “Logwood under the Microscope,” 180.

Bretaña hasta mediados del siglo XVI para teñir de azul oscuro y negro telas como la lana, el algodón y la seda,¹⁹⁴ gracias a que “la ingeniosa industria de los tiempos modernos brindó a los tintoreros la posibilidad de fijar el color procedente del Palo de Campeche”,¹⁹⁵ se convirtió en uno de los colorantes más importantes de Europa. Para que el Palo de Campeche pudiera ser utilizado como un colorante, la hematoxilina debía oxidarse y convertirse en hemateína. La estructura química del Palo de Campeche fue determinada en 1908 junto con la estructura del duramen, una especie de madera brasileña llamada *Caesalpina*, similar al *Haematoxylum champechianum*.

Para fijar el Palo de Campeche a la lana se realizaban dos preparaciones principales con mordientes distintos, una hecha con hierro y la otra con cromo. “El proceso de hierro, el método más antiguo conocido para teñir de negro la lana, utilizaba hierro y sulfato de cobre como mordientes [...] El proceso con cromo utilizó dicromato de potasio como agente oxidante, con ácido sulfúrico y sulfato de cobre”.¹⁹⁶ Un tercer método para teñir la tela implicaba realizar una mezcla de Palo de Campeche y zumaque para luego sumergir la tela en una solución de extracto de Palo de Campeche con sulfatos de hierro y cobre, es decir, una mezcla de ambos mordientes.

El siglo XVII marcado por el desarrollo de la óptica y la Ilustración (y los simbolismos de la luz) no impidió que el negro hiciera brillar su opacidad en las prendas de vestir. “La preferencia de la ropa negra entre los individuos de clase pudiente del siglo XVII era tal que los retratistas como Frans Hal en Holanda o Nicholas de Largillière en Francia se vieron obligados a desarrollar sus capacidades perceptivas y una técnica refinada para plasmar por lo menos veintisiete negros distintos”.¹⁹⁷

¹⁹⁴Davies, “Logwood under the Microscope,” 182.

¹⁹⁵“the ingenious industry of modern times hath taught the dyers of England the art of fixing the colours made of logwood.” Finlay, *Color. A natural*, 96.

¹⁹⁶“The iron process the oldest known method for dyeing wool black used iron and copper sulfate as mordants [...] The chrome black process used potassium dichromate as an oxidizing mordant, with sulfuric acid and copper sulfate.” Davies, “Logwood under the Microscope,” 183.

¹⁹⁷Gage, *Color y cultura*, 156.

La exposición *Back to Black* del museo Hof van Busleyden en Países Bajos nos propone ahondar en la experiencia del tintorero con el negro de Borgoña, no solo en lo que a significados históricos del color se refiere, sino a reproducir la experiencia material del tintorero con el pigmento y la tela. En el siglo XVI el color no era “simplemente” un fenómeno de la luz, sino un verdadero proceso creativo, los recetarios de alquimistas y tintoreros revelan una compleja relación lingüística con el negro, su conocimiento es un legado y puede ayudarnos a comprender la complejidad de los colores y sus sustancias.

Fue durante la industrialización que, con la creación de fibras y pigmentos sintéticos se hizo posible obtener un negro estable. En el siglo XXI, el negro no podrá ser más el negro lujoso del XVI o el de la inmundicia del XIX, sobre todo porque en el siglo XX los diseñadores de modas lo vistieron con los nuevos valores de la época: modernidad y funcionalidad. “El negro es al mismo tiempo moderno serio, creativo y dominante”,¹⁹⁸ así lo demostró el «*petite robe noire*» o “vestidito negro” creado por Gabrielle Chanel en 1926, un vestido corto, versátil y atemporal, al que su simpleza no le permite “pasar de moda”, que puede ser usado en verano o invierno, de día o de noche, por personas jóvenes o maduras, de manera informal o formal, el vestido de Chanel es geométrico, monocromo y *minimal*.

La furia magmática del negro obsidiana que brota de las entrañas de la tierra es transformada en el lenguaje del diseño por Boris Bidjan Saberi, quien, desde el inicio del siglo XXI, indaga los fantasmas que han inquietado a la ciencia contemporánea: la materia y la energía oscuras. El diseño de modas no se mantiene al margen de lo que ocurre en el terreno de la ciencia, contribuyen desde su terreno a resolver los grandes problemas del conocimiento, sobre todo cuando de materiales se trata. El diseño se alimenta del espíritu de la época y quizá, con su sensibilidad los diseñadores y los artistas se le adelantan; la ropa transpira ideología. Los diseños del artista germano-persa actualizan las armaduras medievales que fueron despojadas del metal para ser sometidas a baños en ácido y nitrógeno líquido, prácticamente desmembradas generan texturas dignas de un análisis arqueológico sobre la industrialización.

¹⁹⁸“Il nero è allo stesso tempo moderno, creativo, serio e dominante”. Pastoureau, *Nero*, 189.

La corporalidad saberiana está completamente reinventada, en chaquetas que se asemejan a armaduras, pero esta vez para guerreros urbanos, surcadas con heridas en sus puntadas donde lo orgánico y lo inorgánico se encuentran en el profundo abrazo del cuero y el vinil, con zapatos anfibios que, probablemente, aparecerían en las aventuras de un película o videojuego; esta corporalidad muestra las agitaciones habituales de la materia oscura. Estamos realmente en los límites de la experimentación, aparentemente mitigada solo por una geometría limpia y relajada.¹⁹⁹

Con la aparición de los nanotubos de carbono, la industria textil del siglo XXI deberá hacer frente a los mismos desafíos de los tintoreros del XVI, ¿cómo adherir los nanotubos de carbono en las fibras de la tela? ¿Cómo hacer que los nanotubos de carbono puedan ser solubles en agua aun a pesar de ser hidrófobos? ¿Cómo resolver la toxicidad del material? Si los nanotubos de carbono omiten la tridimensionalidad, ¿cómo abordar el volumen del cuerpo? Si analizamos el estilo de Yohji Yamamoto, Rick Owens, Boris Bidjan Saberi, Damir Doma y Ann Demeulemeester no solo veremos su predilección por el negro, sino atuendos que borran la corporalidad y despojan al cuerpo de su género. ¿No es son los nanotubos de carbono con su negro absoluto el mejor material para alcanzar su objetivo?

¹⁹⁹“La corporalità saberiana e interamente rifondata, come sorrette da giacche-armature per guerrieri urbani, solcata da cuciture-ferite dove organico e inorganico si incontrano nell’abbraccio di pelli immerse nel vinile, con scarpe e anfibi che, passibili di entrare nelle avventure di un film o di un videogioco, mostrano le agitazioni pulsanti della solita materia oscura. Siamo davvero ai confini della sperimentazione, di recente solo apparentemente mitigata in geometrie limpide e distese.” Fabbriano Fabbri, *L’orizzonte degli eventi*, (Bologna: Atlante, 2013), 156.

3. Nanotubos de carbono: un supermaterial más fuerte que el acero y más frágil que las alas de una mariposa

3.1 Vantablack: nanotubos de carbono verticalmente alineados

Surrey NanoSystems inició operaciones en 2006 con el objetivo de producir nanomateriales a bajas temperaturas para su comercialización en el mercado industrial. Fue en 2012 que este laboratorio desarrolló recubrimientos supernegros con la finalidad de mejorar el rendimiento y sensibilidad de los sistemas de ingeniería electroóptica para la generación de imágenes satelitales. El desarrollo temprano del negrovanta se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Física del Reino Unido, aunque posteriormente fue *Surrey NanoSystems* la compañía encargada de desarrollar y darle nombre a la sustancia.

Como se mencionó desde la introducción, la principal característica del Vantablack es su capacidad de absorción²⁰⁰ de la luz, por lo que ha resultado un material ideal para un sinfín de usos industriales, por ejemplo, se ha usado al interior de los telescopios y otros dispositivos de imagen como cámaras fotográficas donde la radiación dispersa puede reducir significativamente la cantidad de ruido.²⁰¹

²⁰⁰Entenderemos por «absorción» la absorción óptica; es decir, la disminución de la intensidad de la radiación que atraviesa un cuerpo. La absorción de la radiación electromagnética es el proceso por el que la radiación es captada por la materia. Al absorber la radiación, ésta puede ser transformada en energía eléctrica o calor. En cierta forma, los colores son producidos bajo esta premisa, pues la materia en sí absorbe algún tipo de frecuencia electromagnética; los materiales opacos absorben todo el rango de luz visible, mientras que los materiales transparentes permiten pasar dicho rango de frecuencias. A nivel microscópico, ocurre que la energía de un fotón es tomada por otra partícula, por ejemplo, un átomo en el que los electrones de valencia realizan una transición a niveles de energía electrónica. La energía electromagnética del fotón es absorbida y transformada en energía electrónica, esta energía también puede transformarse, por ejemplo, en un plasmón. La absorción de la radiación electromagnética se define como el proceso por el cual la intensidad de un haz de radiación electromagnética se atenúa al pasar a través de un *medio material* convirtiendo la radiación en una cantidad equivalente de energía. La energía radiante es convertida en calor, o en alguna otra forma de energía molecular. La capacidad de un medio material de absorber la radiación depende de diversos factores, principalmente depende de su constitución electrónica y nuclear a nivel atómico y molecular, pero también de la longitud de onda de la radiación, el espesor y la concentración del medio absorbente. Estas variables son fundamentales para la lectura de la tabla comparativa de las propiedades de las distintas versiones del Vantablack. Vid. *La Enciclopedia McGraw-Hill* (Nueva York: McGraw-Hill, 1993), 7.

²⁰¹La *Enciclopedia McGraw-Hill de Física* define al ruido como caos; es decir, como aleatoriedad en un sistema aislado. El comportamiento de un sistema depende de la sensibilidad de las condiciones precisas e iniciales de este, pero esas condiciones son a su vez son impredecibles, el caos es el comportamiento aleatorio de un sistema, aunque el sistema se encuentre determinado matemáticamente. Vid. Sybil P. Parker, *La Enciclopedia McGraw-Hill de Física* (Nueva York: McGraw-Hill, 1993), 147. El ruido en la imagen es entendido como la variación aleatoria del brillo y el color que hace que una imagen no corresponda con la realidad, en la fotografía analógica el ruido era el grano producido por la lente, que ha sido hasta cierto punto aceptado o valorado

Vantablack es un recubrimiento súper negro que tiene el récord mundial como la sustancia más oscura hecha por el hombre. Fue desarrollado originalmente para sistemas de calibración de cuerpos negro a bordo de satélites, pero sus propiedades físicas y ópticas únicas han dado lugar a un sinnúmero de aplicaciones. Vantablack está disponible en dos versiones, ya sea directamente aplicado a las superficies utilizando la tecnología de deposición al vacío o, en el caso de Vantablack S-VIS, por medio de un rocío y después post-procesamiento.²⁰²

La alineación de los nanotubos de carbono [img. 76 (5)] permite que los fotones entren en ellos, pero no les permite salir. Los nanotubos de carbono absorben distintos tipos de radiación, tales como la luz ultravioleta, el infrarrojo y las microondas. La radiación al ser absorbida es disipada entre los nanotubos en forma de calor. Los sensores ultrasensibles muestran que el grafeno permite que solo el 0.036% de la luz escape de entre los nanotubos de carbono. En su estructura fisicoquímica, el Vantablack es una delgada película de nanotubos de carbono, cada uno de los cuales mide cerca de $20\mu\text{m}$,²⁰³ de manera que un 1cm^2 está compuesto por cerca de mil millones de nanotubos. Los nanotubos son 3,500 veces más delgados que un cabello. El Vantablack mide 20nm de diámetro y puede estirar longitudinalmente de 14 a $50\mu\text{m}$.²⁰⁴ Los nanotubos de carbono no son un pigmento o una pintura, sino un «bosque» construido de millones de tubos que absorben la luz, este material es reconocido como la sustancia más oscura del mundo fabricada por el hombre. El *National*

positivamente, con base en criterios como la película, la sensibilidad de esta y el proceso de revelado. En la fotografía digital el ruido es un conjunto de señales aleatorias a la imagen original. El ruido está estrechamente vinculado con el funcionamiento del sensor que posibilita la captura de la imagen. El uso del Vantablack al interior del barril de una lente fotográfica, así como al interior de las paredes donde se encuentra el espejo presupone combatir el *flare* y mejorar el contraste de la lente. El *flare* es un fenómeno óptico que ocurre en el objetivo de una cámara cuando los rayos del sol inciden en él, llegando al plano focal y generando una luz parasita que degrada la calidad de la imagen. En las cámaras fotográficas el Vantablack absorbe la luz parasita, causante de señales aleatorias que distancian la imagen capturada de la imagen visible.

²⁰²Vantablack is a super-black coating that holds the world record as the darkest man-made substance. It was originally developed for satellite-borne blackbody calibration systems, but its unique physical and optical properties have resulted in its finding widespread application. Vantablack is available in two versions, either directly applied to surfaces using vacuum-deposition technology or, in the case of Vantablack S-VIS, by spraying and then post-processing. Texto de presentación en el sitio oficial de *Surrey NanoSystems*: <https://www.surreynanosystems.com/vantablack>

²⁰³(μm) Unidad de longitud que equivale a la millonésima parte de un milímetro. Se utiliza para medir la longitud de onda de la radiación ultravioleta, radiación infrarroja y luz. Los nanómetros adquirieron notoriedad gracias a la nanotecnología. Se le conoce como micra, micrón y micrómetro.

²⁰⁴s/a, “World’s blackest material Vantablack now absorbs even more light”, *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 95 (mayo, 2016), consultado el 9 de octubre de 2018: 6.

<http://eds.a.ebscohost.com/pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=b9a9e96f-2010-4c3e-bd82-77bf04aab22a%40sdc-v-sessmgr03>

Physical Laboratory midió la reflectancia de dicho material, encontrando que solo es capaz de reflejar el 0,036%²⁰⁵ de la luz:

Vantablack absorbe prácticamente toda la luz incidente, por lo que es ideal para hacer frente a una serie de problemas de supresión de luz y de gestión de luz. Refleja tan poca luz que se describe a menudo como lo más parecido a un agujero negro que jamás veremos. Por lo que, con tales niveles excepcionalmente bajos de reflectancia, Vantablack produce algunos efectos ópticos sorprendentes; cuando se aplica a un objeto tridimensional, Vantablack es tan negro que se hace extremadamente difícil de discernir cualquier característica de la superficie, y objetos tridimensionales parecen ser de dos dimensiones.²⁰⁶

Hasta el momento, *Surrey NanoSystems* suele “cultivar” los nanotubos de carbono en superficies de aluminio a través de un proceso de deposición química de vapor, un proceso —químico— que se lleva a cabo²⁰⁷ en temperaturas atómicas. La deposición química de vapor se utiliza para producir sólidos de alta pureza y alto rendimiento, semiconductores industriales que adquieren la forma de películas delgadas. La película o sustrato es expuesto a precursores volátiles que reaccionan y se descomponen en la superficie para producir un depósito. El Vantablack tiene gran conductividad térmica y un menor volumen en cualquier material que pueda ser utilizado para aplicaciones de alta emisividad. Los nanotubos de

²⁰⁵La reflectividad es la relación que existe entre la amplitud del campo reflejado electromagnético respecto a la amplitud del campo incidente, mientras que, la reflectancia se refiere a la relación entre la potencia electromagnética que incide en la superficie con respecto a la potencia que es reflejada en una interface. La reflectancia es expresada en números reales positivos de porcentaje; por ejemplo, el índice de reflectancia del Vantablack es de 0,036%, es decir que el material es capaz de absorber el 99.964% de luz. De hecho, el Vantablack es considerado como un cuerpo negro, pues no posee luz propia como otros cuerpos. De acuerdo con *La Enciclopedia McGraw-Hill de Física*, la reflectancia de una superficie es una medida del reflejo de radiación, que es definida como la proporción de la intensidad del reflejo y la incidencia de la radiación. La reflectancia depende del ángulo de incidencia, la polarización de la radiación y las propiedades electromagnéticas de los materiales. Los materiales reflejantes se dividen en dos; los primeros, cuerpos transparentes, en los que la radiación entrante se propaga sin ser atenuada y; los materiales opacos, que son principalmente conductores de la radiación atenuándola. Vid. Sybil P. Parker, *La Enciclopedia McGraw-Hill de Física* (Nueva York: McGraw-Hill, 1993), 1177.

²⁰⁶Vantablack absorbs virtually all incident light, making it ideally suited to addressing a host of light-suppression and light-management problems. It reflects so little light that it is often described as the closest thing to a black hole we'll ever see. With such exceptionally low levels of reflectance, Vantablack produces some startling optical effects; when it's applied to a three-dimensional object, Vantablack is so black that it becomes extremely difficult to discern any surface features, and three-dimensional objects appear to become two-dimensional. *Surrey NanoSystems*. “What is Vantablack?” Consultado 10 de marzo, 2016. <https://www.surreynanosystems.com/vantablack>. La traducción es mía.

²⁰⁷La deposición es un proceso termodinámico que consiste en transformar un gas en un sólido, la deposición también es conocida como sublimación inversa. El proceso contrario a la deposición es la sublimación. La deposición ocurre, por ejemplo, cuando el vapor de agua se convierte en hielo sin pasar por un estado líquido. La deposición fisicoquímica es usada frecuentemente para colocar depósitos de metales sobre distintas superficies, los depósitos generalmente tienen forma de películas delgadas.

carbono comúnmente se cultivan a 750°C; sin embargo, en algunos experimentos se están cultivando a menores temperaturas a través de la microelectrónica, pues solo materiales subyacentes como el silicio, el diamante y el zafiro resisten las temperaturas habituales de los cultivos de nanotubos.

Anuj Patil enlista algunas de las propiedades del Vantablack:

- Se caracteriza por niveles casi indetectables de desgasificación, reducción de una fuente clave de contaminación en sistemas de imágenes sensibles.
- En cuestión de resistencia soporta el choque, el lanzamiento y la vibración a largo plazo.
- Es hidrófobo.
- Y es adecuado para recubrimientos internos como aberturas, deflectores, escudos fríos y sensores ópticos microelectromecánicos.²⁰⁸

A través de la deposición química, los nanotubos cultivados por *Surrey NanoSystems* para desarrollar el Vantablack²⁰⁹ —en sus diferentes versiones— crecen en la superficie de un sustrato de distintas composiciones químicas como lo son las láminas de aluminio, ya sean óxido de aluminio, o nitruro de aluminio, o aleaciones, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, cuarzo, zafiro, silicio y dióxido de silicio, acero inoxidable, titanio y nitruro de titanio.

El Vantablack versión CVD es la primera versión del material; esta versión del Vantablack se depone a una temperatura promedio de 450°C; lo que reduce la posibilidad de colocarlo sobre distintos sustratos. El Vantablack S-VIS es la versión flexible o pulverizable del Vantablack. *Surrey NanoSystems* recomienda que la aplicación del Vantablack S-VIS sea en condiciones controladas de aire; es decir, en una cabina de pulverización cerrada y filtrada. El objeto es recubierto poco a poco hasta formar una capa gruesa adecuada, posteriormente el objeto recubierto pasa por un proceso de funcionalización química para amalgamar ambos materiales (sustrato y recubrimiento) y cambiar su densidad a temperaturas que van de los 100 a 280°C, siendo ese rango de temperaturas lo que caracteriza a dicha versión del Vantablack.

²⁰⁸Anuj Patil, “Vantablack: The World's Darkest Material,” *Man-made Textiles in India*, no. 43 (enero 2015), consultado 08 de octubre de 2018: 20-21.

<http://eds.a.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=8133325a-4b2f-4142-a810-d4bc77c5358c%40sessionmgr4010>

²⁰⁹Las muestras que *Surrey NanoSystems* pone a disposición de equipos de investigación incluyen dos de los sustratos mencionados con anterioridad, el aluminio y el cobre.

El Vantablack S-IR es también una versión pulverizable de Vantablack, pero optimizada con infrarrojo (NIR), el Vantablack S-IR y el Vantablack S-VIS tienen las mismas cualidades mecánicas, térmicas y de vacío; sin embargo, el Vantablack S-IR tiene un mejor rendimiento óptico debido a su longitud de onda infrarroja (LWIR) que alcanza cerca de 300 μ m. Esta versión del Vantablack es ideal para el diseño de lentes, pues evita la luz parásita y es ideal para el desarrollo de maquinaria en la industria aeroespacial en los que el ahorro de peso es fundamental. El Vantablack S-IR está hecho con base en nanotubos cortos no alineados con aglutinantes²¹⁰ orgánicos dispersados en una solución portadora. Luego de ser colocado como recubrimiento, el Vantablack S-IR es sometido a un proceso al vacío por lo que su rendimiento es mejor que el del Vantablack S-VIS cuando se enfrenta a luz infrarroja, pero no supera al Vantablack original.

Por su parte, VBx2 es el único material fabricado por Surrey NanoSystems que no está hecho con base en nanotubos de carbono, sino con pigmento negro de carbón,²¹¹ así se indica en las secciones 3.1 Mixtures y 11.1.2 Mixtures de Safety Data Sheet de VBx Ultra Black Paint que se encuentra en el anexo de este trabajo.²¹² El medio de VBx2 es resina polimérica, el laboratorio inglés señala que esta versión de Vantablack no es tóxica ni daña el medio

²¹⁰La aglutinación consiste en la agregación de partículas materiales conseguida mediante interacción con una proteína específica. [...] Algunas sustancias resinosas, sintéticas y naturales tienen afinidad para mejorar otras superficies. Cuando estas sustancias líquidas resinosas se espesan, bien por evaporación de la materia volátil o a causa de reacciones químicas intermoleculares o intermoleculares, puede conservarse su tendencia a adherirse a otras superficies. Esta capacidad de una resina de baja viscosidad para humedecer una superficie y retener la adherencia después del espesamiento es la principal propiedad de los agentes aglutinantes [...] Un plástico de estructura robusta, una cubierta de caucho o una capa de pintura solamente pueden obtenerse si la sustancia resinosa es un buen adhesivo entre los cuerpos de relleno dispersados en la resina. Los agentes aglutinantes pueden considerarse como líquidos adhesivos de viscosidad muy elevada. Las propiedades químicas y mecánicas del adhesivo, la pintura o el plástico en los que se usan tales agentes aglutinantes dependen extensamente de la resistencia que la resina tiene al deterioro químico y, sobre todo, de sus propiedades viscoelásticas. Puesto que el agente aglutinante es el medio continuo en cualquier combinación con las sustancias de relleno, determina ampliamente las propiedades de la masa, aun cuando se halle presente en menores proporciones. Vid. "Aglutinación" y "Aglutinantes resinosos" en George L. Clark, *Enciclopedia de Química* (España: Omega, 1961), 40-41.

²¹¹Además de la información presente en la Safety Data Sheet de VBx Ultra Black Paint, consultada el 08 de agosto de 2021, 3 y 11 <https://www.surreynanosystems.com/resources>, Ben Jensen lo señala en una entrevista de 2019 realizada en el marco del Salón Internacional del Automóvil en Frankfurt, Alemania. "The Ultimate Murdered out X6" video de YouTube en Evolve Automotive: 2019. 8m 12s <https://www.youtube.com/watch?v=83lQ9qDgprM&list=WL&index=32>

²¹²Ben Jensen, CTO de Surrey NanoSystems, también lo menciona en una entrevista realizada en el marco del Salón Internacional del Automóvil en Frankfurt en 2019. "The Ultimate Murdered out X6 - BMW x VANTABLACK" Video de YouTube en Evolve Automotive: 2019. 8m 12s <https://www.youtube.com/watch?v=83lQ9qDgprM&list=WL&index=34>

ambiente, sin embargo, la exposición prolongada o la ingesta de alguno de los ingredientes (acetona, carbón o resina polimérica²¹³) sí puede causar irritación en el sistema respiratorio y otros efectos adversos en el sistema nervioso central. La aplicación de VBx2 puede ser llevada a cabo por el usuario final; sin embargo, se debe contar con la preparación técnica para llevar a cabo el procedimiento, Surrey NanoSystem ofrece capacitaciones o bien, pone a disposición del comprador a su equipo de trabajo, la pintura está disponible en bidones de 20 o 200 litros que pueden ser enviados por aire, mar o tierra. El estudio material de esta versión del Vantablack se encuentra en el quinto apartado de esta investigación, junto con otros materiales negros para la historia del arte.

Tabla comparativa de especificaciones técnicas de cada tipo de Vantablack

	Vantablack S-VIS	Vantablack S-IR	Vantablack VBx1	Vantablack VBx2
Reflectancia hemisférica total	0.2%	0.2%	0.35%	0.9%
Capa	700 nm	700 nm	600 nm	600 nm
Deposición Química de Vapor	Sí	Sí	No (inyección a alta presión a ~ 20 ° C)	No (inyección a alta presión a ~ 20 ° C)
Choque térmico y ciclismo	-196 a + 300 ° C.	-196 a + 300 ° C.	-196 a + 70 ° C.	-196 a + 70 ° C.
Resistencia (golpes y vibraciones)	MIL-810G	MIL-810-G	> MIL-810G	> MIL-810G
Hidrofobia	Sí	Sí	Sí	No
Rendimiento en ángulos de visión extremo	> 70 ° (TIS - 0.6% a 70 ° VIS)	> 70 ° (TIS - 0.6% a 70 ° VIS)	> 70 ° (TIS - 0.67% a 70 ° VIS)	> 70 ° (TIS - 1.8% a 70 ° VIS)

La tabla comparativa de las especificaciones técnicas de las distintas versiones del Vantablack arrojan algunos datos importantes; por ejemplo, existe una variación en el espesor del depósito de los nanotubos de carbono de Vantablack VBx1 y VBx2, pues tienen 100 nm menos en comparación a las versiones S-VIS y S-IR. Asimismo, VBx1 y VBx2 tienen el mismo espesor (600 nm), pero el índice de reflectancia varía por una diferencia considerable de 0.65%. Todas las versiones del Vantablack comparten los mismos índices de resistencia a golpes o vibraciones de MIL-810G. Mientras el Vantablack S-VIS, S-IR y

²¹³Safety Data Sheet-VBx Ultra Black Paint y Technical Data Sheet, consultado 08 de agosto de 2021, <https://www.surreynanosystems.com/resources>

VBx1 son materiales hidrófobos, el Vantablack VBx2 solo es un material resistente al agua, y de acuerdo con la información proporcionada por Surrey NanoSystems, no es adecuado para uso externo, dato que llama la atención considerando que fue la versión de Vantablack utilizada como recubrimiento del Pabellón Hyundai.

Es claro que los nanotubos de carbono son sintetizados en laboratorios; sin embargo, los átomos de carbono pueden adoptar éstas y otras estructuras de manera natural; por ejemplo, en el humo de una vela como lo menciona Mark Miodownik en *Cosas (y) materiales*;²¹⁴ o sea que, decir que los nanotubos de carbono crecen sobre un sustrato no es una expresión errónea, pues demostraron que los seres vivos no son los únicos que «crecen», sino que la materia orgánica también puede hacerlo, aunque no se le considere viva. Es aquí donde el giro material adquiere relevancia, pues si lo pensamos detenidamente, una gran variedad de negros presentes a lo largo de la historia tienen una cosa en común: ser superficies hexagonales de carbono, no importa si es grafito, negro de huesos, *negro humo*, negro vegetal, negro de gas, negro llama, negro marfil, negro cenizas, si fue usado hace 15 mil años en Altamira o en el BMW VBX6 que se presentó en el Salón del Automóvil en Frankfurt en septiembre de 2019, este negro casi absoluto continúa la espiral entre el carbón y la imagen.

“Los materiales (dice Miodownik) son un reflejo de quiénes somos, y una expresión, a diversas escalas, de nuestros deseos y necesidades humanas”.²¹⁵ Los nanotubos de carbono proponen la suspensión de lo figurativo en un efecto óptico que hace imperceptible la tridimensionalidad de los objetos. ¿Cómo se relacionan los nanotubos de carbono con el presente? ¿Los nanotubos de carbono son inicio o fin de una época? ¿Por qué la absorción de la luz está vinculada a lo maligno? Cuando el arte comenzó a caminar hacia la abstracción en 1915, Malevich buscaba liberar al arte del peso muerto del mundo real, refugiándose en la geometría, “por primera vez, era arte por el arte, y una idea revolucionaria necesitaba un color revolucionario: el negro”.²¹⁶ ¿Malevich habría usado los nanotubos de carbono si

²¹⁴Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 210.

²¹⁵Miodownik, *Cosas (y) materiales*, 265.

²¹⁶“for the first time, was art for art’s sake, and a revolutionary idea needed a revolutionary color: black.” St. Clair, *The secret*, 246.

hubiera tenido acceso a él cuando hizo *The black square*? ¿Qué diría si pudiera verlo? ¿Serían los nanotubos de carbono la libertad que buscaba Malevich en la abstracción?

3.2 NanoLab: tetrahidrofurano y aceite de linaza

En enero del año 2000, en Estados Unidos se fundó NanoLab un equipo de investigación interdisciplinario que durante 15 años trabajó en el desarrollo de nanomateriales, NanoLab se creó con apoyo del Departamento de Defensa de Estados Unidos. En esos años se implementaron procesos sofisticados para hacer que los nanotubos fueran un material compatible con el caucho, la cerámica, el plástico y la resina epóxica. En 2015 NanoLab obtuvo un contrato con la NASA para desarrollar recubrimientos ultra negros para telescopios y coronógrafos para misiones exoplanetarias; posteriormente el material fue implementado en la Óptica a manera de recubrimientos. Los recubrimientos supernegros hechos con nanotubos de carbono no requieren la trituración de rocas o partículas de carbón, como en el caso de otros pigmentos negros orgánicos, mientras que Surrey NanoSystems deposita los nanotubos *in situ* sobre un sustrato, NanoLab los integra a pinturas logrando un negro estructural o profundo, con propiedades fotónicas²¹⁷ y plasmónicas,²¹⁸ que se supone no ofrece ningún otro producto en el mercado.

NanoLab ofrece polvos de nanotubos de carbono de paredes múltiples y simples, matrices de nanotubos de carbono, nanopartículas y otros productos hechos de nanotubos de carbono, como Singularity Black y Gravity Black Oil Paint. De acuerdo con la clasificación de los productos comercializables de NanoLab, los polvos de nanotubos de carbono son:

- Nanotubos de carbono multipared (para investigación).
- Nanotubos de carbono multipared (de grado industrial).
- Nanotubos de doble pared.
- Nanotubos de pared simple.
- Nanotubos de carbono funcionalizados con ácido carboxílico (COOH).

²¹⁷Fotónico (a): Disciplina que estudia la generación, el control y la detección de fotones en el espectro visible, así como infrarrojo de onda larga (8-12 μm), infrarrojo lejano (75-150 μm) y ultravioleta (en una longitud de onda de 0,2-0.35 μm)

²¹⁸Se considera como plasmónico a un metamaterial, es decir, un material que explota los plasmones de superficie para lograr propiedades ópticas que no se aprecian en la naturaleza, los plasmones son producidos por la interacción de la luz con metamateriales metal-dielectricos. En ciertas condiciones de luz, la luz incidente se acopla a los plasmones de la superficie creando ondas electromagnéticas de propagación autosostenible. Éste fenómeno es conocido como Polaritones Plasmonónicos de Superficie (SPP).

- Nanotubos de carbono funcionalizados con amina (NH₂).
- Nanotubos de carbono obtenidos por deposición no electrónica sobre metales (plata, cobre, óxido de silicio y una aleación entre níquel y hierro).

NanoLab hasta el día de hoy ofrece tres tipos de pinturas y recubrimientos supernegros:

3.2.1 Singularity Black Optical Paint

Singularity Black es una pintura hecha de nanotubos disueltos en solvente, el material tiene una absorción similar a otros de sus materiales realizados con nanotubos de carbono, el rendimiento del material respecto de la luz infrarroja es de 1% de reflectancia de 350 nm a 2 micrones,²¹⁹ un rendimiento superior al que ofrecen Acktar y Martin Black, otras pinturas negras comerciales hechos con nanotubos de carbono. NanoLab considera que Singularity Black ofrece a los artistas una experiencia de vacío en un negro mate aterciopelado. No obstante, la aplicación de Singularity Black requiere de un proceso similar al utilizado por Surrey NanoSystems para la versión S-VIS del Vantablack, es decir, requiere de una cabina de rociado o de una campana extractora, máscaras protectoras de las nanopartículas para la pulverización del material sobre una superficie; asimismo necesita un proceso de calentamiento a 300°C en aire, vacío o gas. Singularity Black puede ser aplicado sobre polímeros, lona, madera y papel, en la versión SBI-LT se requiere de un proceso con una temperatura máxima de 150°C.

3.2.2 AdVanta Black

AdVanta es un recubrimiento de nanotubos de carbono verticalmente alineados que absorben rayos UV y luz infrarroja. Se utiliza para recubrir componentes ópticos que deben presentar índices mínimos de reflectancia como pantallas, telescopios o cuerpos negros. El proceso se lleva a cabo a una temperatura de 600°C, por lo que al igual que el Vantablack, los nanotubos de carbono solo pueden ser cultivados en sustratos que soporten dicha temperatura. NanoLab menciona que la reflectancia de este material es menor al 1%; sin embargo, no precisan con exactitud el índice de reflectancia del material. No obstante, tiene un menor índice de reflectancia en comparación con el Vantablack (0,036%); pero menciona ser igual al 1% del

²¹⁹Contenido descriptivo del óleo SingularityBlack disponible en el sitio web de NanoLab, actualizado por última vez el 12 de octubre de 2018, consultado el 24 de octubre de 2018. <http://www.nano-lab.com/optical-black-coatings.html>

Vantablack VBx2 que declaró Surrey NanoSystems. El laboratorio donde se lleva a cabo el proceso de deposición química, en el que ocurre la cultivación y el crecimiento de los nanotubos de carbono, se encuentra en Waltham, Estados Unidos.

3.2.3 Gravity Black

Durante los años de investigación de NanoLab y en colaboración con artistas durante el desarrollo de Singularity Black, NanoLab cayó en cuenta de la necesidad de mejorar los óleos negros que se ofrecían en el mercado, así fue como nació Gravity Black. Gravity Black es un conjunto de nanotubos de carbono disueltos en un aglutinante oleoso, hecho a base de linaza. De acuerdo con información de NanoLab, Gravity Black es la pintura al óleo más negra y mate que existe en el mercado, su nanoestructura inorgánica no le permite degradarse y se considera completamente seca luego de una semana de haberse aplicado. Aunque Gravity Black puede ser la pintura al óleo más negra del mercado, la adhesión del aglutinante supuso la pérdida de buena parte de absorción de luz; sin embargo, se considera un color²²⁰ neutro puesto que al mezclarse con otros pigmentos²²¹ no se modifica. Gravity Black es un material que aún se encuentra en etapa experimental; sin embargo, es posible adquirirlo en tiendas seleccionadas o por Internet, el tubo de Gravity Black incluye información sobre la seguridad y el buen uso de la pintura. Está disponible en dos tamaños; el primero, de 37 ml y el segundo, de 150 ml, por 155 y 575 dólares respectivamente. Cabe destacar que, en los tres casos de recubrimientos supernegros, NanoLab ofrece servicios de colocación en toda la extensión territorial de Estados Unidos.

²²⁰En Física, el color es el aspecto de la sensación visual que permite a los seres humanos distinguir las diferencias entre dos campos de estructuras-libres de luz teniendo el mismo tamaño, forma y duración. Aunque solo las diferencias de luminancia permiten hacer tales discriminaciones, el término color generalmente se restringe a una clase de diferencias que se perciben como de igual luminancia; lo anterior depende de las diferencias físicas en la composición espectral de dos campos, usualmente revelados al observador como diferencias en la saturación y el matiz. Sybil P. Parker, *La Enciclopedia McGraw-Hill de Física* (Nueva York: McGraw-Hill, 1993), 180.

²²¹Los pigmentos se usan frecuentemente mezclados con plásticos y productos textiles y de papel. Los pigmentos negros comerciales, están constituidos por carbón elemental en forma particular, y se conocen por los siguientes nombres: negro de carbón, negro de gas, negro de chimenea, negro de humo, carbón coloidal, negro de hidrocarburo, negro de gas natural. Los negros vegetales, llamados negro vino, Franckfort, negro sauce, negro abedul, negro sueco, negro pulpa. Los negros animales, llamados negro de hueso, negro gota o marfil. El grafito según se encuentra en la naturaleza y sintético. El óxido de hierro natural y sintético, formado principalmente por el Fe_3O_4 . George L. Clark, *Enciclopedia de Química* (España: Omega, 1961), 1025-1026.

Luego de reflexionar sobre la información que proporciona el laboratorio estadounidense, considero pertinente poner en duda la cronología que ellos declaran, pues si desde el año 2000 registraron la patente de un recubrimiento supernegro —el término correcto es en realidad negro absoluto—, equiparable al Vantablack, pero fue hasta el 2012 que Surrey NanoSystems fue creado para estudiar los recubrimientos supernegros en el Reino Unido. ¿Por qué NanoLab no se hizo presente antes? ¿Por qué un material de tales características no tuvo en el año 2000 la proyección, ni la relevancia mediática que ha tenido el Vantablack dieciocho años después? Incluso más allá de la polémica surgida durante los primeros meses de 2016, en la que Surrey NanoSystems hizo público que Anish Kapoor adquirió los derechos que le brindan, todavía, la exclusividad para usar el Vantablack S-VIS.²²²

3.3 Descripción de los nanotubos de carbono

Un nanotubo es una estructura cilíndrica del tamaño de un nanómetro, no solo existen los nanotubos de carbono, también existen de nitruro de boro y silicio; sin embargo, los de carbono se han vuelto los más comunes por sus propiedades físicas y químicas. Los nanotubos de carbono fueron descubiertos en 1991 en Japón por S. Iijima, su descubrimiento fue accidental ya que se esperaba encontrar fullerenos [img. 76 (3)], los nanotubos se distinguen de la fibra de carbono por su diámetro. Los nanotubos de carbono miden 0.8-150 nm de diámetro, mientras que la fibra de carbono tiene un diámetro de 5-10 μm ; sin embargo, ambos son materiales fibrosos de carbono. En los nanotubos de carbono los electrones de carbono están hibridados en el orbital sp^2 , debido a que su estructura física es fácil de definir, muchos investigadores se han dedicado a predecir sus propiedades físicas. El resultado de esas investigaciones arrojó que los nanotubos de carbono tienen un módulo de Young de no menos de 1000 Gpa y que su resistencia a la tracción es de mínimo 50 Gpa, mayor incluso que la del acero. Su costo ha venido disminuyendo desde 2014 cuando se precipitó su producción en todo el mundo.

²²²En uno de los siguientes apartados de esta investigación, el lector encontrará un análisis químico de Gravity Black Oil Paint, pues una de las interrogantes que surgen sobre este material es: ¿Cómo se extraen los nanotubos de carbono y se adhieren a un aglutinante? Al ser NanoLab la empresa que se precia de haber logrado tal hazaña, es relevante para esta investigación indagar sobre la composición química de Gravity Black Oil Paint, e incluso sobre su manufactura. En diciembre de 2018 adquirí un tubo de 35 ml de Gravity Black Oil Paint. Durante el mes de noviembre del mismo año inicié la gestión de la adquisición de muestras de cada uno de los cuatro tipos de recubrimientos supernegros desarrollados por Surrey NanoSystems.

Los nanotubos de carbono son alótopos del carbono, tal como lo son el diamante, el grafito y los fullerenos. Los nanotubos de carbono están compuestos por láminas de grafeno. Tienen varias aplicaciones científicas, pueden ser utilizados como biosensores o como transportadores de fármacos y agentes con propiedades antibacterianas.²²³ La estructura química de los nanotubos puede ser modificada por un proceso denominado fundonización química, el proceso consiste en la adsorción de átomos o moléculas en las paredes externas de los nanotubos de carbono, con el fin de hacer soluble dicho material o disperso, ambos procesos son trascendentes debido a que mejoran la interacción con las moléculas biológicas.

Por otro lado, los nanotubos de carbono o CNT —por sus siglas en inglés *carbon nanotubes*— tienen un peso específico de menos de una décima parte del acero, pero su peso los convierte en un material más fuerte incluso que éste. Químicamente, los nanotubos de carbono son muy estables, pues no reaccionan a los ácidos y tienen una resistencia a la corrosión superior a la que tienen los metales. Las propiedades de los nanotubos de carbono son difíciles de igualar; por ejemplo, cuando se encuentran en ausencia de oxígeno, puede mantener cómodamente su resistencia a temperaturas de 1200°C. También tienen una excelente conductividad eléctrica y térmica, por ejemplo, su conductividad térmica excede la conductividad térmica de un diamante que es de 2200W/mk.²²⁴

Los nanotubos son fuertes y muy flexibles, su estructura tubular de red, generalmente hexagonal dificulta la dispersión de líquidos como agua, etanol, aceite, polímero y poliepóxido. Existen dos categorías de los nanotubos de carbono, los que tienen pared simple o nanotubos monocapa (SWNT) y los nanotubos de pared múltiple o multicapa (MWNT). Los nanotubos multicapa del tipo fullereno son conocidos como el primer material capaz de sostener su propio peso, esta característica de los nanotubos de carbono fullerenos podrían

²²³Vid. Lluvia Itzel López López y Marlene Lariza Andrade Guel, et. al., “Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas”, *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, Vol. 43, núm. 3 (julio-septiembre 2012), consultado el 15 de octubre de 2018.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002

²²⁴S. Ata, “Features and application of carbon nanotube and rubber composites”, *International Polymer Science and Technology*, Trad. K. Halpin, Vol. 44, (agosto, 2017), 1.

<http://eds.b.ebscohost.com/pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=25ce5377-b170-4d7c-87fc-b2383842f781%40sdc-v-sessmgr03>

aportar cosas importantes a la tecnología espacial, pues para elaborar distintos dispositivos aeroespaciales es necesario un material con fuerza tensil de 100 GPa.

Los nanotubos SWNT tienen un diámetro promedio de 1 nanómetro, pero una longitud millones de veces mayor, su estructura reticular envuelve al grafeno.²²⁵ Por su parte, los nanotubos de pared múltiple, conformados por varias capas laminadas de grafeno de manera concéntrica, es decir, uno dentro del otro, contienen al grafeno a manera de pergamino. El Vantablack está hecho con nanotubos de carbono monocapa. Los nanotubos de carbono pueden tener un diámetro promedio; sin embargo, su longitud varía. La longitud de los nanotubos de carbono no afecta su índice de reflectancia; sin embargo, adquiere relevancia cuando se investiga sobre su toxicidad,²²⁶ pues como veremos más adelante, los efectos adversos que se han observado en el cuerpo de ratas y ratones en distintos experimentos demuestran que su toxicidad está estrechamente vinculada a su longitud.

La purificación de los nanotubos de carbono se refiere a la remoción de catalizadores metálicos que provienen de la síntesis de distintos tipos de nanomateriales. El uso de ácido sulfúrico y nítrico durante la síntesis puede generar defectos en las paredes de los nanotubos de carbono, cuando los nanotubos de carbono se oxidan puede presentarse una alteración en sus propiedades mecánicas.

²²⁵El grafeno es una sustancia compuesta por carbono puro, su estructura atómica es hexagonal, semejante a la del grafito; sin embargo, es casi transparente, 200 veces más fuerte que la del acero, pero más ligero que el aluminio. El grafito implica la noción de tridimensionalidad.

²²⁶En los estudios sobre toxicidad se busca responder principalmente tres preguntas: a. ¿Cuál es el grado de toxicidad y cuáles son los efectos generales que produce determinado compuesto? b. ¿Cómo puede entrar en el organismo una sustancia y qué precauciones deben tomarse durante la fabricación, manejo, transporte, etc., del compuesto en orden a evitar el daño al personal de la industria? c. ¿Cuáles son las posibilidades del perjuicio para los consumidores de: a) un compuesto o b), algún preparado del que pueda formar parte? Con el fin de planear una investigación completa acerca de estas preguntas, es necesario para el toxicólogo llegar a conocer la finalidad, el modo, las condiciones generales, específicas o excepcionales que conciernen al uso del material que se investiga. Necesita conocer: a) las propiedades físicas y químicas de la sustancia objeto de consideración; b) el método comercial de preparación del compuesto o los tipos y cantidades de impurezas presentes en el producto; c) las preparaciones o mezclas de las que el compuesto forma parte y la concentración del compuesto en ellas; d) la estabilidad del compuesto y los posibles cambios que pueden experimentar (causados por la luz, edad, oxidación, calor, evaporación, etc.) antes o después de que entre a formar parte de un producto final; e) además tiene que averiguar por qué camino (piel, vías respiratorias o aparato digestivo) ocurre más probablemente la absorción del material por la gente empleada en su fabricación, manejo, y distribución, y f) por qué camino ocurre probablemente la absorción del compuesto o de un producto que lo contiene (en su forma original o en su forma alterada) entre la gente en general. Clark, *Enciclopedia de Química*, 1359-1361.

3.4 Otros usos de los nanotubos de carbono

Uno de los usos más comunes de los nanotubos de carbono es como relleno en caucho, debido a sus características de conductividad. Los nanotubos de carbono son colocados en las estructuras de caucho a través de la dispersión, aunque la técnica de desfibración predomina sobre el resto de las técnicas, existen tres formas de dispensar los nanotubos de carbono en caucho; la primera, mediante la adición de los nanotubos que polimerizan la emulsión de caucho; la segunda, la dispersión de los nanotubos en un disolvente orgánico, donde se añade el caucho y se elimina el solvente; y la tercera, la adición de los nanotubos de carbono en el caucho a través de un mezclador Banbury.²²⁷

Las dos primeras técnicas alcanzan buenos estándares de desfibración; sin embargo, la primera requiere la dispersión de los nanotubos de carbono por su cualidad hidrófoba, en esta técnica el uso de un surfactante²²⁸ es esencial puesto que los nanotubos son polimerizados en una emulsión acuosa; la segunda técnica consiste en prescindir del surfactante a través de los mecanismos de reagregación. El uso de surfactantes presenta algunos inconvenientes, uno de ellos es que bloquean el contacto mutuo entre cada nanotubo de carbono, causando menor conductividad térmica y eléctrica. La tercera técnica, la adición de los nanotubos a través de la mezcla mecánica no requiere del uso de solventes, pero genera menor grado de desfibración en comparación con la segunda técnica de dispersión. La primera y la tercera técnica no son usadas frecuentemente para compuestos de caucho y nanotubos de carbono debido a que pueden presentar algunos inconvenientes, pero son técnicas menos complejas, por lo que se piensa que, de producir industrialmente nanotubos como relleno de caucho serían las opciones más viables para cumplir la demanda de mercado.

²²⁷S. Ata, "Features and application of carbon nanotube and rubber composites," 33.

²²⁸La palabra surfactante viene del acrónimo inglés *surfactant*, de *surface* (superficie), *active* (activo) y *ant* (ante). Los surfactantes son agentes químicos activos en superficie, son generalmente compuestos orgánicos anfífilos que en medios acuosos migran hacia la superficie, el objetivo es separar el componente hidrosoluble y el componente hidrófobo. El ejemplo más común de este material son los detergentes, para lavar o limpiar añadimos surfactantes (jabón) ya que el agua es incapaz de eliminar la suciedad o grasa por sí misma, la parte hidrófoba de las moléculas de jabón es atraída por los componentes grasos que presupone la suciedad, en tanto que la parte hidrofílica interactúa con el agua. Este juego de fuerzas opuestas permite desprender la suciedad de distintas superficies o tejidos quedando ahora en el medio acuoso de las micelas, un conjunto de moléculas que constituyen una de las fases del sistema coloide.

Otro uso de los nanotubos de carbono en el caucho es la creación de electroconductores estirables; es decir, al ser un material que soporta grandes deformaciones, pero con poca disminución de conductividad térmica y eléctrica es ideal como electroconductor, a diferencia de materiales de cero dimensional, donde disminuye la conectividad durante el estiramiento por la pérdida de contacto entre las partículas de relleno; sin embargo, no es posible sustituir materiales como el cobre, por nanotubos de carbono, en la fabricación de dispositivos portátiles puesto que la cantidad añadida de nanotubos de carbono en el caucho no rebasa en 10%, en consecuencia la conductividad del caucho es de 100S/cm, menor que los 6.0×10^5 S/cm que ofrece el cobre a temperatura ambiente, aunque para mejorar la conductividad hasta 100 veces se ha utilizado el yodo en los nanotubos, pero no se considera la mejor solución ya que presenta problemas de estabilidad con el dopaje, actualmente el yodo está siendo sustituido por líquidos iónicos o sustancias orgánicas.

Los nanotubos de carbono en materiales como caucho y distintos plásticos mejoran su resistencia al desgaste por fricción de deslizamiento y rodadura en condiciones sin humedad, además de repeler el agua y la nieve, S. Ata considera que esta característica puede ser útil para evitar accidentes y disminuir el trabajo en regiones de altas nevadas cuando es empleado en neumáticos, Tanto Nanocyl en Bélgica y OCSiAl en Rusia están concentrando sus esfuerzos en añadir nanotubos de carbono al caucho de los neumáticos, pues además de mejorar la resistencia, logra ahorrar combustible, mejorando también la distancia de frenado, sin perder la elasticidad del caucho.²²⁹ No obstante, los nanotubos de carbono son un material tóxico y hasta el momento se desconoce si su uso en neumáticos pondría en riesgo la salud pública de una comunidad.

Los nanotubos pueden ser semiconductores o superconductores de electricidad, su complejidad está determinada por sus relaciones geométricas; es decir, su quiralidad, su diámetro y el número de capas de los que pueden estar compuestos. Los nanotubos pueden ser rectos o quirales; los rectos tienen una disposición hexagonal en los extremos de los tubos respecto al eje, lo cual permite que dos tercios de los nanotubos sean conductores y el resto semiconductores de electricidad; por su parte, en los nanotubos quirales los hexágonos se

²²⁹S. Ata, "Features and application of carbon nanotube and rubber composites," 35.

encuentran angulados respecto al eje del tubo, el ángulo de los hexágonos dificulta el paso de electrones en las bandas de conducción, en este caso, solo un tercio de los nanotubos presenta una conducción eléctrica apreciable en función del ángulo de torsión.

Actualmente se llevan a cabo investigaciones de ingeniería mecánica respecto a las ondas de propagación en los nanotubos de pared simple y doble desde la mecánica de doblete²³⁰ con el fin de conocer la propagación de ondas axiales bajo el principio de Hamilton. Los nanotubos de carbono ofrecen resultados precisos para la propagación de la onda flexural y axial a través de la mecánica de doblete. Ufuk Gul y Metin Aydogdu realizaron un estudio, cuyos resultados fueron publicados en septiembre de 2017 en el que propusieron un análisis de propagación de onda con los nanotubos de pared múltiple en medios elásticos usando la teoría DM, que también ha servido para explicar y comparar la elasticidad del material. DM es una de las teorías micro-mecánicas que pueden ser usadas para el análisis de las nanoestructuras, en esta teoría cada átomo se entiende como un nodo en una distancia finita en el sólido, los nodos son conocidos como dobletes y la distancia que hay entre ellos se entiende como escala de longitud, cada doblete puede tener vectores incrementales basados en el desplazamiento y la rotación, que a su vez definen tres tipos de tensión durante la deformación; la micro-tensión axial, la micro-tensión de cizallamiento y el microestrés torsional.²³¹

Los nanotubos de carbono de pared simple también tienen aplicaciones biológicas, tales como la funcionalización, que Lluvia Itzel López López define en el artículo “Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas” de la siguiente manera:

La funcionalización se define como la modificación de propiedades por la adsorción de átomos o moléculas en las paredes exteriores de los nanotubos de carbono [...] Los SWCNT's se pueden oxidar al reaccionar con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico con lo cual se introducen grupos carboxílicos en sus extremos. Mediante la química del grupo carboxílico y en muchos casos su activación a cloruros de adío, permite el acoplamiento de moléculas por medio de unión covalente formando enlaces tipo éster y amidas. Se ha descrito un

²³⁰El término doblete hace referencia a un estado cuántico, de manera que hay dos valores permitidos para el movimiento; por ejemplo, $-1/2$ y $+1/2$. Los estados de doblete son resultado de la simetría rotacional definida en tres dimensiones.

²³¹Metin Aydogdu y Ufuk Gul, “Wave propagation in double walled carbon nanotubes by using doublet mechanics theory”, *Physica E*, Vol. 93 (septiembre, 2017). Consultado el 15 de octubre de 2018: 346. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386947717305180>

procedimiento 'invasivo' en las paredes exteriores del grafito con ácido nítrico bajo condiciones de agua supercrítica.²³²

La funcionalización por medio del plasma muestra mejores resultados en comparación con la funcionalización a través del tratamiento químico.²³³ Los nanotubos de carbono son un material antibacteriano; sin embargo, en los SWCNT la reproducción de bacterias es más activa en comparación con los nanotubos MWCNT debido a que son capaces de atravesar la membrana de las bacterias, ésta característica ha permitido el desarrollo de filtros que inactiven microorganismos como *E.coli* y *Staphylococcus epidermis*; en algunas ocasiones, dichos filtros están compuestos por ambos tipos de nanotubos mostrando mejores resultados en los experimentos.²³⁴

Los nanotubos son considerados como biosensores por sus propiedades eléctricas, su cualidad hidrofóbica y electrostática los hacen compatibles con algunas proteínas, actualmente se consideran como una pieza clave en el desarrollo de anticuerpos y antígenos. En la nanomedicina que se ocupa de sintetizar nanofármacos con un sinfín de aplicaciones, los nanotubos son ideales para su tamaño, estructura química, funcionalización y capacidad de dispersión para propiciar la administración y transporte de fármacos, pues son incluso más pequeños que las células sanguíneas. “Algunos de los métodos desarrollados ha sido el unir moléculas como el ADN, péptidos y proteínas dentro y fuera de los NTC's. Esto le da la capacidad de detectar y destruir células individuales que pueden ser cancerosas o infectadas por virus”.²³⁵

3.5 Toxicidad de los nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono son un material altamente tóxico, además de la preocupación por el medio ambiente, existe una inquietud por la exposición humana a este material ya sea por

²³²Lluvia Itzel López López y Marlene Lariza Andrade Guel, et. al., “Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas,” 10.

²³³Utegulov ZN, Mast DB, et.al., “Functionalization of single-walled carbon nanotubes using isotropic plasma treatment: Resonant Raman spectroscopy study,” *J Appl Phys.* 2005.

²³⁴López y Andrade, et. al., “Nanotubos de carbono,” 12.

²³⁵López y Andrade, et. al., “Nanotubos de carbono,” 13.

inhalación, ingestión y penetración en la piel.²³⁶ La exposición a los nanotubos de carbono puede ocurrir a través de la exposición ocupacional durante la producción de los nanotubos de carbono y de su incorporación a polímeros. Sin embargo, otra forma de exposición a los nanotubos de carbono es el medio ambiente durante su vida útil, esto ocurre debido a la liberación de los nanotubos de carbono durante su envejecimiento o incluso durante el proceso de eliminación sobre alguna superficie en la que fueron depositados.

La reflexión sobre los riesgos ante la inhalación de estas nanopartículas derivó de los peligros ya conocidos de materiales patógenos con características similares a los nanotubos de carbono, tales como las fibras convencionales del asbesto.²³⁷ La toxicidad pulmonar de los nanotubos de carbono se ha investigado en experimentos con animales —la mayoría de ellos llevados a cabo en ratas o ratones—, los experimentos consisten en administrar nanotubos de carbono en dosis altas a través de instilación intratraqueal o aspiración faríngea, los resultados han mostrado que, en caso de que las nanopartículas de pared múltiple o simple lleguen a los pulmones pueden causar inflamación y respuestas fibrogénicas adversas; sin embargo, este tipo de exposición humana es poco probable.²³⁸

Lo que alarmó a la comunidad científica sobre los nanotubos de carbono es su parecido estructural con las fibras de asbesto, por lo que se han llevado a cabo estudios y experimentos con nanotubos de pared múltiple en el revestimiento mesotelial de ratones en los que fueron tomados en cuenta la longitud de los nanotubos y la presencia del grafeno. Los resultados arrojaron ciertas similitudes en comparación con la fibra de asbesto, puesto que el resultado

²³⁶Antonis Christou y Anna A. Stec, et. al., “A review of exposure and toxicological aspects of carbon nanotubes, and as additives to fire retardants in polymers”, *Critical reviews in toxicology* 46, núm. 1, (2016): 2, consultado 25 de octubre de 2018, 75, <http://dx.doi.org/10.3109/10408444.2015.1082972>

²³⁷La palabra «asbesto» hace referencia a cierto número de silicatos minerales fibrosos que se encuentran en estado natural en la tierra: actinolita, antofilita, amosita, crisotilo, crocidolita y tremolita [...] La mayor parte de las fibras de asbesto aparece en la naturaleza como fibrillas paralelas estrechamente empaquetadas y formando ángulos rectos en la superficie de las rocas [...] Las fibras de asbestos contienen fibrillas individuales más pequeñas que cualquiera de las obras fibras naturales que se conocen. Los usos más importantes de las fibras de asbesto son: en los productos de asbesto-cemento, tales como tablillas, tubos, cartón y láminas onduladas y planas. El asbesto se emplea también en papeles, tejidos, sustancias para envolturas, baldosas, cementos, plásticos, revestimientos para tejados, masillas, trajes de aislamiento, bloques para aislamiento, materiales para frenos, cartones de encuadernar, pinturas y protectores de tubos de medios para filtrar. Clark, *Enciclopedia de Química*, 171-173.

²³⁸Antonis Christou y Anna A. Stec, et. al., “A review of exposure and toxicological aspects of carbon nanotubes, and as additives to fire retardants in polymers”, *Critical reviews in toxicology* 46, núm. 1, (2016): 2, consultado 25 de octubre de 2018, 78, <http://dx.doi.org/10.3109/10408444.2015.1082972>

patógeno de los nanotubos de carbono de pared simple con mayor longitud mostró inflamación, formación de granulomas y células híper desarrolladas como respuesta al cuerpo extraño, a diferencia de los nanotubos de pared múltiple que no propiciaron el crecimiento desmedido de las células, lo anterior puede obedecer a la longitud de los nanotubos de carbono, ya que fueron implantados nanotubos de carbono de pared múltiple de menor longitud, mismos que fueron absorbidos por el cuerpo; sin embargo, eso no es un indicador que de los nanotubos de carbono de pared múltiple no puedan generar reacciones adversas en el cuerpo.

Un estudio de exposición por inhalación en ratones fue llevado a cabo por dispersión de nanotubos de carbono de pared simple sin purificar y en concentraciones de 5mg/m³ durante 5 horas por 4 días; en este caso se observó que los ratones presentaron más inflamación, debido a la aspiración faríngea, además de desarrollar neumonía granulomosa multifocal, fibrosis intersticial y mutagénesis. Los científicos consideran que el incremento en efectos secundarios se debe a la no purificación; es decir, a la mayor presencia de impurezas como el hierro, lo que llevó al estrés oxidativo. Los efectos secundarios que se observan principalmente en las vías respiratorias están relacionados con la dosis a la que han sido expuestos distintos grupos de ratones; los efectos secundarios son translocación pleural, inflamación bronquiocéntrica, hiperplasia epitelial bronquial, hipertrofia y fibrosis.²³⁹

El tema de la purificación de los nanotubos de carbono es relevante puesto que los nanotubos de carbono están estrechamente vinculados con otros metales como el hierro, níquel, cobalto y molibdeno con fines catalíticos o bien como sustrato sobre el que se cultivan los nanotubos de carbono, erradicar las impurezas de dichos metales en los nanotubos de carbono es poco factible, pues pone en riesgo la estructura misma de los nanotubos de carbono, debido a que dichos metales se encuentran atrapados en el grafeno. Aunque por si solas las impurezas presentes en los nanotubos de carbono procedentes del hierro no son necesariamente las responsables de la toxicidad de los nanotubos de carbono, pueden desempeñar un papel modular en la liberación de partículas durante la ultrasonificación.²⁴⁰ Las impurezas metálicas

²³⁹Christou y A. Stec, et. al., "A review of exposure," 80.

²⁴⁰La ultrasonificación es una técnica utilizada para romper estructuras celulares mediante la aplicación de la energía del sonido para la agitación de las partículas. Consiste en la transmisión de una corriente eléctrica a un sistema mecánico que la convierte en vibraciones de alta intensidad generando ondas ultrasónicas.

de los nanotubos de carbono tampoco fueron limpiadas del grafeno por el calentamiento a 600°C; sin embargo, se observó una reducción en los óxidos metálicos. Es hasta los 2400°C que las impurezas metálicas procedentes del hierro y el carbón son removidas del grafeno que se encuentra en los nanotubos de carbono.

Los riesgos potenciales para la salud que están asociados a los nanotubos de carbono de pared simple o múltiple son distintos, entre otras cosas porque su estructura varía de una empresa a otra, ya que se han observado cambios morfológicos y fisicoquímicos en los distintos tipos de nanotubos de carbono que producen las empresas, los científicos consideran que esta puede ser una de las razones principales para la obtención de resultados contrastantes. La importancia de conocer detalladamente las implicaciones para la salud de los seres humanos es fundamental a causa de los diversos usos que tienen los nanotubos de carbono. Los trabajadores que producen y procesan los nanotubos de carbono están expuestos a la inhalación y a la exposición cutánea, pero el desgaste, la sujeción y la perforación del material también ponen en riesgo al posible consumidor de distintos objetos hechos con polímeros sintéticos, que, además son materiales inflamables y pueden liberar nanotubos de carbono durante la combustión.²⁴¹

La exposición ocupacional causa preocupación entre la comunidad científica, por parte de aquellos que manipulan los nanotubos de carbono durante el proceso de deposición química y bien cuando lo eliminan del sustrato en el que fue colocado. Con el fin de evaluar los riesgos potenciales para la salud de los científicos y trabajadores que están expuestos constantemente al material por inhalación, se realizó un estudio en que se consideraron las siguientes variables, la concentración liberada, el tamaño de las partículas, el comportamiento de aerosolización, y la morfología de los lugares de trabajo. En el estudio realizado en el 2004 por Maynard,²⁴² se exploró la exposición a los nanotubos de carbono sin refinar, con el objetivo de conocer su forma física y el comportamiento de las partículas al entrar en contacto con el aire del lugar. Los científicos utilizaron los métodos para la creación de los nanotubos de carbono; el primero, la ablación láser; el segundo, el proceso de monóxido de carbono a alta presión; el experimento demostró que la agitación mecánica

²⁴¹Christou y A. Stec, et. al., "A review of exposure," 82-83.

²⁴²Christou y A. Stec, et. al., "A review of exposure," 83.

suave no produjo la liberación significativa de nanotubos procedentes del aerosol; con ese nivel de agitación se estimaron pocas partículas en el aire (53mg/m³). El análisis de Microscopía electrónica de Barrido (SEM) mostró que las partículas eran compactas y no tenían estructura abiertas de baja densidad.

4 Vacío: el color del abismo o de las posibilidades estéticas de los nanotubos de carbono

4.1 Frederick De Wilde: el retrato definitivo de la nada

La carrera por la nanotecnología no solo es la carrera por conquistar los nanomateriales, sino también la carrera por introducirlos en otras disciplinas. Frederick De Wilde, Jason Chase y Anish Kapoor han sido personajes destacados para definir la precedencia histórica, propiedad intelectual, autoría y originalidad en esta carrera. El Vantablack es un depósito de nanotubos de carbono, pero no es el primer depósito de nanotubos de carbono utilizado en obras de arte. En 2010, Frederick De Wilde hizo por primera vez a la luz rehén de los nanotubos de carbono, la atrapó en un cuadrado de 7 x 7 cm *Hostage pt. 1* [img.71 y 78].

La nanotecnología generó las condiciones de posibilidad para que esta obra sea entendida como la obra más negra del mundo realizada con el material más negro. [...] La afirmación del expresionista abstracto Robert Motherwell de que “el negro no refleja, sino que absorbe toda la luz, es esencialmente su naturaleza”. Puede corresponder en realidad a una especie de síntoma, una tendencia de la generación de artistas que se siente atraída hacia lo que llaman fundamentos de la pintura, fundamentos a los que se podría acceder más fácilmente si se renuncia a las complejidades del color.²⁴³

El artista belga es conocido por su trabajo transdisciplinar y transmedia, rebasando las fronteras de la investigación científica, la tecnología y el arte. Para De Wilde los nanotubos de carbono no son simplemente un recubrimiento novedoso, sino una celebración de lo desconocido: “pura profundidad horizontal”.²⁴⁴ ¿Profundidad horizontal? Sí, una paradoja más de los nanotubos de carbono. Nanotubos verticalmente alineados depositados sobre sustratos posicionados, frecuentemente, de manera horizontal.

²⁴³“The conditions of the possibility for this work to be understood as being the world's blackest painting which has been made from the blackest black derives from the utilizations of nanotechnology. [...] The Abstract Expressionist Robert Motherwell's assertion that black does not reflect but absorbs all light; that is its essential nature, can arguably be taken as being more broadly symptomatic of a proclivity for that generation of artists to be drawn towards what might be constructed of as the fundamental of paintings, fundamentals that could be accessed more readily if the complexities of color could be relinquished”. Craig Staff, *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*, (Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015), 25.

²⁴⁴Frederik De Wilde. “Stupéfiant! Vantablack”. Video Vimeo, 14'07”, 2016, consultado el 07 de abril de 2021. <https://vimeo.com/187880508>

Diecinueve años después del descubrimiento de los nanotubos de carbono, Frederick De Wilde comenzó a trabajar con el material junto con la Universidad Rice en Houston, Texas. Elisa Aspod, en el texto *Beyond the Liminal: Ultra Black Art in Dark Times*, menciona que De Wilde “pertenece a la tradición del negro monocromo del siglo XX”.²⁴⁵ Él reconoce que el negro ha sido uno de los colores que constantemente se reinventa, no solo en lo que a significados simbólicos se refiere, sino en cuanto a la creación y producción de los pigmentos que lo originan. En 2010, él pretendía llevar la discusión sobre el negro a un siguiente nivel, ir más allá de los pigmentos, superarlos a través de la nanotecnología, descubrió que las cualidades agénciales de este material tenían efectos visuales sin precedentes. Hoy (abril de 2021) la apuesta de diversos laboratorios está enfocada en producir el negro y otros colores “nanoestructurales”, una especie de “nanopigmentos”,²⁴⁶ ejemplo de ello es la pintura Ultrawhite BaSO₄.

El blanco más blanco: Ultrawhite BaSO₄ producido en 2021 por un grupo de ingenieros en nanotecnología de la Universidad de Purdue en West Lafayette, Indiana. La pintura acrílica blanca compuesta por nanopartículas de sulfato de bario reporta un índice de reflectancia de 98,1%.²⁴⁷ El objetivo del equipo de investigación era obtener una pintura que mejorara el índice de reflectancia de cualquier pintura blanca disponible de manera comercial, la pintura

²⁴⁵Elisa Aspod, *Beyond the Liminal: Ultra Black Art in Dark Times*. (Ljubljana: Aksioma-Institute for Contemporary Art:2014), 4, consultado el 10 de abril de 2021.

https://issuu.com/aksioma.org/docs/aksioma_postscriptum_11_eng_de_wild

²⁴⁶En su participación en Ted Talk, De Wilde en realidad se refiere a estos pigmentos, como pigmentos estructurales. Sin embargo, el término me parece inadecuado, ya que podría confundirse con la coloración estructural, es decir, la coloración producida por cromatóforos. Los cromatóforos son células de seres vivos que en su interior contienen pigmentos que reflejan la luz produciendo un efecto iridiscente. Los colores producidos por los cromatóforos también son conocidos como esquemocromos; un ejemplo, de este fenómeno son las plumas de un pavo real. Este efecto es opuesto a la absorción de la luz al interior de los nanotubos de carbono, por eso preferí traducir pigmentos estructurales como nanopigmentos. De hecho, también Jason Chase se refiere a Singularity Black como un negro estructural. Jason Chase, “Painting with carbon nanotubes, the blackest black Paint.” Video YouTube en *TEDxNaperville*: 2019, 0’23”. Consultado el 25 de abril de 2021 <https://www.youtube.com/watch?v=-uCY2pVi2PI&list=WL&index=16>

²⁴⁷“The BaSO₄ cooling paint achieved a higher solar reflectance of 96.8% to 98.1%, leading to a total energy saving over 80 Wh/m²/day, assuming daily solar 4 energy as 5000 Wh/m²/day and the AC stock average efficiency as 15.” Xiangyu Li, Joseph Peoples, Peiyan Yao y Xiulin Ruan, “Ultrawhite BaSO₄ Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling” en *American Chemical Society Applied Materials & Interfaces* (15 de abril de 2021), consultado 17 de abril de 2021: 3.

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsami.1c02368>

no solo absorbe la radiación solar, sino también la infrarroja y la ultravioleta,²⁴⁸ lo anterior presupone que las superficies pintadas con Ultrawhite BaSO₄ puedan mantenerse frías para evitar el calentamiento global. Ultrawhite BaSO₄, al igual que los nanotubos de carbono, presenta retos importantes en cuestiones técnicas de producción y costos, “la pintura requiere de un espesor de unas 200 micras en superficies para alcanzar la reflectividad deseada. Esperan poder reducir esa cifra a entre 50 y 10 micras. No hay que olvidarse tampoco de la durabilidad de la pintura en distintas condiciones ambientales”.²⁴⁹ Cabe destacar que, Ultrawhite BaSO₄ sí es una pintura²⁵⁰ y no un depósito como los nanotubos de carbono. Por mucho tiempo, el sulfato de bario ha sido utilizado con fines cosméticos y en papel fotográfico, supone mejorar la blancura que proporciona el dióxido de titanio, pero no porque refleje más energía del espectro visible, sino porque refleja más longitudes de onda.

De Wilde llamó a su material Nanoblack, el mismo que Surrey NanoSystems dos años más tarde nombró Vantablack. El 2013, De Wilde realizó *99,9% NanoBlack-Dynamite for the darkness* [img.79-81], que consiste en tres latas de aluminio que contienen nanotubos de carbono, en referencia al trabajo de Piero Manzoni, *Merda d'artista* (1961) y de Maurizio Nannucci, *Do it Yourself, homage to Malevich* (1968). ¿Qué envasó De Wilde 99.9% de oscuridad o 99.9% de vacío? Posteriormente realizó *Scan 1,0* [img. 82-83], una caja negra que en el centro tiene un cuadrado de Nanoblack, sobre la caja hay una lámpara que péndula sobre ella, una luz que queda atrapada una y otra vez. En 2014, hizo *NANOBlck-Sqr#1* [img. 84-85] y *NASABlck-Crcl#1* [img. 86-88]; la primera, quizá es la obra más propositiva, pues creció las medidas de *Hostage pt. 1*.

NanoBlck-Sqr #1 podría considerarse como una interfaz para sistemas complejos. Existen explicaciones latentes de procesos y constructos químicos dentro de este trabajo; no funciona

²⁴⁸Como lo explico en el apartado sobre los pigmentos negros de carbón, el tamaño de las partículas influye en los índices de reflectancia de cada pigmento o material, al respecto Xiulin Ruan comenta: “We need different particle sizes to scatter each wavelength.” Molly Taft, “Researchers Created the Whitest White Paint Ever” en *Gizmodo* (15 de abril de 2021), consultado el 17 de abril de 2021. <https://earth.gizmodo.com/researchers-created-the-whitest-white-paint-ever-1846691495>

²⁴⁹Cristian Rus, “El archienemigo del Vantablack: esta es la pintura más blanca jamás creada” en *Xataka* (17 de abril de 2021), consultado el 17 de abril de 2021. <https://www.xataka.com/otros/archienemigo-vantablack-esta-pintura-blanca-jamas-creada>

²⁵⁰Kait Sanchez, “Please keep Anish Kapoor away from the whitest white paint” en *The Verge* (15 de abril de 2021), consultado el 17 de abril de 2021. <https://www.theverge.com/2021/4/15/22386299/whitest-white-paint-anish-kapoor-vantablack>

solo como una aspiradora de la luz visible. Existe en su interior una estructura que soporta a esta especie de aspiradora. Esta estructura o construcción material es una elección consiente del artista, incluso si está completamente negada —a arrojar luz—, estéticamente, por la naturaleza del material.²⁵¹

De Wilde la relaciona de manera directa *NANOblck-Sqr#1* con *Black Square* (1915), un cuadrado negro de 1500 x 1500 cm sobre un fondo blanco. Cuando De Wilde conoció los nanotubos de carbono de inmediato reconoció sus cualidades materiales para acercarse a la plena abstracción o al punto cero que Malevich perseguía, así hizo su “cuadrado supernegro”,²⁵² hasta ese año la obra más cercana al cero absoluto; al cero de Malevich, 0.10 los artistas que participación en la exposición de 1915 en San Petersburgo, a tan solo 0.1% de distancia del negro absoluto.

Cuando no miramos a escala nanométrica, puede resultarnos difícil comprender la relevancia de lo que vemos, pues a simple vista no hay nada. En *Hostage pt. 1*, De Wilde sabía de las dificultades que eso implicaba, pero si tuviéramos la oportunidad de mirar ese cuadro de 7 cm no solo a través de un microscopio electrónico de barrido, sino fuera de la medida antropocéntrica quizá sería más fácil reconocer lo que vemos, o lo que no podemos ver. Si no miráramos a estos no-humanos siendo los seres humanos la medida de todas las cosas, podríamos ver la amplitud de esos 7 cm de nanotubos de carbono, sobre todo si pensamos que un nanómetro es una mil millonésima parte de un metro y una centésima parte de un cabello, solo entonces podríamos ver ese gran bosque²⁵³ de nanotubos de carbono. Mientras que De Wilde dialogó con escala de la materia exhortándonos a ver más allá de lo que podemos percibir, Kapoor somete al *Vantablack* a una escala antropomórfica en la que la que el vacío se vuelve una metáfora. ¿Por qué la experiencia de lo absoluto pretende

²⁵¹“NanoBlck-Sqr #1 could be considered as an interface for complex systems. There are latent explanations of chemical constructs and processes within this work; it does not perform only as a vacuum for visible light. There are scaffolds supporting this vacuum. These material constructs are a conscious decision by the artist, even if they are completely negated, aesthetically, by the nature of the material.” Laura Davison, *NanoBlck-Sqr # 1*, *Frederik De Wilde*. 2015, <https://frederik-de-wilde.com/project/nanoblck-sqr1/> consultado el 12 de abril de 2021.

²⁵²Frederik De Wilde. “The blackest black in the world”, Video YouTube en *Ted Talk: 2015. 2’40”*, consultado 09 de abril de 2021.
<https://www.youtube.com/watch?v=WX4ldlj1JNl&t=173s>

²⁵³Frederik De Wilde. “The blackest black in the world,” 3’14” y Xaq Rzetelny, “Hostage pt. 1.” *Frederik De Wilde*. 2015, <https://frederik-de-wilde.com/project/hostage-pt-1/>

mostrarnos algo sublime sobre lo terrorífica que puede ser la oscuridad? ¿Tiene algo de sublime la experiencia de la oscuridad que proporcionan estos recubrimientos?

Para De Wilde, los nanotubos de carbono son una pausa en el frenesí visual del siglo XXI, el negro mate de los nanotubos de carbono se opone al negro brillante de las pantallas de los dispositivos móviles, la misma oposición que abordó Pierre Soulages con el *Outrenoir*, una pausa que permite reflexionar sobre lo existencial, pues en absoluta oscuridad todos somos iguales, su declaración no solo se refiere a una especie de democratización del cuerpo en el espacio, sino a ser uno con la oscuridad, a la oportunidad que brinda el material de fundir nuestros cuerpos con ella. Ante la lejanía y los misterios de la materia oscura y la energía oscura, los nanotubos de carbono son la experiencia más cercana al vacío; sin embargo, depositar nanotubos de carbono sobre sustratos tridimensionales implica que solo tocándolos podemos comprender la complejidad de su geometría. En la propuesta de De Wilde hay algo todavía más interesante, lo que él denomina: el principio de la cavidad — que también podría llamarse al principio del vacío—. De acuerdo con este principio, los fotones quedan atrapados en los huecos intersticiales de cada nanotubo de carbono, en la profundidad de estos depósitos se pierden los fotones de distintos tipos de radiación,²⁵⁴ lo mismo que ocurre al interior de los agujeros negros.

Habrá que tomar en cuenta que, en el caso de De Wilde sus trabajos están realizados con la técnica de deposición química de vapor; sin embargo, desde la aparición de los nanotubos de carbono, artistas y laboratorios han desarrollado pinturas con nanotubos de carbono. Una pintura hecha de nanotubos de carbono puede parecer más oscura; sin embargo, no necesariamente se acerca de los índices de reflectancia de los nanotubos de carbono sintetizados en un reactor de deposición química de vapor. Los nanotubos de carbono pierden algo de sí —oscuridad— al ser mezclados con un medio, hoy los y las artistas están preocupados por preservar el 0,036% de reflectancia tal como Yves Klein se preocupó de cuidar la saturación de Internacional Klein Blue. Sin embargo, Jason Chase²⁵⁵ trabaja ya con Singularity Black producido por NanoLab, laboratorio con el que comenzó a hacer una

²⁵⁴Frederik De Wilde. “The blackest black in the world,” 3’33”.

²⁵⁵Jason Chase en Nicholas Girard, *An Absence Of Color*, Video YouTube: 2019. 1’30”, consultado el 11 de abril de 2021. <https://vimeo.com/344829404>

residencia en diciembre de 2017. Una de las primeras obras realizadas por el artista es *Black Iron Ursa* (2017) [img. 89-91].

Pero los artistas se equivocan cuando dicen que las marcas con las que trabajan producen el material más negro, ya que ni Vantablack, ni Singularity Black, ni NanoBlack son los materiales más negros; en realidad, el material más negro son los nanotubos de carbono, no las marcas que patentan. Al respecto de la compra de derechos del Vantablack por parte de Anish Kapoor, De Wilde comentó que, aunque puedas patentar y comprar los derechos de un material, no puedes proteger una idea.²⁵⁶ En este caso, específicamente se refiere, la idea del vacío evocada por el material. En palabras de De Wilde: “Parece que la búsqueda del retrato definitivo de la nada es competitiva”.²⁵⁷

El artista belga más allá de ser el primero en introducir los nanotubos de carbono en el arte, señala —en un artículo publicado en 2019— la importancia de introducir técnicas artísticas en la producción del conocimiento científico, hacerlo de revés. Él ubica la discusión en un nuevo punto, no se trata de llevar lo científico a lo artístico, sino de que las comunidades artísticas piensen nuevas formas de producir conocimiento rompiendo los esquemas del método científico. La aportación De Wilde y del Gueric de Crombrughe, resulta interesante para esta investigación pues considero que está hecha desde la perspectiva del giro material: “Sugerimos que, para dar rienda suelta al potencial creativo que ofrece el diseño de artefactos para el espacio, es esencial considerar las condiciones ambientales no como limitaciones, sino más bien como facilitadores”.²⁵⁸

En el artículo, ellos explican la importancia de considerar las condiciones ambientales de las distintas misiones espaciales; generalmente, los métodos de investigación extraterrestre están diseñados en función de las condiciones de la Tierra, buscando a través de analogías

²⁵⁶Frederik De Wilde en “Stupéfiant! Vantablack” Video Vimeo: 2016, 14m25s, consultado el 07 de abril de 2021. <https://vimeo.com/187880508>

²⁵⁷“It seems the quest for the ultimate portrait of nothing is a competitive one.” Paul-Choudhury, “None blacker” en *New Scientist*. 2015, consultado 20 de abril de 2021.

²⁵⁸“We suggest that to fully unleash the creative potential offered by designing artifacts for space, it is essential to consider the environmental conditions not as constraints but rather as enablers.” Gueric de Crombrughe y Frederik De Wilde, “Artistic Approaches to Design and Manufacturing Techniques Dedicated to Space Applications” en *Leonardo*. MIT Press: 2019. 236. https://doi.org/10.1162/leon_a_01751

similitudes con nuestro planeta, por ejemplo, buscar agua en Marte. Sin embargo, los autores señalan que; por ejemplo, abrir la búsqueda de otros elementos que no sean agua²⁵⁹ brindarían mayor conocimiento del lugar, a eso se refieren con pensar las limitaciones como facilitadores del conocimiento. Pensar lo marciano fuera de los conceptos terrestres, desantropomorfizar el Universo: priorizar lo material. Se trata de desde lo artístico diseñar lo espacial, no de hacer arte en el espacio.

En el artículo se explica detalladamente en qué consistió el experimento/obra de arte en el que basan su argumento: *The man on the Moon* (2016) [img. 92], una figura de polímeros con memoria de forma que se endurece bajo las condiciones de radiación extraterrestre: “Mientras que los humanos necesitan un ecosistema, atmósfera, presión y protección de la radiación para sobrevivir, *The man on the Moon* solo puede existir a través de la ausencia de estos elementos [...] Mientras que el vacío es tradicionalmente considerado una restricción, puede, y debe, ser visto como un facilitador”.²⁶⁰ Una vez más, el vacío como una condición de posibilidad, sin el vacío interno de los nanotubos de carbono, sería imposible estar tan cerca de un negro absoluto.

4.2 Anish Kapoor: el artista de la sospecha

En el trabajo de Anish Kapoor podemos distinguir cinco *leitmotifs*: el espacio, la escala, el color, la ficción y el objeto autogenerado. El espacio es todo aquello que se encuentra ocupado, una especie de contenedor del todo; el espacio arquitectónico, por ejemplo, con frecuencia es llenado por esculturas e instalaciones de grandes dimensiones, tal es el caso de *Leviathan* (2011) [img. 93-94] que con sus 120 metros de largo y sus 35 metros de alto ocupa el *Grand Palais* de París, inundándolo de PVC rojo semitransparente. La escala de sus esculturas e instalaciones es un recurso para generar una nueva percepción del espacio a nivel físico y mental, una relación entre el cuerpo y el espacio mediada por el objeto artístico.

²⁵⁹La discusión sobre el agua en Marte no pertenece a la aportación de De Wilde y de Crombrugge, es un ejemplo que utilizó para aclarar los términos en los que establecen este tipo de investigaciones.

²⁶⁰“While humans need an ecosystem, atmosphere, pressure, and protection from radiation to survive, the man on the Moon can only exist through the absence of these elements [...] While vacuum is traditionally considered a constraint, it can—and should—be seen as an enabler”. de Crombrugge y De Wilde, “Artistic Approaches,” 238.

“Kapoor piensa en el color metafóricamente, como una condición del ser”.²⁶¹ El color no solo es capaz de mostrar las cualidades del espacio, sino que es capaz de encarnar al espacio mismo, de ser el arriba y el abajo. En *Leviathan* se observa un ejercicio que excede a la monocromía, evidencia una relación intrínseca entre el material y el color que llena de sí al espacio visual. “El color hace posible la forma y el color es la materia”.²⁶²

La ficción se refiere los esfuerzos técnicos por hacer que un objeto aparezca ante la audiencia sin revelar detalles de su manufactura, omitiendo los procesos técnicos complejos por los que atraviesa la materia que prefigura a la escultura o la instalación. Esta ficción busca generar una experiencia sobre lo incierto. ¿Qué es? ¿De qué está hecho? Esa incertidumbre es la génesis del compromiso del artista acerca de su exploración material y de las audiencias que, inquietas se cuestionan sobre lo que ven. Pero la ficción también es una versión falsa del mundo, como en el caso del *Vantablack* que, no borra la tercera dimensión en el plano de lo real, no convierte tres en dos dimensiones, es una ilusión, pero ese relato nos permite acceder desde la metáfora a la imagen imaginada del vacío.

El quinto concepto es el objeto autogenerado; es decir, el objeto que parece generarse a sí mismo una y otra vez. Estos conceptos no son excluyentes, han sido parte del programa estético del artista, gran parte de sus esculturas e instalaciones son reflexiones profundas acerca de las posibilidades de la materia; por eso a Anish Kapoor el *Vantablack* le resulta tan idóneo para pensar al *sujeto material* —así es como él denomina a sus piezas—. La obra no es el qué o su resultado, sino el cómo, el proceso en el que la investigación material y el desarrollo tecnológico son parte fundamental de la obra. Al no ser una pintura sino un cultivo de nanotubos de carbono, el *Vantablack* se genera, aparece en la superficie; Kapoor ya no habla del objeto autogenerado como lo hace en *My Red Homeland* (2003) [img. 95-96] o en *Svayambh* (2007) [img. 97-98], ya no es una ficción en la que la obra aparenta crearse a sí misma una y otra vez, sino un proceso fisicoquímico que ocurre en el plano de lo real. “El color, la arquitectura y la tecnología, cada uno juega un papel importante para crear la ficción

²⁶¹“Kapoor thinks of color metaphorically, as a condition of being...” Sandhini Poddar, “The fiction of auto-generation” en *ArtAsiaPacific*, septiembre/octubre, 2008. 152.

²⁶²Ángela Molina, “Anish Kapoor: La vuelta a casa” en *Anish Kapoor. My Red Homeland*. (Málaga: Centro de Arte Contemporáneo de Málaga, 2006) 15.

del objeto autogenerado”.²⁶³ El *sujeto material* interpela a la audiencia y la compromete, la obliga a reconocerlo como otro, este planteamiento empata con el no-objeto, sí porque niega su condición de objeto, pero también porque explica algo acerca de la agencia de los no-humanos presentes en la teoría del actor red.

No es la primera vez que, desde la investigación científica Kapoor se hace de nuevos materiales, inéditos para la historia del arte, así ocurrió con la cera roja que utilizó en *My red homeland*, la cera es moldeada una y otra vez por un brazo mecánico que de alguna manera sustituye el trabajo del escultor, una vez más se genera a sí misma.²⁶⁴ Cuando Kapoor comenzó a trabajar con la cera, él y su equipo de especialistas se enfrentaron al desafío de mantener un color brillante en la sustancia, el pigmento debía mantener su saturación al mezclarse con un material maleable y viscoso, este suceso es relevante si pensamos en el color que inunda el espacio visual, el color más que una característica es una condición, un acontecimiento que ocurre en el Vantablack (CVD), pues al no ser un pigmento no pierde “nada” de sí al adherirse a un medio, en el reactor la sustancia se convierte en superficie.

Los trabajos de Anish Kapoor y de otros de sus contemporáneos son piezas de ingeniería que requieren la intervención de expertos en materiales. El estudio de materiales, con frecuencia relacionado a las obras del pasado también, posibilita el estudio y ejecución de las obras en el presente. Producir una ficción requiere un esfuerzo tecnológico importante antes, durante y después de la producción de una obra, no solo habrá que resolver cuestiones técnicas sobre el color y la materia, sino también habrá que ocuparse de cuestiones museográficas, como ocurrió con *Svayambh*. En el montaje hubo que construir paredes, puertas y marcos falsos para depositar cera en cada uno de ellos y hacer parecer que, durante el trayecto silencioso e ingravido del bloque de cera de ocho toneladas ésta se acumulaba en los marcos de las puertas. El proyecto requirió realizar experimentos con la composición del

²⁶³“Color, architecture, and technology then each play a part in creating the fiction of ‘auto-generation’” Sandhini Poddar, “The fiction of auto-generation” en *ArtAsiaPacific*, septiembre/octubre, 2008. 152.

²⁶⁴Fernando Francés, *My Red homeland*, (Málaga: Centro de arte contemporáneo de Málaga, 2006), 9-11.

material para lograr un equilibrio entre la estabilidad de la estructura y la plasticidad de la cera.²⁶⁵

La elección de los materiales de cada instalación y escultura no es arbitraria, los y las artistas eligen materiales como vehículos que les permitan decir ciertas cosas de una manera específica, eligen materiales capaces de corporeizar imágenes imaginadas, cada material pone en juego además de su apariencia un conjunto de valores de acuerdo con la cultura material a la que pertenecen. En 2015,²⁶⁶ Anish Kapoor conoció el Vantablack y de inmediato reconoció su potencial estético, él identificó que el material puede romper con la tradición del arte representacional²⁶⁷ al ser una especie de epítome sobre el cierre de los planos que inició con el Impresionismo.

Los materiales elegidos en cada obra generan vivencias ante las que la audiencia se descubre a sí misma en vigilia, “la importancia de la materialidad y la experiencia subjetiva en el arte atribuye una carga de responsabilidad al material escogido para dar ‘cuerpo’ a una realidad artística”.²⁶⁸ Kapoor contactó a Ben Jensen y en 2016 adquirió los derechos de uso del únicamente de la versión S-VIS del Vantablack en medio de una discusión sobre la ética de su práctica monopólica. Ambos equipos comenzaron a trabajar en variaciones del Vantablack aptas para el trabajo escultórico del artista, aclarado que su exclusividad se debe “a que (todavía) están tratando de resolver grandes problemas técnicos, no es una pintura que sale de un tubo”.²⁶⁹ A esta idea de Kapoor, agrego que S-VIS es un material más

²⁶⁵Neil a. Dogson, “Engineering Art and Telling Tales: Anish Kapoor at the Royal Academy”, en *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 41 No. 4, 2017, 285-288.

²⁶⁶Aunque Jonathan Jones escribe que, fue desde 2014 cuando Kapoor contactó a Jensen para gestionar e investigar las posibilidades tecnológicas y materiales del recubrimiento de nanotubos de carbono para sus esculturas o instalaciones. Jonathan Jones, “Can An Artist Ever Really Own a Color?”, *The Guardian*, 29 de febrero de 2016, consultado el 03 de julio de 2020, <http://www.theguardian.com/artanddesign/shortcuts/2016/feb/29/anish-kapoor-vantablack-paint>

²⁶⁷Anish Kapoor, Museo Universitario Arte Contemporáneo, 28 de mayo de 2016, Ciudad de México, México.

²⁶⁸Eriel de Araujo Santos, “El humano en la potencia: la materialidad como medio para actualizaciones de propuestas artísticas” en *II Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, ANIAV, 2015, 4.

²⁶⁹“It is exclusive because we are trying to solve huge technical problems. It is not a paint that comes out of a tube.” Anish Kapoor en Tara John, “Anish Kapoor The British-Indian sculptor behind public installations like Chicago’s Cloud Gate talks personal history, political art and the darkest material in the world”, *Time*, 12 de febrero de 2018, consultado el 25 de noviembre de 2019, <https://es.scribd.com/article/370605977/Anish-Kapoor>

complejo que VBx2, pues sí está hecho de nanotubos de carbono con las limitaciones técnicas que implica la deposición química de vapor.

No son las cualidades físicas de un material las responsables de hacer que una obra de arte sea artística, sino la tensión que existe entre el objeto material y la historia. En otras palabras, la dimensión plástica de una obra de arte se halla en los procedimientos técnicos que están detrás del objeto, cómo las y los artistas contemporáneos resuelven los problemas a los que los materiales los enfrentan. Para Kapoor, el artista es un investigador, una persona que explora las posibilidades materiales de las «cosas», un proceso de presentación y de generación de conocimiento. El no-objeto es un pretexto para discutir el color, no se trata de pintar superficies, o en este caso recubrirlas, se trata de abordar al color como cualidad, como la humedad es una cualidad del agua. El color entendido como condición es una experiencia previa a cualquier ejercicio verbal, “lo previo a la palabra, lo anterior al pensamiento, esa sensación en el estómago, lo visceral”.²⁷⁰

La experiencia que genera la interpelación del color se dirige de manera directa a lo simbólico. La materialidad del color tiene la capacidad para transformar el espacio, pero el color en esencia es abstracto, incluso cuando está asociado a cosas reales.²⁷¹ Los pigmentos como sustancias químicas y los colores como fenómenos físicos generaran experiencias metafísicas. “Existen potencias en las materias y materiales orgánicos e inorgánicos que están en constante interacción con la potencia sensible en nuestros cuerpos”.²⁷²

Anish Kapoor menciona:

Me interesa la escultura que manipula al espectador hacia una relación específica con el espacio y el tiempo. El tiempo en dos niveles: uno narrativo y cinemáticamente como material del paso a través de la obra y el otro como una elongación literal del momento. Esto tiene que ver con la forma y el color y la propensión del color a generar ensueños. Consecuentemente, espero, una elongación del tiempo. El espacio es igual de complejo; el espacio contenido en

²⁷⁰“the before word, the before thought, that thing in your gut, the visceral.” Sandhini Poddar, “The fiction of auto-generation” en *ArtAsiaPacific*, septiembre/octubre, 2008. 152.

²⁷¹Anish Kapoor, “ANISH KAPOOR 'Descension' solo show”, GALLERIACONTINUA, consultado 30 de mayo, 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=x7sx0zsUjP4&list=WL&index=6>

²⁷²Eriel de Araujo Santos, “El humano en la potencia: la materialidad como medio para actualizaciones de propuestas artísticas” en *II Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, ANIAV, 2015, 2.

un objeto debe ser más grande que el objeto que lo contiene. Mi objetivo es separar al objeto de su condición de objeto.²⁷³

En sus reflexiones sobre el *sujeto material*, Kapoor ha explorado la idea del vacío y del no-objeto. Para él el vacío no es lo hueco, sino una condición de posibilidad, “un espacio de transición, [...] un espacio intermedio. Tiene mucho que ver con el tiempo”.²⁷⁴ Un espacio que no se ve, como no se ve la materia oscura, pero que es el lugar de la oscuridad y paradójicamente está lleno por la incertidumbre que genera el no ver algo. “El objeto que absorbe toda la luz es una especie de no-objeto en cierto modo. Y este material —el Vantablack— parece haberse hecho para lograr tal cosa”.²⁷⁵ El color negro es una condición del Vantablack, una posibilidad de entender al espacio y a las formas oscuras desde la profundidad de lo cóncavo²⁷⁶ que genera una fuerza de gravedad tan poderosa que nos obliga a mirar al vacío.

Así lo demuestra en diferentes obras: *Vacío* (1989) [img. 99-100], *Al borde del mundo II* (1998) [img. 101-102], *El origen del mundo* (2004) [img. 103-104], *Descenso al limbo* (2018) [img. 105-108], *Pabellón del vacío VI* (2018) [img. 109-113 y video 1], todas estructuras cubiertas por pigmento que al acentuar la profundidad la elimina. A Kapoor no interesa el aspecto aterciopelado de los pigmentos, sino su capacidad material que en el abismo de las formas engulle la luz, sin arrojarla, sin mostrar su tridimensionalidad; el pigmento usado en el arte representacional para figurar el volumen de los cuerpos se vuelve en su contra y lo aniquila. El miedo al vacío proviene de la sensación de caída o hundimiento, de una “sensación de vértigo, de caer, de ser empujado hacia el interior...”.²⁷⁷ Y añadido de ser tragado por una especie de fuerza de gravedad, como ocurrió en *Descenso al limbo*,

²⁷³ Catherine Lampert, *Anish Kapoor. Arqueología: biología*, Coord. Ekaterina Álvarez Romero (Ciudad de México: MUAC, 2015), 24.

²⁷⁴ Airey David, “Perpetual black water whirlpool” en David Airey, 1 de junio de 2015, consultado el 23 de junio de 2020, <http://www.davidairey.com/anish-kapoor-descension/>

²⁷⁵ “The object that absorbs all light, which is kind of a non-object in a way. And this material seems ready made for such a thing.” Aftab, Kaleen, “Anish Kapoor: ‘I Have Nothing To Say’” *The talks*, abril de 2015, consultado el 14 de mayo de 2020, <http://the-talks.com/interviews/anish-kapoor/>

²⁷⁶ Recordemos que en el primer apartado de la investigación se dijo que el giro material nos permite excavar en la profundidad de lo cóncavo como huella de lo convexo, este caso es el mejor ejemplo.

²⁷⁷ K. Bhabha Homi, “Extractos de dos conversaciones con Anish Kapoor”, en *Anish Kapoor. Arqueología: Biología*, Coord. Ekaterina Álvarez Romero (Ciudad de México: MUAC, 2015), 97.

cuando un hombre cayó al interior de la instalación, pues sin distinguir los 2.5 metros de profundidad fue devorado por la fuerza del vacío.

El miedo a la oscuridad es el vacío de lo que el ojo no está seguro de ver y “hacia el cual la mano se extiende con la esperanza del contacto”.²⁷⁸ Kapoor cubre las concavidades con pigmento de colores profundos, para crear la ilusión de estar frente a una superficie plana, hasta que la mano toca el negro vacío. *Descenso al limbo* es un agujero negro que se dirige a las profundidades de la tierra, la superficie de la tierra es el filo del vórtice, un horizonte de sucesos, un movimiento pendular entre el no-objeto y el no-color. *Descenso al limbo* no es una obra hecha con Vantablack sino con pigmento negro; sin embargo, no deja de ser una evidencia acerca de la fuerza centrípeta de la materia que hay en el pigmento,²⁷⁹ un paso en la investigación técnica y estética de lo que posiblemente veremos en su trabajo escultórico hecho con S-VIS.²⁸⁰

Otro momento de reflexión importante en la obra de Kapoor es *Pabellón del vacío VI*, que vuelve a ser una habitación en la que vemos un círculo negro suspendido en la pared blanca; sin embargo, ese círculo que parece ser un pasadizo hacia el otro lado de la habitación es en realidad un “contenedor” del vacío. El suelo que en *Descenso al limbo* fungía como el vórtice, es ahora la pared. La pieza es una sala dividida por una pared central con dos entradas contrapuestas (sur y norte); por un lado, solo es posible ver el círculo negro, mientras que, por el otro al entrar se observa un muro totalmente negro del que emerge una esfera negra suspendida a mitad de la nada.

En *Vacío* observamos una estructura ovoide de fibra de vidrio cubierta de pigmento azul índigo, de frente parece solo un círculo suspendido en el espacio, pero en realidad es una

²⁷⁸K. Bhabha, Homi, “Extractos de dos conversaciones con Anish Kapoor”, en *Anish Kapoor. Arqueología: Biología*, Coord. Ekaterina Álvarez Romero (Ciudad de México: MUAC, 2015), 97.

²⁷⁹ En la ficha técnica de la obra disponible en el sitio web de Anish Kapoor se declara que la obra está hecha de pigmento, no de Vantablack S-VIS. Aunque en muchos medios se mencionó que fue hecha con la versión S-VIS no encontré información oficial que lo sustente ni por parte de Surrey NanoSystems ni por parte del artista. <https://anishkapoor.com/75/descent-into-limbo>

²⁸⁰La presentación del conjunto de obras hechas por Anish Kapoor con Vantablack V-VIS se ha pospuesto debido a la emergencia sanitaria por la Covid-19, pero podría ocurrir en la quincuagésimo novena edición de la Bienal de Venecia que se lleva a cabo en 2022.

superficie cóncava, el cuenco invade el campo de visión, mientras más de cerca sea mirado el círculo más profundo parece su color, pero exige mayor compromiso del espectador si está interesado en descubrir su volumen poco transitable. La pieza no es una apología del color sino una disertación sobre la materia capaz de evocar al vacío. Kapoor ha explorado por años esa idea, por eso para él el Vantablack es un material relevante, “imagínate caminar en una habitación en la que literalmente desconoces cómo y dónde están dispuestas las paredes, es más ni siquiera estás seguro de que estén ahí, no es una habitación oscura y vacía, sino un espacio lleno de oscuridad”.²⁸¹ Esa habitación vacía es un espacio colmado de materia y de sus transformaciones. La experiencia sobre el Vantablack se supone algo indecible, una experiencia del cuerpo con el misterio, un vacío al que no se puede añadir nada.

El vacío para Kapoor está vinculado con la idea de lo interno, la manera en la que pensamos el interior de nuestro propio cuerpo o el color del inconsciente, de lo profundamente íntimo e incluso espiritual. El Vantablack es tener lo profundo y lo abisal mirándonos a los ojos sin poder verlo. Esta habitación imaginaria a la que se refiere Kapoor es desconcertante, supone un encuentro con la idea del vacío que ha sido una inquietud recurrente para la humanidad desde la filosofía, el arte, la ciencia o la religión, lo invisible no es la transparencia, sino la carencia de luz que nos impide distinguir algo. En esta habitación “inevitavelmente nos topamos con el miedo, la muerte y todas las realidades humanas de un mundo emocional”.²⁸²

Cuando Kapoor mencionó: “imagínate” lo hizo con el carácter denotativo de la expresión, es decir, en el plano de lo hipotético, de lo que todavía no existe, pero la cita resulta interesante por lo que James Elkins describe en “*How to look at nothing*”²⁸³ En el apartado “1.3 Materiales: actores no-humanos” de esta investigación hice la pregunta: ¿Qué vemos

²⁸¹“Imagine walking into a room where you literally have no sense of the walls—where the walls are or that there are any walls at all. It’s not an empty dark room, but a space full of darkness.” Anish Kapoor en entrevista con Julian Elias Bronner, “Anish Kapoor talks about his work with the newly developed pigment Vantablack” en *Artforum*, abril de 2015, consultado 20 de junio de 2020, <https://www.artforum.com/interviews/anish-kapoor-talks-about-his-work-with-the-newly-developed-pigment-vantablack-51395>

²⁸²“Inevitably, we bump into fear, death, and all the human realities of an emotional world—as an artist especially, but always as a human being.” Anish Kapoor en entrevista con Bronner, “Anish Kapoor talks about,”.

²⁸³James Elkins, *How to use your eyes*, (Nueva York: Routledge, 2009), 238.

cuando no somos capaces de distinguir lo que percibimos? Pero a esta pregunta agrego: ¿Cómo sabemos que estamos percibiendo algo en la ausencia de luz? En el texto, Elkins explica cómo una serie de experimentos llevados a cabo a lo largo del siglo XX revelaron que el ojo humano es incapaz de no percibir nada de modo que, en la habitación hipotética de Kapoor, incluso en las más absolutas condiciones de oscuridad posibles, el ojo humano produce una especie de entropía, más bien luces entópticas.

Aun sin la presencia de fotones se produce la rodopsina —proteína presente en la membrana plasmática de los bastones de la retina humana que permiten la visión en condiciones de poca iluminación—; aunque la agencia del Vantablack (nanotubos de carbono) nos permita crear un campo visual negro y uniforme, es la rodopsina la responsable de estas manchas entópticas que dan algo en lugar de nada: “La luz entóptica, el ruido de la oscuridad, la luz oscura del ojo: ese es el límite (de la visión ante la oscuridad absoluta [...] Porque) la oscuridad real es esquiva. [...] Al final, cuando no queda nada por ver, el ojo y el cerebro inventan la luz. El cuarto oscuro comienza a brillar y lo hace con auroras entópticas”.²⁸⁴ Parece que la meta de la carrera por el retrato definitivo de la nada todavía es lejana, por no decir imposible de alcanzar, pues “Nuestros ojos nunca dejarán de mirar, incluso cuando tengan que inventar el mundo desde la nada”.²⁸⁵

En la propuesta de Anish Kapoor hay todavía algo más interesante, algo a lo que llamaré las *categorías del no*: el no-objeto, el no-humano, la no-materia y el no-color, un «no» que más que negar, sospecha, pone en duda al objeto, al humano en relación con *lo* objeto y al negro como ausencia, no solo de luz sino de su relevancia simbólica y pragmática. Kapoor reconoce la influencia de Sigmund Freud en algunas de sus esculturas, pero da un giro en su argumento mencionando que “Freud miró la parte posterior de la cueva y quizá todavía estamos mirando en la misma dirección. Pero tal vez es allá, en la extraña oscuridad del

²⁸⁴“Entoptic light, the dark noise, the dark light of the eye—this is the end of seeing. [...] Real darkness is elusive. [...] In the end, when there is nothing left to see, the eye and the brain invent lights. The dark room begins to shimmer and with entoptic auroras.” Elkins, *How to use your eyes*, 241. *Entre paréntesis mías*.

²⁸⁵“our eyes will not stop seeing, even when they have to invent the world from nothing.” Elkins, *How to use your eyes*, 242.

inodoro o debajo de la cama donde está un lugar más aterrador y revelador en el que inician las cosas”.²⁸⁶

El objeto autogenerado —en este caso los NTC que aparecen en un reactor— niega su carácter de objeto, pero se afirma en la subjetividad del *sujeto inmaterial* como lo denomina Kapoor, una subjetividad no-humana, al margen de lo antropocéntrico. La idea de vacío se encuentra con lo inmaterial o la no-materia, el vacío como una condición de posibilidad para alcanzar el negro absoluto, el no-color. Las *categorías del no* se articulan entre sí en dos momentos del mismo argumento; el primero, la relación entre lo patente y lo latente, lo que parece una imagen es el realidad un volumen que se devela cuando se transita la escultura, esto se observa en el trabajo escultórico citado con anterioridad;²⁸⁷ el segundo momento es el desmantelamiento de lo figurativo, dudar, desmontar los valores estéticos que han sostenido al arte occidental, lo que constituye una crítica al entendimiento del objeto artístico o artefacto visual.

Por lo anterior, llamaré a Kapoor a partir de ahora: el artista de la sospecha, —en referencia a la escuela de la sospecha como la denominó Paul Ricœur en *Freud: una interpretación de*

²⁸⁶“Freud looked at the back of the cave, and maybe we’re still looking at the back of the cave. Maybe there in the uncanny darkness down the toilet, under the bed, it is much more frightening and revealing, where things begin.” Anish Kapoor en entrevista con Marcello Dantas, en Anish Kapoor: Ascension, (Centro Cultural Banco de Brasil, Rio de Janeiro, 2006).

²⁸⁷Además de los trabajos referidos, el 20 de abril de 2022 Anish Kapoor presentó en *Gallerie dell’Accademia*, Venecia, una muestra que contempla desde sus primeros trabajos como *1000 names*, esculturas de pigmento, hasta una serie de esculturas trampantojas hechas con Vantablack S-VIS, que aparecen y desaparecen. Kapoor eligió presentar esta serie de trabajos en Venecia, un lugar fundamental para el Renacimiento, elegir esta ciudad no fue casualidad; el Renacimiento ha sido unos de los puntos más álgidos de la relación entre el arte y la ciencia, por ello Venecia era el sitio indicado para la presentación de las obras realizadas con Vantablack, que en sus palabras “es perfectamente sencillo (de comprender): no es un color. Es una tecnología y es extremadamente complicada y sofisticada”.^{a)} Para Kapoor el Vantablack es un material relevante porque presupone poner en jaque la perspectiva y con ello todos los principios que han sostenido al arte occidental,^{b)} “...mientras que el Renacimiento buscaba capturar la realidad, la obra de Kapoor intenta tragarla entera”.^{c)}

^{a)}*The Guardian*, 29 de febrero, 2016, <http://www.theguardian.com/artanddesign/shortcuts/2016/feb/29/anish-kapoor-vantablack-paint>

^{b)}“It’s perfectly straightforward: it’s not a colour. It’s a technology. And it’s extremely complicated and sophisticated.” Harriet Lloyd-Smith, “Anish Kapoor in Venice: gore, glory and blackest black magic,” *Wallpaper*, 19 de abril, 2022, <https://www.wallpaper.com/art/anish-kapoor-venice-interview> Entre paréntesis mías.

^{c)}Anish Kapoor, Museo Universitario Arte Contemporáneo, 28 de mayo de 2016, Ciudad de México, México. Y “whereas the Renaissance sought to capture reality, Kapoor’s work attempts to swallow it whole”. Harriet Lloyd-Smith, “Anish Kapoor in Venice: gore, glory and blackest black magic,” *Wallpaper*, 19 de abril, 2022, <https://www.wallpaper.com/art/anish-kapoor-venice-interview>

la cultura (1965)—: “porque el hombre de la sospecha hace en sentido inverso el trabajo de falsificación del hombre del ardid”.²⁸⁸ Cuando Ricœur escribió: “Lo esencial es que los tres (refiriéndose a Marx, Freud y Nietzsche) crean, con los medios a su alcance, es decir, con y contra los prejuicios de la época una *ciencia* mediata del sentido, irreductible a la conciencia inmediata del sentido”.²⁸⁹

4.3 Jason Chase: singularidades del Universo

En agosto de 2017, Jason Chase expuso *Black Iron Ursa* en la galería Laconia en Boston, Estados Unidos. *Black Iron Ursa* es una escultura de hierro con forma de oso de goma recubierta con Singularity Black, la pintura desarrollada por NanoLab. El oso está colocado sobre un disco con cuñas de colores, los colores están situados ahí para acentuar la oscuridad del material:

Muchas de mis pinturas han sido referencias a mi infancia, objetos coloridos, cosas interesantes y bonitas que para mí tienen un significado profundo. He estado pintando osos de goma por un tiempo, entonces pensé: qué pasaría si tomo este pequeño y gelatinoso objeto de mi infancia y lo hago más grande, intensamente oscuro y que atrape toda la luz, hice un molde del oso en hierro y lo coloqué en un carrusel giratorio de colores.²⁹⁰

El programa estético de Chase apuesta por formas provenientes de la psicología de la percepción, el Pop Art y el Surrealismo Pop como lo menciona Joe Brown en “The New Black: the Least Reflective Paint Ever”. A diferencia de Anish Kapoor, Chase y NanoLab pretenden comercializar de manera libre Singularity Black Optical Paint, adVANTA Vertically Aligned Nanotube Arrays Optical Black, Gravity Black Oil Paint y Morgan White Acrylic Paint, su propuesta del más blanco más blanco hecha con dióxido de titanio —pintura al óleo de la cual no declaran el índice de reflectancia—, con apariencia aterciopelada y capaz de aclarar cualquier color sin cambiar su tono.²⁹¹ Actualmente, Jason

²⁸⁸Paul Ricœur, *Freud: una interpretación de la cultura*, (México: Siglo XXI, 2019), 34.

²⁸⁹Paul Ricœur, *Freud: una interpretación de la cultura*, 34. Entre parentesis mías.

²⁹⁰Jason Chase, “Painting with carbon nanotubes, the blackest black Paint.” Video YouTube *TEDxNaperville*: 2019, 3m05s. Consultado el 25 de abril de 2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=-uCY2pVi2PI&list=WL&index=16>

²⁹¹Joel Brown, “The New Black: The Least Reflective Paint Ever” en *Bostonia. Boston University’s Alumni Magazine*. Boston: Boston University, 10 de octubre de 2018, consultado 30 de abril de 2021. <http://www.bu.edu/articles/2018/jason-chase-singularity-black-paint>

Chase está realizando una residencia en el laboratorio con el objetivo de asesorar en aspectos técnicos a otras y otros artistas interesados sobre el uso de las distintas pinturas disponibles, además participa en la investigación sobre la creación de otros nanopigmentos.²⁹² “La mejor manera de usar Singularity Black [...] es dentro de una campana extractora o cabina de rociado, e idealmente debe aplicarse sobre una superficie metálica. Después de la aplicación, la pintura debe sobrecalentarse a 600 grados Fahrenheit para eliminar el aglutinante”.²⁹³ Sin embargo, las complicaciones y la fragilidad de la pintura siguen siendo el principal reto por enfrentar, “Si lo tocas, se desprenderá, como cuando tocas las alas de una mariposa”.^{294/295} Así lo señaló también Anish Kapoor en 2016. De manera que, en realidad, las imposibilidades técnicas de los nanotubos de carbono siguen estando presentes, no importa el laboratorio que los produzca.

Las pinturas desarrolladas por NanoLab, pueden parecer accesibles a todas las artistas y los artistas que deseen trabajar con ellas; sin embargo, los nanotubos de carbono siguen siendo un material costoso, 20 ml de Singularity LT tienen un costo de 100 dólares estadounidenses, mientras que 3 ml de Nano F-Black (producido por Kremer Pigments) tienen un costo de 40 dólares,²⁹⁶ Kremer comercializa los nanotubos de carbono en forma líquida, soluble en agua, ideal para trabajarse en acrílico, témpera, acuarela y gouche, mientras que cada versión producida por NanoLab debe ser trabajada con medios y técnicas distintas, y por supuesto cada una tiene un precio diferenciado.

²⁹² Jason Chase, “Painting with carbon nanotubes,” 4’34.

²⁹³ “The best way to use Singularity Black [...] is inside a fume hood or spray booth, and ideally should be applied on a metal surface. After application, the paint must be super-heated to 600 degrees Fahrenheit to eliminate the binder.” Sarah Cascone, “Lab Introduces Singularity Black, the Blackest Paint—And You Don't Have to Be Anish Kapoor to Use It” en *artnet News*. 2017, consultado el 29 de abril de 2021. <https://news.artnet.com/art-world/singularity-black-blackest-paint-1042202>

²⁹⁴ “If you touch it, it’s going to flake off, kind of like when you touch a butterfly’s wings.” Jason Chase en Sarah Cascone, “Lab Introduces Singularity Black, the Blackest Paint—And You Don't Have to Be Anish Kapoor to Use It” en *artnet News*, 2017, consultado el 29 de abril de 2021. <https://news.artnet.com/art-world/singularity-black-blackest-paint-1042202>

²⁹⁵ “Singularity Black with improved abrasion resistance”. Video YouTube en *NanoLab, Inc.*: 2017, consultado 28 de abril de 2021. https://www.youtube.com/watch?v=qFCGEtu_1mA&t=37s

²⁹⁶ Comparación de costos realizada en abril de 2021, la compra realizada a Kremer Pigments en enero del mismo año por el mismo producto mencionado tuvo un costo de 18,65 euros, la cotización será añadida al apéndice de la investigación. Kremer Pigmente GmbH & Co. Kg., Nano F - Black Pigments, Kremer Pigments Inc. Tienda en línea, consultado el 29 de abril de 2021. <https://shop.kremerpigments.com/us/shop/pigments/47120-nano-f-black.html>

Singularity Black absorbe el 98,5%²⁹⁷ de luz, mientras que Vantablack el 99,96%, la diferencia porcentual es de 1,46%, quizá para el ojo humano la diferencia sea imperceptible; sin embargo, la diferencia es amplia de manera que, Singularity Black está lejos del negro absoluto. Incluso, Chase declara que para alcanzar el negro con 98,5% de absorción se requieren de una decena a cincuenta capas pulverizadas de pintura más el proceso de calentamiento y si el material es aplicado sobre superficies propensas al desgaste será imposible conservar su negrura. Colin Preston, director de NanoLab y Jason Chase explican que decidieron llamar a su pintura “Singularity Black” en referencia al centro de un agujero negro en donde la materia colapsa en una región de densidad infinita: “donde la densidad y la gravedad se vuelven infinitas y las curvas del espacio-tiempo son infinitamente”.²⁹⁸

El nombre Singularity Black es un tributo a Stephen Hawking,²⁹⁹ a las singularidades del Universo: principio (Big Bang) y fin (Big Crunch), aunque de inicio la singularidad se refiere a la curvatura del espacio-tiempo, Hawking calculó que los agujeros negros no son tan negros como se pensaba, que en realidad por cada partícula que desaparece al interior del agujero negro, hay otra que partícula que escapa, gravitones que viajan al infinito, esta radiación que huye del campo gravitatorio supone también una pérdida de masa, incluso aunque los fotones no la tengan. Así lo demuestra la imagen obtenida en 2019, por Event Horizon Telescope, del agujero negro supermasivo que se encuentra en el centro de la galaxia Messier 87 [img.114-115] a 55 millones de años luz de la Tierra y que la excede 3 millones de veces, la imagen muestra un círculo oscuro envuelto por un arco de luz, la luz que interactúa con el hoyo negro antes de cruzar el vórtice de no retorno —o el horizonte de sucesos—. En la fotografía no vemos un hoyo negro (el cual es imposible fotografiar), sino a una parte de la radiación siendo arrastrada hasta el interior del agujero negro por su campo gravitatorio, mientras que otra parte (gas caliente) es expulsada, esa nube de polvo y gas es

²⁹⁷Joel Brown, “The New Black: The Least Reflective Paint Ever” en *Bostonia. Boston University’s Alumni Magazine*. Boston: Boston University, 10 de octubre de 2018, consultado 30 de abril de 2021.

<http://www.bu.edu/articles/2018/jason-chase-singularity-black-paint>

²⁹⁸s/a “Singularities” en *The Physics Of The Universe*, consultado 01 de mayo de 2021

https://www.physicsoftheuniverse.com/topics_blackholes_singularities.html

²⁹⁹Steven Urbon, “Singularity black is about as black as black can get” en *South Coast Today*. California: South Coast Today, 05 de noviembre de 2017, consultado 30 de abril de 2021.

<https://www.southcoasttoday.com/news/20171105/singularity-black-is-about-as-black-as-black-can-get>

la sombra del agujero negro. La imagen supone probar la existencia de estas estructuras gravitacionales y la teoría de la relatividad general publicada por Albert Einstein en 1915.

El 19 octubre de 2018, Jason Chase presentó *The Blackest Little Black Dress* [img. 116-119] en *Art and Innovation: In the Spirit of HUBweek* en el Museo de Bellas Artes de Boston, Massachusetts. La pieza consiste en un vestido evasé, sin mangas, ajustado a la cintura, falda ancha y que termina a altura de la rodilla,³⁰⁰ el vestido fue modelado durante la exposición por Makayla Alexander. La tela del vestido fue rociada con Singularity Black [video 2-3],³⁰¹ hasta ahora es el vestido más negro sobre la Tierra. El vestido borra la tridimensionalidad del cuerpo; sin embargo, Chase aclara que no debe ser interpretado bajo ningún motivo como una intervención en el mundo de la moda, sino como una obra de arte³⁰² de manera que, él eligió un vestido porque así podía evidenciar cómo los nanotubos de carbono pueden transformar una superficie tridimensional en una aparentemente bidimensional, quería anular los volúmenes del cuerpo femenino y esta prenda icónica le pareció idónea.³⁰³

Para Chase usar Singularity Black era la oportunidad de intervenir uno de los objetos negros más importantes del siglo XX; sin embargo, le gustaría intervenir otras prendas que están relacionadas con la danza o el deporte en aras de mostrar las distorsiones que sufre el cuerpo humano en dichas condiciones. *The Blackest Little Black Dress* es una obra de arte, la tecnología del color aplicada en el vestido está lejos de poder ser considerada como una

³⁰⁰«SINGULARITY BLACK | Blackest Little Black Dress | Nanolab» Video de YouTube en *The Art History Babes*: 2018. 11m 55s <https://youtu.be/ZZVnJ5oQAPc?t=717>

³⁰¹Además de los videos referidos con anterioridad, es pertinente ver “How to use Singularity Black” Video de You Tube en *NanoLab, Inc*: 2019. 10m 04s. <https://www.youtube.com/watch?v=A5Ypt-P10zs&t=9s> Ya que se muestra el proceso de pulverización y la textura de la pintura (semejante a NanoF-Black de Kremer Pigmente). El proceso de pulverización es similar a la técnica utilizada por Surrey NanoSystems con VBx2; solo que a menor escala. Considero que en buena medida las similitudes de ambos procedimientos contribuyen a la confusión mediática de asumir que VBx2 está hecha de nanotubos de carbono, además del énfasis en la marca: Vantablack.

³⁰²Jason Chase «Singularity Black w Jason Chase & Dr. Colin Preston» en *The Art History Babes*, marzo: 2018. Podcast, 1h39m30s. https://open.spotify.com/episode/6zzyD6tED4BquoT8FVHKvh?si=ZLHikob_QeayRcbKremUPQ

³⁰³Jason Chase y Taryn Johnson «The Blackest, Little-Black Dress With Jason Chase and Taryn Johnson» en *The Art History Babes*, diciembre de 2018. Podcast, 1h02m16s.

aportación para la industria textil. De hecho, como le señaló en 2017 Ben Jensen no se ha desarrollado un tinte hecho con nanotubos de carbono y de hecho pueden irritar la piel.³⁰⁴

En la misma exposición, Chase presentó *The Invisible Man* (2018), una escultura cinética [video 4] que consiste en invertir el espacio positivo y negativo formado tres perfiles, la estructura es una impresión en 3D del rostro de Chase la cual fue recubierta con Singularity Black. Cuando la escultura permanece inmóvil encontramos una referencia a las pruebas de Rorschach utilizadas en el psicoanálisis. Las siluetas parecen manchas en el espacio inconexas, pero que guardan cierta simetría entre sí, es el movimiento lo que nos permite encontrar en esas manchas tres perfiles del mismo rostro. El juego entre el espacio positivo y negativo revela lo invisible, los dos rostros impresos fueron borrados cuando se pintaron con Singularity Black, pero los rostros impresos no son lo invisible, lo invisible aparece contorneado por la cabeza de Chase, sus facciones transparentes, la evocación de su presencia.

El Teatro Triádico, (1922) de Oskar Schlemmer, mostró un rostro diferente del negro [img. 120-123]. La tela negra de terciopelo de los vestuarios arquitectónicos sobre el escenario negro de la tercera serie o escena además de reflexionar sobre el espacio en el que el cuerpo aparecía, mostraba: “amputaciones y decapitaciones indoloras [...] efectos fantásticos no disponibles o demasiado difíciles de recrear a través de los medios mecánicos de la época”.³⁰⁵ Si Schlemmer hubiera tenido acceso a Singularity Black, definitivamente hubiera recurrido a él para representar esas extremidades flotantes que se pierden y aparecen en las trayectorias invisibles del espacio.

Pensemos en el efecto escenográfico de Singularity Black y VL Flock Sheet. (Visible Light Absorbing Flock Sheet) [img. 124-126 y video 5] de la empresa japonesa Ko Pro, “una tela

³⁰⁴Stuart McGurk, “Who’s behind art’s dark little secret, Vantablack?” en *GQ*, Reino Unido: agosto de 2017, consultado el septiembre de 2019. <https://www.gq-magazine.co.uk/article/vantablack-anish-kapoor>

³⁰⁵“...appearances and disappearances; painless amputations and decapitations; the fabrication of thin actors from fat ones; fantastic effects unavailable or too difficult through mechanical means.” Elcott, *Artificial Darkness*, 185.

hecha con base en rayón flocada electrostáticamente con batería de nailón de bajo brillo”,³⁰⁶ la tela absorbe el 99,5% de luz y resulta ideal para mejorar la calidad de la imagen fotográfica cuando es utilizada como ciclorama, como lo hizo el fotógrafo Mathieu Stern, mismas fotografías en las que los objetos aparecen como si estuvieran flotando en el vacío.³⁰⁷ VL Flock Sheet no es una tela con base de carbono; sin embargo, es claro cómo la tecnología de la oscuridad —como la llama Eclott— está comprometida en desarrollar materiales que proporcionen un negro casi absoluto para mejorar la obtención de imágenes cada vez más nitidas, brillantes, contrastadas y saturadas: perfectas.

4.4 VBx2: del negro más negro o una estrategia de marketing

4.4.1 Pabellón Hyundai: loa al hidrógeno

Como expuse al inicio del capítulo 3, Surrey NanoSystems desarrolla recubrimientos supernegros hechos con base en nanotubos de carbono. A decir del laboratorio, sus recubrimientos superan los índices de reflectancia de cualquier pintura disponible en el mercado. Sin embargo, VBx1 y VBx2³⁰⁸ son versiones distintas al Vantablack que en ningún caso tienen índice de reflectancia de 99.96%; en realidad, tampoco suponen la superación de las dificultades o imposibilidades de cultivar los nanotubos de carbono a altas temperaturas y dentro de un cámara al alto vacío, puesto que en estricto sentido, VBx2 es una pintura hecha con pigmento negro de carbón, resina polimérica y acetona, esta pintura o “recubrimiento” —como Surrey NanoSystems la denomina— se aplica a través de la inyección a alta presión y ha sido utilizada en distintos objetos de diseño e incluso en espacios arquitectónicos.

³⁰⁶“It is a rayon-base fabric that has been electrostatically flocked with a low-gloss nylon pile.” s/a. “Visible Light Absorbing Flock Sheet”, KoPro, <https://www.ko-pro.black/flocksheets/> Japón: 2021.

³⁰⁷“It’s like the object is floating in a black void”. Mathieu Stern en Michel Zhang, “Photographer Uses World’s Blackest Material as a Backdrop”, *PetaPixel*, 27 de abril de 2021, consultado 29 de abril de 2021. <https://petapixel.com/2021/04/27/photographer-uses-worlds-blackest-material-as-a-backdrop/>

³⁰⁸Esta investigación considera un estudio comparativo de la versión VBx2 y S-VIS del Vantablack, ambas muestras fueron analizadas en El Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte (LDOA) sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC UNAM-ININ-UAC).

El 9 de febrero de 2018, junto con la inauguración de los Juegos Olímpicos de Invierno llevados a cabo en Pieongchang, Corea del Sur, el arquitecto Asif Khan inauguró el Pabellón Hyundai [img. 127 y video 6], a un lado del Estadio Olímpico construido para las ceremonias de apertura y clausura, tanto el pabellón como el estadio fueron construidos de manera temporal. El pabellón consistió en una instalación, un edificio de 10 metros de alto por 35 metros de largo y 35 de ancho, fue hecho por Asif Khan y Surrey NanoSystems, ambos equipos de trabajo comenzaron a colaborar en 2013; sin embargo, fue hasta 2018 que pudieron concretar este proyecto gracias al financiamiento de Hyundai Motor Company.

Hyundai Motor Company contactó a Asif Khan, quién ya tenía experiencia desarrollando este tipo de proyectos arquitectónicos; en 2014 había construido el *Selfie Bulding* para los Juegos Olímpicos de Invierno en Sochi, Rusia. De igual modo, en 2017 hizo el pabellón británico para Astrana Expo, en Kazajstán, un edificio de 1,100 m² en el que ya explora la idea de la energía y la materia presentes en la singularidad del universo, Khan menciona: “La idea de que todo, incluida la vida en la tierra, se compone de esta energía arcaica me fascina. Quería encontrar una manera de expresar esta relación con nuestros visitantes y explorar cómo la energía se aprovecha y se equilibra continuamente a nuestro alrededor”.³⁰⁹ Además, el pabellón revisaba los descubrimientos e innovaciones que Reino Unido ha hecho a lo largo de la historia y que han cambiado su rumbo, por ejemplo, la máquina de vapor, la radiación electromagnética y el grafeno.

En 2018, Toyota Motor Corporation fue patrocinador oficial a nivel global de los Juegos Olímpicos de Invierno; sin embargo, decidió no invertir en publicidad al interior de Corea del Sur por su poca presencia en el mercado surcoreano ya que, Hyundai Motor Company, dueña del mercado local, era patrocinador nacional de los Juegos Olímpicos de Invierno. Hyundai Motor Company no podía realizar campañas publicitarias globales aludiendo a los Juegos Olímpicos de Invierno; sin embargo, no quería desaprovechar la atención

³⁰⁹“The idea that everything, including life on earth, is comprised of this archaic energy is fascinating to me. I wanted to find a way to express this relationship to our visitors and explore how energy is being continually harnessed and balanced around us.”Aimée McLaughlin, “Asif Khan unveils designs for £2 million UK Expo pavilion” en *Design week*, 31 de marzo de 2017, consultado 06 de agosto de 2021, <https://www.designweek.co.uk/issues/27-march-2-april-2017/asif-khan-unveils-designs-2-million-uk-expo-pavilion/>

internacional puesta en el país asiático oriental. Fue así como invirtió en el proyecto de Asif Khan y Surrey NanoSystems, como parte de una estrategia de marketing internacional que lanzaba el modelo Hyundai *Nexo*, un vehículo de pila de combustible de hidrógeno producido en masa. El Pabellón Hyundai tuvo éxito, en tan solo 11 días hubo más de 30 mil asistentes y en 4 semanas 72 mil, aproximadamente 500 millones de vistas en medios,³¹⁰ una estrategia de marketing hecha para un auto, pero sin su imagen.

El Pabellón Hyundai fue una estructura arquitectónica hecha con acero y recubierta con la versión VBx2 de Vantablack —una pintura sin nanotubos de carbono—, “desde lejos, la estructura tiene la apariencia de una ventana que mira hacia las profundidades del espacio exterior”.³¹¹ Pese a éxito mediático del Vantablack VBx2, el pabellón fue en realidad una oda al hidrógeno, uno de los elementos químicos fundantes y más abundantes en el universo que en cuanto imagen, estaba simulado a partir de la cuidadosa instalación de 1,947 luces led [img. 128]. Las luces representan al “hidrógeno en un nivel cósmico, esferas gaseosas que brillan debido a la fusión termonuclear del hidrógeno en helio al interior del núcleo”.³¹² Dentro del pabellón, el hidrógeno se encontró en estado líquido, junto al oxígeno, representado por miles de gotas de agua que flotaban sobre un entramado de acrílico blanco [img. 129]. De manera deliberada, Khan eligió el agua, ya que es el único subproducto del Hyundai *Nexo*, un auto que no emite dióxido de carbono.

El Pabellón Hyundai o “el edificio más negro del mundo”, como lo denominó la prensa internacional, buscó explicar cómo funciona la tecnología de Hyundai *Nexo* a través del arte, el equipo de trabajo introdujo diversos conceptos y significados a través de los materiales de la instalación. El edificio más negro del mundo, como estrategia de marketing, atrajo a un

³¹⁰Ver infografía realizada por Hyundai Motor Company en página 402.

³¹¹Asif Khan en “El edificio más negro del planeta está en Corea del Sur”, en *La Vanguardia*, 09 de febrero de 2018, consultado 19 de octubre de 2018, <https://www.lavanguardia.com/vida/20180209/44643762727/edificio-negro-planeta-corea-del-sur-pyeongchang-vantablack-juegos-olimpicos.html>

³¹²“The “stars” on the outside represent the chemical element on a cosmic level – gaseous balls shining due to the thermonuclear fusion of hydrogen into helium at their core.” Indian Block, “Asif Khan reveals super-dark Vantablack pavilion for Winter Olympics 2018” en *DeZeen*, 7 de febrero de 2018, consultado el 05 de agosto de 2021. <https://www.dezeen.com/2018/02/07/asif-khan-coats-pavilion-super-dark-vantablack-vbx2-pyeongchang-winter-olympics-2018-worlds-darkest-material/> Cabe destacar que, en realidad las estrellas no son esferas gaseosas, sino plasmáticas.

público interesado en tecnología y no únicamente a los fanáticos del automovilismo. Con el pabellón, Hyundai Motor Company buscó reafirmar los valores de una iniciativa de movilidad global amigable con el medio ambiente, las “estrellas” y gotas de agua posicionaron a Hyundai Motor Company como líder en tecnología de hidrógeno en el plano internacional. El Pabellón Hyundai [img. 130] resulta paradigmático porque es una estrategia, una instalación multisensorial, un edificio, de hecho, que sea un espacio arquitectónico evita que directamente se asuma como una obra de arte. Solo Anish Kapoor puede hacer arte con Vantablack —aunque específicamente con la patente del S-VIS—.

La reflectancia hemisférica del 0.9%³¹³ de VBx2 [img. 131] es capaz de producir una sensación de profundidad infinita o vacío, sobre todo al ser colocado en superficies amplias, como una pared de 35 × 10 metros, pues a medida que la audiencia se acercaba al edificio el “vacío” llenaba su campo de visión. La inyección a alta presión o pulverización de VBx2 permite recubrir superficies a gran escala; sin embargo, la naturaleza del material lo diferencia de una pintura convencional, debido a su poca resistencia a la abrasión y a los impactos. En el estudio llevado a cabo bajo la microscopía electrónica de barrido se observaron huecos amplios entre las partículas de carbón, huecos que corresponden al aire integrado en pulverización del material sobre la superficie; dicho vacío facilita su desprendimiento por eso no es un recubrimiento apto para exteriores de contacto directo incluso, aunque VBx2 no sea un depósito de nanotubos de carbono como en el caso del Vantablack S-VIS. En realidad, que la pintura esté hecha de pigmento negro de carbón explica porqué no se reporta toxicidad ni se requiere licencia de exportación para adquirir una muestra del material —como en el caso de la versión S-VIS de Vantablack—.

Las paredes supernegras y cóncavas del edificio [img. 132] brindan profundidad para representar a las estrellas y galaxias dispuestas en el pretendido universo. Después de cruzar el ingreso, la audiencia encontraba un vestíbulo [img. 133], el preámbulo para llegar a *Droplet Installation* [img. 134 y 135] (o *water room*), una habitación blanca y brillante, en la que se hallaba un tablero con una especie de circuitos grabados entre los que circularon

³¹³s/a en *Surrey NanoSystems*, “Introduction to Vantablack Absorber Coatings Used In Automotive Stray Light Suppression”, mayo 2020, consultado 08 de agosto de 2021, 6. <https://www.surreynanosystems.com/resources>

25 mil gotas de agua por minuto. De acuerdo con la imagen 135, la posición 1 corresponde a las entradas de agua [img. 136 y 137], la audiencia fue invitada a interactuar con la instalación, en las entradas de agua las y los asistentes depositaron el líquido que atravesó los circuitos hidrófobos. La segunda posición correspondió a los sensores hápticos [img. 138], orificios que permitieron la entrada de aire —tal como el mecanismo presente en Hyundai Nexo—; al tocar los sensores, la audiencia podía cambiar el ritmo en el que circulaban las gotas de agua hacia el “lago” (ubicado en la posición número 4), lugar en el que las gotas se concentraban para iniciar el ciclo una y otra vez [img. 139].³¹⁴

Por su parte, en *Fuel Cell Exhibition* encontramos cuatro paisajes sonoros; el primero, *Solar Energy* [img. 140] dedicado a las celdas solares que transforman la radiación solar en electricidad; el segundo, *H₂O Extraction* [img. 141] referente a la electrolisis —proceso de extracción de hidrógeno— representada por burbujas metálicas; el tercer paisaje sonoro, *Fuel Cell* [img. 142], tiras de fibra óptica que evocan la electricidad generada para mover el vehículo; finalmente, *Back to water* [img. 143], una proyección de las ondas del agua. En *Droplet Installation y Fuel Cell Exhibition* los paisajes sonoros se construyeron a partir de la extracción de pequeños elementos auditivos de cada uno de los procesos descritos anteriormente; sin embargo, los sonidos incrementaban su tono para simbolizar la ciclicidad de la carga de la pila de combustible de hidrógeno. Los elementos auditivos extraídos fueron usados como aliteraciones y mezclados con un tono de piano para producir un sonido que representara la vastedad del Universo.³¹⁵

En la imagen 131 se aprecia la huella de la pulverización, diminutos agujeros que hacen que la superficie tenga una apariencia porosa, cuando se mira de frente, la superficie se aprecia de un matiz negro poco saturado; sin embargo, cuando el ángulo de visión es de 45° el matiz negro se satura; por eso en los vértices exteriores del pabellón podemos apreciar cómo están trazadas las paredes cóncavas, si VBx2 estuviera hecha de nanotubos de carbono se borraría la tridimensionalidad de los vértices.

³¹⁴“Hyundai Pavilion wins Cannes Lion” Video de You Tube en HyundaiWorldwide: 2018. 1m 48s <https://www.youtube.com/watch?v=l9v15HZPD5A>

³¹⁵s/a, “Hyundai Pavilion 2018” en *Why Do Birds*, 20 de marzo de 2018, consultado 10 de agosto de 2021. <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/>

4.4.2 La bestia negra: BMW VBx6

Hussein Al-Attar, *Lead Exterior Designer* de BMW, fue el diseñador responsable de la bestia negra o “el auto más negro del mundo”, el modelo X6 [img. 144 y 145] recubierto con VBx2 y mostrado en el Salón Internacional del Automóvil en Frankfurt, Alemania, del 12 al 22 de septiembre de 2019, evento en el que distintas marcas presentaron el mayor número de modelos eléctricos. Al igual que Pabellón Hyundai, el proyecto del BMW X6 Sports Utility Coupé estuvo a cargo de Levitation 29, agencia de innovación especializada en reducir la brecha entre proyectos científicos y distintas industrias creativas, en sus palabras: “aceleramos el paso de nuevas tecnologías y materiales hacia la cultura popular”.³¹⁶ Al igual que el procedimiento llevado a cabo en el Pabellón Hyundai, el BMW fue recubierto por medio de la inyección a alta presión; sin embargo, la aplicación del material fue posterior al ensamblado del auto lo cual requirió enmascarar la parrilla, ventanillas, espejos exteriores retrovisores, postigos de las puertas, calaveras, faros, manijas, limpiaparabrisas y otros detalles del vehículo [img. 146 y video 7].

La aplicación de VBx2 no requirió remover la pintura azul original del auto; es decir, se hizo sobre la pintura original. El modelo VBx6 de BMW fue el primer modelo en tener iluminación en la parrilla de riñón; sin embargo, en este modelo se instaló un sistema de diodos emisores de luz blanca y azul para incrementar el contraste con el negro [img. 147]. Durante el Salón Internacional del Automóvil, la audiencia no podía acercarse al vehículo, tocarlo o ver a su interior, fue un proyecto únicamente para exhibición, BMW no lo fabrica ni lo comercializa; por un lado, debido a la nula resistencia del VBx2 al contacto directo; por el otro, porque la bidimensionalidad simulada con el color VBx2 tendría alta peligrosidad en su uso cotidiano.

Como pigmento, el comportamiento del VBx2 (polvo de carbón) asemeja la textura mate y aterciopelada de otros pigmentos de artista como el negro de huesos, y su opacidad también podría relacionarse directamente con la del óxido de hierro negro, el negro de manganeso y

³¹⁶“We accelerate the passage of new technologies & materials into popular culture”, s/a, Sitio Web Levitation 29, 10 de septiembre de 2021, consultado 10 de septiembre de 2021, <https://www.levitation29.com/foundry>, sección Foundry.

el negro espinela (ver fichas de los pigmentos en el anexo). VBx2 no es un negro casi absoluto —como el de los nanotubos de carbono—, pero bajo ciertas condiciones de iluminación lo parece, por ejemplo, los ángulos de la carrocería del modelo VBX6 se aprecian en condiciones de luz abundante, su intensidad es un efecto óptico que se incrementa principalmente al reducir la iluminación, aunque también puede mejorar con la distancia, ya que su textura imbricada como la de un coral tiene la propiedad de engañar a la vista al estar presente como el recubrimiento de un cuerpo con volumen.³¹⁷

4.4.3 Del espacio al entretenimiento: Production Resources Group

La participación de Levitation 29 ha sido fundamental para llevar a cabo los proyectos comerciales en los que ha incursionado Surrey NanoSystems; muestra de ello es la colaboración que anunciaron el 10 de septiembre de 2021 con Production Resources Group (PRG) y que consistirá en llevar esta versión de Vantablack a la industria del entretenimiento en vivo para audiencias globales:

en las próximas semanas, anunciaremos nuestro espacio demostrativo de Vantablack en el estudio digital de PRG en Nueva Jersey, Secaucus, en donde mostraremos las propiedades únicas de Vantablack para fomentar la imaginación de diseñadores, creadores de contenido, cineastas y directores de fotografía, y agencias experienciales. El espacio proporcionará una experiencia de primera mano sobre el impacto visual que significa reemplazar cualquier negro por Vantablack.³¹⁸

Es fundamental recuperar lo dicho por Levitation 29 puesto que está estrechamente relacionado con el concepto *Artificial Darkness* que Noam M. Elcott aborda a profundidad en su libro, sobre todo teniendo en cuenta que los escenarios corresponden a un paradigma a partir del rectángulo y el cuadrado negro. En el apartado anterior señalé que, si Schlemmer hubiera tenido acceso a Singularity Black para el montaje del Teatro Triádico,

³¹⁷Vid. “EXCLUSIVE VIDEO: BMW X6 Vantablack - Fake Or Real Color?” Video de You Tube en BMWBLOG: 2019. 4m 40 s <https://www.youtube.com/watch?v=pVgwnh4xMB0&list=WL&index=34>

³¹⁸“In the coming weeks we will be announcing our Vantablack demonstration space at PRG's New Jersey Digital Studio in Secaucus where we will be showcasing Vantablack's unique properties to seed the imaginations of designers, content creators, filmmakers and DPs, and experiential agencies. The space will provide a first-hand experience of the impact that can be achieved when standard black is replaced with Vantablack”. s/a, “PRG and Levitation 29 Join Forces with Surrey NanoSystems to Bring Vantablack® Super-Black Coatings to the Stage and Screen”, Sitio Web Levitation 29, 10 de septiembre de 2021, consultado 10 de septiembre de 2021, <https://www.levitation29.com/vantablackdemo>, sección Vantablack Demo.

definitivamente hubiera recurrido a él; sin embargo, como lo demuestra *Levitation 29* con el montaje escenográfico desarrollado para la presentación de Gesaffelstein en la edición de 2019 del Festival de Música y Artes de Coachella Valley [img. 148], Schlemmer hubiera podido utilizar Singularity Black para recubrir los vestuarios arquitectónicos y Vantablack VBx2 para su escenografía.

El príncipe de la oscuridad: Gesaffelstein

Mike Lévy o Gesaffelstein, músico, compositor y productor francés del género electrónico, decidió que tanto para su presentación en Coachella 2019 como para su gira por Estados Unidos trabajaría en el diseño del escenario al lado de Surrey NanoSystems, Live Nation France y PRG. El diseño consistió en un monolito cóncavo de 12.19 metros de alto recubierto de VBx2³¹⁹ [img. 149]. Durante el espectáculo, el monolito se dividía por la mitad para mostrar una columna con luces led, estroboscópicas y pantallas. Durante la presentación, el diálogo entre el negro mate de VBx2 y el negro brillante se estableció gracias al vestuario diseñado por la casa Balmain, de acuerdo con Oliver Rousteing, director creativo de la marca, las prendas se confeccionaron con “terciopelo negro, metales, cueros y lentejuelas”³²⁰ en una especie de armadura negra [img. 150-153].³²¹

Ben Jensen, Chief Technology Officer de Surrey NanoSystems, explicó en una entrevista para *The Verge* que el equipo de trabajo del “príncipe de la oscuridad” (Gesaffelstein) no pudo manipular el monolito como cualquier otro escenario durante el montaje añadiendo que: “Técnicamente, se puede manipular, pero debido a su textura muy seca, un dedo grasiento podría dañar las cavidades de atrapamiento óptico y aún es susceptible a

³¹⁹Vid. s/a, “Vantablack Monolith.” Sitio Web *Levitation 29*, 10 de septiembre de 2021, consultado 12 de septiembre de 2021, <https://www.levitation29.com/gessafelstien-monolith>, sección Vantablack Monolith.

³²⁰Oliver Rousteing en Balmain, 18 de abril de 2019, consultado 12 de septiembre de 2021, <https://www.instagram.com/balmain/p/BwRDT9ggTii/>

³²¹Me gustaría exhortar a las y los lectores de esta investigación a pensar en el vestuario como una especie de *arquitectura textil* en la que además de considerar los procesos complejos de confección, se considere que las prendas no se usan, sino que se habitan –un *estar* dentro de la prenda–, que existe una relación agencial con la elección de los materiales y de los materiales con el cuerpo, una mediación entre el cuerpo y el mundo a través del vestuario. No es menester de esta investigación desarrollar esta idea a profundidad; sin embargo, introduzco la idea para pensar la complejidad entre el negro mate y el negro brillante presente en el espectáculo de Gesaffelstein.

rayones”.³²² Otro de los retos para el equipo fue trasladar el monolito de Nueva York, lugar en el que se ensambló, a California para la presentación por lo que, Surrey NanoSystems y PRG además de diseñar una plataforma giratoria para su embalaje, capacitó a un miembro del equipo de trabajo del músico para aplicar o retocar la superficie del monolito en caso de que se dañara durante la gira.

Matthias Leullier, productor del espectáculo de Live Nation France, mencionó: “la idea principal detrás del set de Gesaffelstein era crear una experiencia memorable con un monolito supernegro capaz de desafiar la profundidad y la percepción espacial de la audiencia. El artista parece ‘flotar’ contra el monolito Vantablack, un fascinante vacío negro bidimensional”.³²³ Rescato la cita de Leullier debido a que es importante tener en cuenta dos hechos fundamentales que, a propósito, llevan el mismo nombre; cuando aquí se menciona Vantablack no se refiere a un depósito de nanotubos de carbono verticalmente alineados — en sentido estricto, a la composición fisicoquímica—, sino a la marca patentada por Surrey NanoSystems. Aunque VBx2 sea considerado un material supernegro no lo es, por lo que el vacío negro bidimensional en el que Gesaffelstein parecía flotar es más una idea o un efecto óptico producido por el polvo de carbón pulverizado en la superficie de su escenario, contrario; por ejemplo, al depósito de nanotubos de carbono utilizado por Frederick De Wilde en sus obras. En este sentido, VBx2 nos brinda la posibilidad de pensar el vacío, no desde el diámetro al interior de los nanotubos de carbono, sino desde las cavidades formadas por la técnica de pulverización en la que se aplica el polvo de carbón.³²⁴

³²²Ben Jensen en Dani Deahl, “How Gesaffelstein’s Coachella set tricked minds with the world’s blackest black. The prince of darkness now performs against the darkest darkness” en *The Verge*, 24 de abril de 2019, consultado 12 de septiembre de 2021. <https://www.theverge.com/2019/4/24/18512555/gesaffelstein-coachella-performance-vantablack-monolith>

³²³“Leullier explained, “The main idea behind Gesaffelstein’s set was to create a memorable experience with a super black monolith able to challenge the audience’s depth and spatial perception. The artist appears to ‘float’ against the Vantablack monolith, a mesmerizing two-dimensional black void.” s/a Gesaffelstein’s Unique Vantablack Monolith Brought to Life With GLP en *LiveDesign*, 25 de febrero de 2020, consultado 08 de septiembre de 2021. <https://www.livedesignonline.com/news/gesaffelstein-s-unique-vantablack-monolith-brought-to-life-glp>

³²⁴ Como lo expliqué en el apartado “4.4.1 Pabellón Hyundai: Loa al hidrógeno” de la investigación.

La habitación más oscura jamás creada por el ser humano: Black Ops 4

El espectáculo en vivo de Gesaffelstein no ha sido la única incursión de VBx2 en la industria del entretenimiento. Call Of Duty: Black Ops 4 o Black Ops House fue una sala diseñada el 12 de octubre de 2018 para el lanzamiento del videojuego Call Of Duty. Tal como ocurre con la luz parasitaria al interior del barril de las cámaras fotográficas, la sala diseñada para el Black Ops 4 tenía como objetivo reducir la luz reflejada que proyectan las pantallas sobre las paredes para mejorar la experiencia del jugador o jugadora. La sala consistió en una habitación de “tres metros de alto, por tres metros de largo y cuatro de ancho”³²⁵ construida sobre una plataforma dentro de una nave industrial; para ingresar, el jugador debía atravesar un puente de 40 metros de largo —este recorrido suponía el inicio del juego—; su techo a dos aguas, así como las paredes externas e internas fueron recubiertas con VBx2, el suelo tenía otro tipo de recubrimiento negro [img. 154].

Además de brindar una experiencia bidimensional del espacio que les permitía incrementar su concentración, las y los jugadores —que en realidad eran periodistas especializados— podían experimentar una sensación de inmersión en el videojuego y alto contraste con sus escenarios, por lo que Ben Jensen mencionó: “El futuro del entretenimiento consistirá en experiencias cada vez más inmersivas. ¿Qué podría ser más inmersivo que esto?”³²⁶ Al tener un espacio libre de distracciones, las y los *gamers* podían experimentar el videojuego como si verdaderamente estuvieran ahí ya que, además la habitación fue equipada con un sistema audiovisual que impedía distracciones desde el exterior.³²⁷

Este carácter inmersivo de The Black Ops House cambia en buena medida la relación entre las y los jugadores con el videojuego, pues la que siempre había sido una experiencia propia del hogar, se diseñó y se fabricó como una experiencia ajena a las dinámicas espaciotemporales que le corresponden a una vivienda, cosa que Asif Kahan sabía cuando

³²⁵ Ángel Luis Sucasas Fernández, “Game over en la oscuridad más absoluta,” *El País*, 11 de octubre de 2018, consultado 25 de agosto de 2021. https://elpais.com/cultura/2018/10/11/1up/1539277708_315433.html

³²⁶ Ben Jensen en *Surrey NanoSystems*, “Call Of Duty: Black Ops 4 Played In Total Blackout” 10 de octubre de 2018, consultado en 25 agosto de 2021. <https://www.surreynanosystems.com/news-media/news/vantablack-call-of-duty-black-ops-total-blackout>

³²⁷ Vid. “Playing Call of Duty: Black Ops 4 Inside the “World's Darkest Room!”” Video de You Tube en Activision: 2018. 2m 15s consultado en agosto de 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=pT7a87NND4I>

lideró el proyecto: “aquí tuvimos la oportunidad de reimaginar toda la experiencia sensorial de los videojuegos [...] como estudio de arquitectura nos dedicamos a explorar y aumentar la experiencia humana. Estamos muy emocionados de haber tenido la oportunidad de difuminar los límites entre el diseño espacial y la experiencia digital”.³²⁸ El negro absoluto del código RGB hexadecimal: # 000000, al que ya estamos habituados por los dispositivos digitales, por instantes parecía ser una realidad al interior de The Black Ops House.

La habitación es importante en esta discusión porque incluso aunque los índices de reflectancia de VBx2 no sean los de la versión original o los de S-VIS, es la habitación más cercana a la habitación imaginaria de Anish Kapoor de la que escribí atrás. Ángel Luis Sucasas, uno de los seis periodistas invitados al lanzamiento del videojuego por Activision, describe la experiencia así:

No puedo verme las manos. Ni la punta de la nariz. Por mucho que agito las unas frente a la otra, allí no hay nada. Oscuridad total, al punto de que los ojos no tienen asidero ni después de que hayan pasado varios minutos. El silencio, en el cuarto, también es total. La sensación, uterina, de flotar en la nada; de ser la nada. Más que agobiar, relaja [...] lo que me rodea es extraordinario. Oscuridad total. Oscuridad tangible. Y una pantalla dispuesta a tal distancia que se convierte en dueña de todo mi espacio visual. Solo existe la imagen.³²⁹

No todas las personas presentes pudieron experimentar esa oscuridad relajante de la que habló Sucasas, otros fueron sorprendidos por una oscuridad angustiante y de hecho “horrible”.³³⁰

Desafortunadamente para los y las *gamers*, la experiencia Black Ops 4 se limitó a la presentación del videojuego; es decir, en ser un evento extraordinario, al igual que el Pabellón Hyundai y el VBx6; sin embargo, esta experiencia permitió que PRG y Surrey NanoSystems vieran el potencial del VBx2 para otras experiencias de entretenimiento como salas de cine, conciertos o videojuegos, aunque todavía no es claro cómo evitar que las

³²⁸Asif Kahan en *Surrey NanoSystems*, “Call Of Duty: Black Ops 4 Played In Total Blackout” 10 de octubre de 2018, consultado en 25 agosto de 2021. <https://www.surreynanosystems.com/news-media/news/vantablack-call-of-duty-black-ops-total-blackout>

³²⁹Ángel Luis Sucasas Fernández, “Game over en la oscuridad más absoluta”, *El País*, 11 de octubre de 2018, consultado 25 de agosto de 2021. https://elpais.com/cultura/2018/10/11/lup/1539277708_315433.html

³³⁰“We Played CoD: Black Ops 4 in a Room That Absorbs 99.965% of Visible Light” Video de You Tube en IGN: 2018. 3m 17s consultado en agosto de 2021. https://www.youtube.com/watch?v=efPw2VSNz_s

audiencias curiosas toquen las paredes, como lo hizo Ángel Luis Sucasas, cuando por accidente tocó “al salir la cara interior de una pared y los dedos se (le) quedaron inmediatamente recubiertos de la sustancia, una suerte de lascas de mina de lápiz de textura quebradiza”.³³¹

Nombrar, distinguir e identificar las características de los pigmentos negros es fundamental para comprender cómo el negro de los nanotubos de carbono se inserta en la discusión histórica y cultural del color. Hacer hincapié en diferenciar cada una de las versiones de Vantablack no es un ocioso, es fundamental porque nos permite entender cada una de sus limitaciones respecto a la representación del vacío y sobre todo ir más allá del discurso mediático que se reproduce con poca responsabilidad sobre “el material más negro”; por ejemplo, *The Blackest Little Black Dress* al estar hecho de Singularity Black (pintura hecha con base en nanotubos de carbono) es en efecto más oscuro que el Pabellón Hyundai, de modo que no importa cuántas veces leamos “el más oscuro”, se trata de dimensionar la potencia del discurso comercial.

³³¹ Sucasas, “Game over,” entre paréntesis mías.

5. Descripción de pigmentos negros: ¿Qué tan negro es el negro?

La quinta parte de esta investigación explora el encuentro con distintos materiales negros relevantes en la historia del arte, materiales descritos e identificados en obras antiguas, modernas y contemporáneas; cada uno de estos materiales proporciona un matiz negro, todos diferentes entre sí. Este encuentro con distintos matices del negro supone reconocer la relevancia pragmática, simbólica y científica de un fenómeno complejo que no ha sido explorado del todo.

Cada material enlistado es una experiencia distinta que se encuentra determinada por el tamaño de sus partículas, su densidad, su dureza, su sistema cristalino, la solubilidad en agua, la textura de las partículas, su distribución, brillo, opacidad y otros aspectos que fueron analizados con distintas técnicas de microscopía. Comprender la relación entre la morfología de las partículas, sus características, los elementos químicos que las conforman y los distintos matices de negro que brindan en luz visible es fundamental para entender qué ha motivado a los y las artistas a elegirlos, por su agencia, como parte de sus programas estéticos.

Este proceso de experimentación, observación y descripción de los materiales aspira a ser una experiencia sensorial que nos proporcione suficiente información sobre cada uno, para determinar por qué los nanotubos de carbono son relevantes para la historia del arte, cómo se distinguen de otros materiales, cómo se vinculan con otros pigmentos con base de carbono y para dimensionar cuánto nos acercan al negro absoluto; una discusión que, además nos ayuda a responder si eso que entendemos por «negro» es una apreciación —subjetiva— limitada a las condiciones de luz y a la capacidad de nuestros ojos de percibir el negro.

Esta percepción subjetiva y limitada a las condiciones de luz en las que se aprecia cualquier pigmento hace necesaria su identificación microscópica. Un análisis que resuelva:

1. Identificación del elemento primario que lo compone.
2. Identificación de elementos secundarios en el pigmento.
3. Identificación del material carbónico; es decir, cuál es la forma carbónica presente en el pigmento, ya sea grafito, ceniza, coque u hollín.

La observación de las partículas en el microscopio electrónico permite medir su distribución diametral, así como otros aspectos estructurales con las diversas formas en las que se presenta el carbono.

La energía o las longitudes de onda dispersas en los rayos X del espectroscopio en el escaneo del microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS o SEM-WDS) es utilizada para identificar los elementos químicos presentes en los pigmentos. [...] Esto es útil para demostrar la naturaleza carbónica de un pigmento negro, en parte por la ausencia de elementos que provienen de óxidos o sulfuros negros, como el hierro o el cobre.³³²

Cuando observamos una muestra de pigmentos negros en el microscopio electrónico es posible generar mapeos correspondientes a la distribución de los elementos químicos que constituyen el material, ya sea calcio, fosfato, azufre, sodio, potasio, algún metal carbonatado, silicio u otros elementos, de manera que no basta saber sobre la presencia de carbono, sino que en este trabajo fue necesario determinar cuál es el porcentaje de carbón en el pigmento y con qué otros materiales está interactuando, para comprender cómo se relaciona posteriormente con aglutinantes y medios. Determinar la procedencia de los pigmentos negros a base de carbono en el microscopio electrónico de barrido me ayudó a determinar la morfología de las partículas, conocer sus índices de reflectancia y su porosidad en relación con el aglutinante.

Esta recopilación de información científica tiene sentido cuando volvemos a la reflexión de Tim Ingold hecha al inicio de la investigación. La densidad, los índices de refracción y el tamaño de las partículas no son características que deban ser pasadas por alto, cada pigmento ha sido usado de manera diferenciada e intencional por las y los artistas. ¿Las características de los pigmentos pueden condicionar una obra de arte? ¿Por qué un pintor como Rembrandt prefería el negro de huesos sobre cualquier otro negro?

Las partículas de los pigmentos adquieren un comportamiento específico frente a la radiación infrarroja de acuerdo con el medio al que fueron vinculadas. Los pigmentos que

³³²“Energy or wavelength dispersive X-ray spectroscopy in scanning electron microscope (SEM-EDS or SEM-WDS) may be used for identification of chemical elements. It is useful for demonstrating the carbonaceous nature of a black pigment, partly by absence of elements that from black oxides or sulfides, such as iron or copper.” Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 24.

generalmente se presentan en polvo, no logran adherirse a las superficies en los que son aplicados, necesitan un vehículo que además de adherirlos a las superficies no modifiquen su color, sean resistentes, no se cuarteen y sean suficientemente elásticos para deslizarlos en el lienzo, muro, madera o roca. “Los medios pueden estar compuestos por mezclas de aceites con una variedad de sustancias como la resina, cera, huevo, almidón, sílice, grenetina y bórax”.³³³ Los medios hicieron que la pintura se extendiera sobre las superficies; es decir que permitieran la representación de transparencias, delgadas y tenues capas de pintura sobre capas gruesas que evocan telas, vidrios, agua; sólidos o líquidos que se anteponen entre el observador y los planos más profundos en la obra.

Utilizar acrílico Primal AC35 de Kremer Pigmente como medio fue fundamental; primero, porque el acrílico no afecta la apariencia de los pigmentos; segundo, es un material de secado rápido y tercero, porque nos permite obtener o formar una película de pintura opaca. El acrílico es en realidad “una familia de materiales termoplásticos producto de la polimerización de monómero de vinilo con carbonilo o nitrilo,”³³⁴ estos materiales se presentan como líquidos que al mezclarse con los pigmentos forman una emulsión. Sin embargo, “la pintura de emulsión acrílica puede dañarse con facilidad por la presión, la abrasión y la exposición al agua u otros disolventes, aumenta el riesgo de dañar la pintura circundante durante”³³⁵ procesos de conservación y restauración.

En el siglo XX, uno de los artistas preocupados por la tecnología del color fue Yves Klein, él adoraba la riqueza de los pigmentos, su brillo, pero “reconocía que se empobrecía cuando se amalgamaba a un aglutinante para transformarse en pintura. ‘La magia emotiva del color se desvanecía. Cada grano de pigmento parecía ser aniquilado al unirlo con cualquier otro material destinado a fijarlo en el soporte’”.³³⁶ Klein parecía ser consciente de las relaciones entre la materia, de sus transformaciones y limitaciones, por lo que junto a Edouard Adam

³³³Carlyle, *The Artist's Assistant*, 101.

³³⁴CAMEO, Poliacrylate. <http://cameo.mfa.org/wiki/Polyacrylate> consultado 13 de marzo de 2022.

³³⁵Patricia Smithen, “A History of the Treatment of Acrylic Painting” en *Modern Paints Uncovered*, ed. Thomas J. S. Learner, Patricia Smithen, Jay W. Krueger, y Michael R. Schilling. (Los Ángeles: The Getty Conservarion Institue, 2006) 171.

³³⁶“La magia emotiva del colore era svanita. Ogni singolo granello di polvere sembra essere annientato dalla cola o da qualsiasi altro materiale destinato a fissarlo agli altri e al supporto.” Philip Ball, *Colore: una biografia. Tra arte, storia e chimica la bellezza e i misteri del mondo del colore*, (Milán: Bur Saggi, 2013), 257.

en 1955 desarrolló *Rhodopas M 60 A*, una resina capaz de fijar el pigmento sin modificar su saturación. La resina, que podía ser diluida con etanoato de etilo o etanol, le permitió a cada grano de pigmento conservar su libertad, aunque combinados entre sí (resina y polvo) el —color del— pigmento permanece autónomo.³³⁷ El empeño científico y tecnológico de Klein en el desarrollo de la resina y el pigmento fue indispensable para soportar su idea metafísica y espiritual del color.

Para la realización del catálogo de pigmentos negros que comprende esta investigación, retomaré la clasificación de los hecha por Barbara H. Berrie³³⁸ en el texto “Rethinking the History of Artist’s Pigments Through Chemical Analysis”, la clasificación de la jefa del departamento de investigación científica de la Galería Nacional de Arte de Washington D. C. es pertinente en tanto que nos permite identificar, de mayor a menor, el grado de complejidad técnica y tecnológica en la elaboración de los pigmentos. Añadí al modelo de la Berrie una columna que corresponde al número de pigmentos a analizar en cada categoría; en los anexos a la tesis se detalla la información de cada uno de los materiales.

Tipos de pigmentos	Ejemplo	Pigmentos negros estudiados
Materiales crudos orgánicos e inorgánicos.	Tierra, asfalto, minerales, sangre y líquidos provenientes de plantas.	3
Materiales mínimamente elaborados.	Carbón, pigmentos extraídos de raíces y cortezas vegetales.	9
Sales y residuos metálicos.	Pigmentos resultados de reacciones químicas con compuestos inorgánicos.	5
Metales y aleaciones metálicas.	Oro, plata, hierro, bronce, cobre, cromo.	1
Sintéticos.	Vidrio (excepto obsidiana), sustancias orgánicas como el alquitrán o el mismo Vantablack, además de otros complejos organometálicos y reducidos heteropolimolibdatos.	6

Cada forma que adquiere la estructura atómica del carbono es definitoria para la conquista del negro absoluto, cada una emana de su relación con el mundo; que las partículas sean grandes, medianas o pequeñas impacta en sus índices de reflectancia, mientras menores son sus índices más diminuta es su estructura atómica, sucede también con el Vantablack.

³³⁷Gage, *Color y cultura*, 267.

³³⁸Barbara H. Berrie, “Rethinking the History of Artists’,” 443.

La experimentación consideró las cualidades hápticas de los pigmentos, su apariencia, su capacidad de formar una pintura al mezclarse en la solución acrílica del Primal A35 de Kremer Pigmente (tres gotas de Primal AC 35 por una gota de agua destilada) y su comportamiento al mezclarse con el blanco de titanio de (46200).

Estas probetas de referencia de los pigmentos se realizaron sobre tablas de macocel imprimadas con pintura vinílica color blanco (Vinimex Vivid B1³³⁹). Se proyectó la experimentación en dos variables: una tabla general que permitiera comparar las características de toda la paleta de pigmentos negros (21 materiales) y la otra, tablas individuales por material en donde se aplicaran distintas mezclas para comprender mejor sus propiedades (miscibilidad, poder cubriente, textura, solubilidad, granulometría y las propiedades reológicas del sistema de pigmento negro y un pigmento blanco que fungiera como carga inorgánica, en este caso el blanco de titanio).

En la tabla general se colocaron los 21 materiales junto al matiz gris generado por la mezcla con blanco de titanio. Del mismo modo, se prepararon maderas a modo de tarjetas con un dibujo subyacente hecho con carbón que se devela bajo el infrarrojo, estas “tarjetas” me permitieron observar la opacidad de los pigmentos; en otras palabras, cuántas capas de pintura necesité para lograr cubrir los naipes —dibujos subyacentes— y cuán uniforme fue la aplicación sobre los mismos.

En los primeros tres cuadrados encontramos los materiales crudos, en las siguientes nueve posiciones los materiales mínimamente elaborados, incluidos los biomateriales como el negro de huesos y el negro de marfil, en los siguientes cinco cuadrados están los materiales compuestos por sales y residuos metálicos y en la decimoctava posición se encuentra el antimonio, un metaloide. Finalmente, en las últimas tres posiciones se encuentran los materiales sintéticos, en las que además de la anilina, encontramos los materiales hechos con nanotubos de carbono. Este es el mismo orden que utilizaré para describir mi encuentro con los materiales. Así se ilustra en la siguiente tabla, cabe aclarar que aquí los materiales están

³³⁹Vinimex Vivid B1 está compuesta por dióxido de titanio, ftalato de dibutilo y sílice cristalina, esta información es importante debido la fluorescencia del material que se observa durante este estudio.

dispuestos tal y como se llevó a cabo el proceso de experimentación; sin embargo, luego de dicho proceso los materiales en los que se detectó plomo (galena y antimonio) podrían estar ubicados en otro sitio. Galena al ser sulfuro de plomo estaría ubicado con los materiales crudos en color verde y Antimonio en morado al ser un trisulfuro de plomo.

Graphite Powder Silver (Grafito)	Shungit	Van Dyck Brown (pardo Van Dick)	Bone Black (negro de huesos)	Charcoal Powder (carbón vegetal)
47700	12040	41000	47100	47800
Cherry Black (negro cereza)	Grape Black (negro uva)	Ivory Black JU (negro marfil Ju)	Negro de marfil	Peach Black (negro durazno)
12020	12015	47200	47150	12010
Vine Black (negro vid)	Logwood (palo de Champeche)	Atramentum	Galena	Iron Oxide Black (óxido de hierro negro)
47000	36110	12030	10900	48440
Negro de manganeso	Spinel Black (negro espinela)	Antimony (antimonio)	Nano F Black (negro nano F)	
47500	47400	10940	47120	
Anilina				Gravity Oil Paint (óleo gravity)
El caballito				NanoLab

Verde: Materiales crudos.

Azul: Materiales mínimamente elaborados.

Morado: Sales y residuos metálicos.

Rosa: Metales y aleaciones metálicas.

Oro: Sintéticos.

Esta etapa comparativa de los pigmentos nos muestra su comportamiento en superficies bidimensionales, la manipulación de los pigmentos permite distinguir además de la opacidad, su textura, la porosidad de las partículas, su comportamiento frente al aglutinante y al diluyente, así como su estabilidad y polaridad al ser combinados con un pigmento como lo es el blanco de titanio. El objetivo de esta experimentación fue conocer qué materiales

nos permiten acercarnos al negro absoluto que proponen los nanotubos de carbono, analizar más allá de la apariencia, cuáles características de su estructura fisicoquímica son determinantes para obtener un negro saturado.

En ese mismo sentido, pero ante la —falsa—³⁴⁰ expectativa generada por el Vantablack VBx2, fue fundamental conocer el comportamiento de otros materiales hechos con nanotubos de carbono para observar las diferencias que existen entre este tipo de pinturas y la deposición química de vapor que da cuerpo al Vantablack S-VIS, material con el que estarán hechas las obras de Anish Kapoor. En esta parte de la investigación encontraremos fundamentalmente tres tipos de materiales; el primero, los pigmentos negros identificados y utilizados en la historia del arte (grafito, shungit, pardo Van Dyck, negro de huesos, polvo de carbón vegetal, negro cereza, negro uva, negro de marfil, negro de marfil Ju, negro durazno, negro de vid, palo de Campeche, atramentum, galena, óxido de hierro negro, negro de manganeso, negro espinela, antimonio, anilina, y Vantablack VBx2); segundo, pinturas hechas con base en nanotubos de carbono (Nano F Black y Gravity Oil Paint) y; finalmente, un depósito de nanotubos de carbono (Vantablack S-VIS). La técnica para obtener y aplicar un negro saturado es fundamental.

5.1 Observar los materiales, pintar con ellos

1. Graphite Powder Silver (grafito): 47700

El grafito es un alótropo de carbono de matiz gris con apariencia metálica, está formado de láminas hexagonales alineadas de manera horizontal, el grafito es una de las formas puras de carbón; sin embargo, durante el análisis químico, están vinculadas con la presencia de elementos como el sodio, aluminio, silicio y azufre como lo podemos ver en la ficha realizada en esta investigación en la sección de anexos. El grafito ha estado presente en el arte ya sea como un material de dibujo y como pigmento. Durante la experimentación su apariencia metálica se redujo al ser intervenido por el blanco de titanio, no obstante, aún es posible apreciarla a contraluz.

³⁴⁰ Utilizo el adjetivo como consecuencia del modo indiscriminado en el que la prensa se refirió al Vantablack como “el negro más negro mundo”, discurso que nos impide distinguir entre la deposición química de vapor y la pulverización de pigmento de carbón vegetal sobre una superficie.

Las partículas del pigmento son gruesas, su aplicación sobre la imprimatura fue difícil pues absorbió el agua; con el medio las laminillas se compactaron hasta formar piedras de pigmento en las cerdas del pincel, esta característica de absorción se redujo cuando el grafito entró en contacto con el blanco de titanio. Las partículas del grafito son más densas que las del blanco de titanio, la pintura gris se mantenía homogénea solo al ser mezclada de manera constante, pues de no hacerlo era posible ver los granos de blanco de titanio por encima de las partículas de grafito.

En las imágenes obtenidas a través del análisis por MEB-EDX podemos observar la disposición horizontal de las hojuelas hexagonales del grafito. Asimismo, se identificaron otros elementos además del carbono, como el oxígeno, sodio, aluminio, silicio, azufre, calcio y hierro, misma a la que Mark Miodownik hace referencia en su libro *Cosas (y) materiales. La magia de los objetos que nos rodean*. Como lo expuse en el segundo apartado de la investigación. Contrario a lo que menciona Kremer Pigmente en las fichas técnicas y de seguridad, el pigmento no contiene de 80 a 85% de carbono, sino alrededor de 75%.

2. Shungit (shungit): 12040

Mineral con base de carbono, a diferencia del grafito, el shungit no tiene apariencia metálica, sino algunos destellos; es decir, inclusiones de oro, nitrógeno, aluminio, hierro, azufre, magnesio, silicio y calcio, estos (dos) últimos detectados en el pigmento que comercializa Kremer Pigmente tras el análisis en microscopía electrónica de barrido. Su nombre corresponde a Shunga, región al noroeste de Rusia en la que descubrieron la roca. En 1992, en las partículas de shungit se encontraron moléculas esféricas con 60 átomos de carbono: fullerenos, producidos naturalmente en la roca.³⁴¹

Hasta ahora es el único mineral natural en el que se ha detectado estas nanoestructuras, por lo que hoy en día shungit es objeto de estudio para la nanotecnología; un artículo, publicado en 2013, reportó la posibilidad de sintetizar fármacos antivirales y anticancerígenos a partir

³⁴¹Vid. Sandra García Fernández, *Las matemáticas del Fullerenos* (Cantabria: Universidad de Cantabria, 2015), 6. <http://hdl.handle.net/10902/7126> y Alejandro Liébana Ortega, *Materiales nanoestructurados de carbono. Aplicaciones catalíticas* (España: Universidad de Jaén, 2020), 12. <https://hdl.handle.net/10953.1/12268>

de estos los fullerenos.³⁴² Las partículas de este pigmento no son solubles en agua; sin embargo, se aglutinan con la incorporación del acrílico. Este fenómeno lo podemos observar en la huella que dejó el pincel sobre nuestra superficie, la pintura tiene un aspecto granulado, poco uniforme y aterciopelado; sin embargo, cuando se trabajó con el blanco de titanio generó un gris opaco y uniforme que perdió la textura mate, en cambio ganó la apariencia plastificada del acrílico.

A través de la microscopía electrónica de barrido se identificó que este mineral posee únicamente 39% de carbono con una presencia importante de oxígeno y silicio como compuestos químicos agregados al material. Aunque shungit nos permitió obtener una capa opaca, aunque no uniforme, no podemos asociar su opacidad únicamente a la presencia de carbono, esa característica la podemos relacionar con el tamaño y la morfología de sus partículas; es decir, astillas y escamas irregulares que se conglomeran a manera de espiral, a diferencia de las partículas aisladas que se observan en el caso del grafito y que nos permiten apreciar los platos hexagonales por medio de la microscopía óptica.

3. Van Dyck Brown (pardo Van Dick): 41000

Aunque propiamente este material no es de matriz negro, sino pardo, fue incorporado al estudio comparativo puesto que es un pigmento con base de carbono, ya que se produce a partir de la turba. Además, en su producción contemporánea se le ha incorporado óxido de hierro por lo que resulta interesante ver su comportamiento frente a Iron Oxide Black, otro de los pigmentos presentes en esta investigación. Este material orgánico de tono cálido genera capas semitransparentes en la pintura. Al integrarse con el agua y el acrílico se obtuvo un material ideal para trabajar transparencias oscuras y cálidas; debido a la polarización del pigmento, durante la aplicación de la pintura el pincel dejó una huella sobre la superficie, es posible apreciar las partículas del pigmento que no se disolvieron, son partículas porosas que resistieron la molienda.

³⁴²Oleg Mosin y Ignat Ignatov, "The structure and composition of natural carbonaceous fullerene containing mineral shungite." *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*. Issue 3 Volumen 6 (2013), 17. <http://www.rpublication.com/ijst/index.html>

Fue valioso trabajar este material porque nos ayuda a comprender por qué no basta con que un pigmento proceda del carbono para tener un matiz negro; asimismo, que no es suficiente con que sea un pigmento negro para poder obtener una pintura opaca. Mezclado con el blanco de titanio, el pigmento redujo su opacidad. Frente al óxido de hierro, las partículas de pardo Van Dyck son más visibles, se distinguen sobre la madera. Su principal diferencia es que, a diferencia del óxido de hierro, Van Dyck no es opaco, sino translúcido, de manera que incorporar óxido de hierro negro podría mejorar su rendimiento.

A través de la microscopía óptica, fue posible observar que el aspecto pardo de este material corresponde con partículas rojizas mate que se aíslan, pero que al mismo tiempo tienden a organizarse en grupos. Algunas partículas expuestas a luz transmitida con microscopía óptica se observan ligeramente translúcidas. Las impurezas observadas bajo esta técnica de microscopía corresponden a otros elementos identificados a través del análisis por MEB-EDX como el sodio, magnesio, azufre, calcio y hierro. Este material, procedente de la turba contiene un 68% de carbono y un 30% de oxígeno.

4. Bone Black (negro de huesos): 47100

Con este polvo se obtuvo una pintura opaca, mate y uniforme. Durante la aplicación sobre la superficie, observé que, en comparación con los pigmentos anteriores, su secado fue más lento; eso quiere decir que las partículas no absorbieron el agua ni el acrílico a la misma velocidad. Lo anterior debe estar relacionado con la composición del pigmento; es decir, con las moléculas proteicas de colágeno presentes en él (al ser obtenido a partir de la calcinación de huesos de origen animal). Cuando se mezcló con el blanco de titanio se obtuvo una mezcla homogénea de un gris medio, las partículas de ambos pigmentos se mezclaron de manera uniforme. La posibilidad de obtener una película uniforme y opaca con este pigmento, hizo del negro de huesos el negro preferido de artistas como Rubens, Tintoretto, Rembrandt, Seurat, Manet, Renoir y Picasso, la presencia de este pigmento ha sido identificada por distintos estudios y técnicas materiales en sus obras, como lo señalan John Winter y Elisabeth West FitzHugh en *Artists' pigments A handbook of their history and characteristics*.³⁴³

³⁴³Winter y West, "Pigment based on Carbon," 31.

En el caso del negro de huesos las muestras ubicadas en los anexos de la investigación muestran una pintura negra muy opaca y uniforme; sin embargo, resulta interesante que en el análisis por medio de la microscopía electrónica de barrido el material presenta un comportamiento de contracción de la película pictórica formando patrones de islas o esferas que se repiten a manera de fractales, que en otras técnicas de análisis no es posible apreciar; ese mismo fenómeno se experimentó durante la aplicación de la pintura sobre la preparación como si fuera una reacción química de efervescencia. El negro de huesos, presenta un 52% de carbono, además se identificó fósforo un elemento presente en materiales obtenidos por medio de la calcinación de huesos de origen animal. La microscopía mostró que este pigmento no tiene un sistema cristalino, es decir, que sus partículas no se encuentran organizadas a través de un sistema geométrico.

5. Charcoal Powder (polvo de carbón vegetal): 47800

El carbón vegetal es el residuo de la carbonización de la madera, es un material poroso y negro que ha sido utilizado como material artístico para el dibujo y la pintura. De acuerdo con la base de datos *Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*, este material contiene de 80 a 98% de carbono.³⁴⁴ Durante la molienda, pude percibir que las partículas del pigmento son lo suficientemente grandes como para sentirse a través de las herramientas del laboratorio; al ser un material poroso, su secado fue rápido ya que absorbió tanto al diluyente como al aglutinante.

Ya en la pintura, no se obtuvo una solución uniforme, sino que mantuvo una textura similar a la del Van Dyck Brown donde sobresalen del medio los conglomerados y partículas gruesas del material. Así, la pintura no fluía libremente tras ser depositada por el pincel, sino que carecía de plasticidad. Por ello, para lograr una mayor opacidad de la capa realicé empastes del material sobre la superficie. Al igual que el grafito y el pardo Van Dyck, el polvo de carbón vegetal es un material que absorbió los líquidos con los que fue mezclado; sin embargo, comparando el comportamiento de los tres materiales mencionados, el grafito es el material con mejor poder cubriente y capacidad de formar una película informe, sin importar incluso que se trate de un pigmento de tonalidades grises y acabado metálico.

³⁴⁴CAMEO, Charcoal. <http://CAMEO.mfa.org/wiki/Charcoal> consultado el 29 de septiembre de 2021.

El análisis por MEB-EDX identificó en este material un porcentaje de 71% de carbono, a diferencia de lo reportado por *CAMEO*. En esta muestra, así como en la de negro de huesos se identificó fósforo, pero también azufre, cloro, sodio, potasio y calcio. A diferencia del grafito, este material no presenta partículas con un sistema cristalino hexagonal, sino partículas con un sistema cristalino triclinico junto con algunas partículas amorfas angulares con formas similares a astillas o esquirlas. Al ver las partículas en microscopía óptica de polarización y luz transmitida fue posible identificar algunos relieves, brillos y birrefringencia en el polvo de carbón vegetal.

6. Cherry Black (negro cereza): 12020

Es un material con base de carbono obtenido por la calcinación de las semillas de cereza, dicho proceso se lleva a cabo privando de oxígeno a las semillas para mejorar la opacidad e intensidad del pigmento. Negro cereza es más flexible que polvo de carbón vegetal; sin embargo, no alcanza la plasticidad del negro de huesos. Este pigmento arroja un negro frío o azulado —a diferencia del tono cálido de pardo Van Dyck— de textura aterciopelada, es un pigmento incapaz de romper la tensión superficial del diluyente y medio; sin embargo, las partículas del pigmento son evidentes sobre la superficie imprimada, no solo muestran rasgos de la huella del pincel, sino que incluso luego de la molienda es posible apreciar el grano. Al igual que polvo de carbón vegetal, negro cereza es un material poroso capaz de absorber rápidamente al medio. Mezclando este negro con el blanco de titanio se generó una capa opaca.

A través de la microscopía óptica, en el caso del negro cereza observamos partículas aisladas muy finas, pero sin un sistema cristalino. Como en el caso del polvo de carbón vegetal, también este material presenta birrefringencia bajo la microscopía óptica con filtro lambda. En el negro de cereza producido por Kremer Pigmente se identificó un mayor porcentaje en peso de carbono que en el polvo de carbón vegetal, un 77%. Además, se identificaron elementos como el sodio, azufre, potasio y calcio.

7. Grape Black (negro uva): 12015

Grape Black es un material que se obtiene por la carbonización de las semillas de uva; sin embargo, es un negro más intenso y neutro que el Cherry Black; es decir, no presenta una subtonalidad fría ni cálida. Grape Black es un pigmento opaco, pero poco uniforme, al pintar con él se puede observar cómo fue depositado sobre la imprimatura, además de la huella del pincel es posible observar el grosor de las capas pictóricas. Cuando se mezcló con blanco de titanio se obtuvo un gris más opaco en comparación con el gris de Cherry Black; el blanco de titanio mejoró su plasticidad pues se obtuvo un gris robusto que, en general no muestra la huella del pincel ni la porosidad del material.

Como en el caso del negro cereza, el negro uva tampoco presenta un sistema cristalino; sin embargo, las imágenes obtenidas y disponibles en los anexos de la investigación nos permiten observar que en este caso las partículas son de mayor tamaño. Las partículas de negro uva presentan brillo iridiscente y birrefringencia en campo oscuro en el microscopio óptico. Otra similitud entre el negro uva y cereza es el porcentaje en peso del carbono identificado, ambos presentan más de un 70% de carbono, en este caso específico hay un 72% de carbono, además se identificó calcio, silicio, potasio, fósforo y azufre.

8. Ivory Black JU (negro de marfil JU): 47200

Pese a que Kremer Pigmente menciona en su página web que esta versión del negro de marfil –JU– está mejorada, es decir, que ayuda a incrementar la saturación del negro, en las probetas podemos apreciar que Ivory Black JU es un negro pardo poco intenso, que tiene un comportamiento similar al de Van Dyck Brown (41000). Un negro cálido y poco opaco que muestra la huella del pincel y el grosor de la capa pictórica sobre la superficie. Por este tipo de contradicciones era necesario este proceso de experimentación, observación y comparación de los materiales. En el gris claro formado por este material y el blanco de titanio observamos transparencias importantes, incluso con el blanco de titanio no se observa una capa pictórica uniforme sobre la superficie.

A través del análisis por MEB-EDX de negro de marfil JU se identificó un 54% de carbono y otros elementos como el fósforo, flúor, sodio, magnesio, silicio, azufre y calcio. Negro de

marfil JU es similar el negro de huesos en saturación y opacidad; sin embargo, esta técnica de análisis también nos permitió identificar otro comportamiento similar al del negro de huesos, la contracción de la película de pintura sobre la superficie. Por medio de la microscopía óptica pudimos observar que, a diferencia del negro de carbón vegetal, las partículas de este material no presentan birrefringencia y además de partículas con forma de astillas también observamos otras subangulares con regiones translucidas. Ambos materiales son similares en tanto que ninguno se organiza en un sistema cristalino.

9. Negro de marfil: 47150

En comparación con el negro de marfil JU (47200), el negro de marfil brinda un negro saturado. Negro de marfil carece de la capacidad de mezclarse con el medio y tampoco se integra fácilmente con otros polvos. Es casi impermeable. Su opacidad es similar a la de polvo de carbón vegetal, al igual que su comportamiento pues presentó la misma incompatibilidad durante su proceso de preparación en pintura. Durante la molienda del polvo en la moleta de observé que las partículas de ambos materiales permanecieron separadas; arriba, las partículas de blanco de titanio; abajo, las de negro de marfil, así cuando debía tomar material era necesario mezclar los colores una y otra vez, así lo hice también sobre el soporte de macocel en el que apliqué la pintura gris y finalmente, la pintura no fluyó libremente al ser extendida con el pincel, de hecho, fue difícil formar la película. Para obtener un recuadro con buen poder cubriente apliqué varias capas cuyas trayectorias es posible percibir en la superficie.

A diferencia del negro de marfil JU, en este negro de marfil se identificó un 78% de carbono a través del análisis en microscopía electrónica de barrido. El aluminio, silicio, azufre, calcio y hierro identificados en la misma muestra corresponden a elementos derivados de la fuente y el proceso de obtención del pigmento. En cuanto a la morfología de las partículas, la microscopía óptica nos permite ver granos con formas de esquirlas elongadas, bordes rectos y angulares, de textura lisa y sin birrefringencia, pero con brillo. Es posible dispersar las partículas de este pigmento para observar sus distintas granulometrías.

10. Peach Black (negro durazno): 12010

Peach Black es un pigmento negro con una opacidad que destaca entre los pigmentos que proceden de semillas de frutos como el negro de uva y el negro cereza. En el caso del negro durazno se obtiene un negro muy saturado que no necesita de empastes para alcanzar a cubrir de manera uniforme la superficie imprimada. Es un pigmento que brinda un negro mate y sedoso, la *Conservation & Art Materials Encyclopedia Online (CAMEO)* menciona que negro durazno es un negro azulado; sin embargo, en la pintura hecha con acrílico y agua durante esta investigación no se observa tal subtono.

A inicios del siglo XVII fue utilizado en la acuarela; no así en la pintura al óleo pues se observó que este material retardaba el tiempo de secado de la pintura³⁴⁵ por lo que no se consideraba el material idóneo para esta técnica. Las partículas de este pigmento son muy finas, no se percibieron durante la molienda, ni se observan a simple vista sobre la superficie. Cuando la pintura negra fue intervenida con el blanco de titanio se obtuvo un gris oscuro opaco, el blanco de titanio modificó mínimamente la saturación de este negro; en esta pintura gris sí es posible observar el tono azulado al que refiere la *Enciclopedia de Materiales de Conservación y Arte en Línea (CAMEO por sus siglas en inglés)*.

Las partículas del negro durazno y shungit son similares en cuanto a tamaño; sin embargo, en este caso no se forman espirales, las partículas angulares y elongadas forman conglomerados, su textura presenta relieves con bordes irregulares, vistas en campo oscuro podemos apreciar su brillo y birrefringencia. Respecto al análisis por MEB-EDX fue posible identificar que negro durazno está compuesto por 74% de carbono, además de oxígeno, se identificó silicio y calcio.

11. Vine Black, German (negro de vid): 47000

La *Enciclopedia de materiales de conservación y arte en línea* menciona que Vine Black es el “término no estandarizado que se utilizó en el siglo XIX para denominar a los pigmentos de humo obtenidos de recursos vegetales pirolizados”.³⁴⁶ Sin embargo, también menciona

³⁴⁵CAMEO, Peach Black. http://CAMEO.mfa.org/wiki/Peach_black consultado el 01 de octubre de 2021.

³⁴⁶CAMEO, Vine Black. http://CAMEO.mfa.org/wiki/Vine_black consultado el 01 de octubre de 2021.

que el negro de vid es un material elaborado a partir de vides. Siguiendo la primera propuesta de *CAMEO*, podemos ubicar a este material dentro del hollín y el humo. John Winter y Elisabeth West FitzHugh, en *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics* refieren que el negro humo procede principalmente del carbón generado por una flama; sin embargo: “la amplia variedad de combustibles que se queman para hacer el negro humo abre la posibilidad de que se formen partículas de coque o carbón, además de alquitranes”.³⁴⁷ Kremer Pigmente reporta en la hoja técnica de Vine Black German que está hecho de antracita, un mineral con base de carbono del que no es posible obtener coque por su resistencia al calor. Hago esta mención porque su comportamiento —que no su apariencia— y su estructura fisicoquímica es similar al del grafito y no necesariamente a la de los pigmentos hechos a través de la combustión de materia ya sea vegetal o animal.

Sobre la superficie imprimada se aprecian las partículas no disueltas en el medio y el agua. Aunque en las áreas con mayores concentraciones de pintura se obtiene una opacidad aceptable, debido a su polaridad no es un material que permita pintar de manera uniforme. Hay áreas en las que es posible ver cómo se levantó el pigmento al ser colocado por el pincel, observamos la huella de las pinceladas y los empastes formados por negro de vid, como ocurre con Charcoal powder y Pardo Van Dyck al ser materiales con una porosidad alta. A diferencia de negro durazno, las partículas del pigmento son notorias; aunque la plasticidad del pigmento mejoró cuando se añadió blanco de titanio, no se obtuvo un gris uniforme; además, la saturación propia de este negro fue afectada por el blanco arrojando un gris medio similar a negro cereza.

El análisis por MEB-EDX mostró que negro vid producido y comercializado por Kremer Pigmente es un material compuesto por 83% de carbono. En ese material se identificó un 8% más de carbono que en el grafito. En este caso, fue posible dispersar las partículas del pigmento para observar por medio de la microscopía óptica hojuelas hexagonales similares a los observados en el grafito. La textura de sus partículas es lisa y su color es negro, a diferencia de las del grafito en el que observamos un color gris metálico. Las partículas de negro vid no presentan birrefringencia, pero sí brillo. Las similitudes en la morfología de las

³⁴⁷Winter y West, “Pigment based on Carbon,” 19.

partículas de este material y el grafito derivan de ser ambos materiales mínimamente elaborados de acuerdo con la clasificación expuesta al inicio de este capítulo.

12. Logwood (palo de Champeche): 36110

El sitio oficial de Kremer Pigmente menciona que es un tinte negro o violeta soluble en agua. Es posible que con acrílico el material haya realizado alguna reacción química que provocara la contracción del colorante; en el lado izquierdo de la probeta se observan las cavidades que dejaron las pequeñas burbujas formadas por dicha reacción química. Este material es higroscópico, absorbe tanto el agua como el Primal AC35 por lo que su secado fue muy rápido, incluso el material se comenzó a secar en la moleta, ni siquiera en el pincel. Este experimento comprobó por qué los colorantes no pueden ser usados como pigmentos en una pintura. Los colorantes orgánicos requieren un proceso de cocción y fijado para emplearse en la tintorería. Es bastante probable que esta probeta sufra rápidamente un proceso de decoloración.

Así, el Logwoog o palo de Champeche es un colorante que, mezclado con acrílico y con blanco de titanio genera una película que se quiebra durante el secado, dejando un patrón texturizado de largas y delgadas agujas. La reacción fisicoquímica del material es mucho más evidente, al haber sido mezclado con blanco de titanio se observan además de burbujas, cuarteaduras tipo escarcha. Aunque el tono no se vio modificado en sí, la adición del blanco de titanio cambió la textura uniforme del gris. Como se expuso en el capítulo dos, este material fue determinante para producir las telas negras de lana en Europa durante la época moderna temprana al ser exportado desde la región central de América desde la primera mitad del siglo XVI.

De acuerdo con la microscopía electrónica de barrido, este material presenta 49% de carbono, seguida de oxígeno, sodio y azufre. La presencia disminuida de carbono en este material corresponde a la ausencia de un proceso de carbonización en la madera; no obstante, considerarlo en esta experimentación fue necesario para contemplar otros procesos de obtención de materiales con base de carbono. Con base en la observación del palo de Campeche en microscopía óptica se observó que sus partículas carecen de un sistema

cristalino, son irregulares y con bordes angulares; además, se observaron dos colores en sus partículas: negro y rojo; las partículas negras son opacas, mientras que las rojas son translúcidas. En campo oscuro se observa brillo y birrefringencia.

Algo a destacar sobre este material es que en las pinturas realizadas con Primal AC35 y el colorante o Primal AC 35, colorante y blanco de titanio, se presentó una reacción que contrajo la película del acrílico generando agujeros y cuarteaduras respectivamente. Estos espacios vacíos, en la microscopía electrónica de barrido dejaron ver gran parte de la preparación de la madera, exponiendo e incrementando el porcentaje en peso del titanio identificado en las muestras.

13. Atramentum: 12030

Producido por la reacción química entre el ácido tánico —presente en la corteza del roble— y las sales de hierro, Atramentum es en realidad un colorante de tono negro intenso que se distingue de la negrura proporcionada por el óxido de hierro negro y el polvo de carbón, debido a un subtono violeta que se aprecia en la parte izquierda de la probeta en las capas pictóricas más transparentes o acuosas. Junto al blanco de titanio, el Atramentum permite conseguir una capa gris medio que conserva el mismo fondo violeta. Ambas aplicaciones son opacas, no fue un material que haya presentado polaridad; sin embargo, en comparación con Iron Oxide Black, el Negro de manganeso o Spinel Black su aplicación no es del todo uniforme. De acuerdo con la *Enciclopedia de materiales de conservación y arte en línea*, Atramentum es un término utilizado por los romanos para referirse al negro de carbón presente en la pintura y la tinta de la época; sin embargo, el término también se utilizó para referirse al esmalte o barniz hecho de asfalto y aceite o resina.³⁴⁸

Pese a que la información técnica que ofrece Kremer en su página de internet afirma que se trata solo de un colorante compuesto por tinta de agallas de roble y sales de hierro, los datos del análisis químico revelan que en su composición hay contenidos de calcita y yeso (también se detectó el hierro vinculado con el sulfuro de hierro o alcaparrosa) lo cual puede interpretarse como un colorante adicionado con una carga inorgánica capaz de darle cuerpo,

³⁴⁸CAMEO, Atramentum. <http://CAMEO.mfa.org/wiki/Atramentum> consultado el 04 de octubre de 2021.

poder cubriente y compatibilidad con el medio, razón por la cual generó una película homogénea, fluida y de tonalidades profundas.

Como el palo de Campeche, Atramentum es un material con menor (44%) porcentaje en peso de carbono en comparación con materiales como en grafito, el negro de carbón vegetal o el negro vid. El análisis MEB-EDX confirmó que la composición de este material son sales metálicas de sulfato de hierro acompañadas de calcio. Por su parte, con la microscopía óptica se observaron partículas con un sistema cristalino monoclinico, algunas partículas son opacas y otras translúcidas, eso se atribuye a la composición química del material procedente de distintos elementos. Las partículas translúcidas presentan bordes angulares, mientras que las opacas tienen bordes tabulares, la textura de las partículas es rayada e irregular y su color marrón; mismas que en campo oscuro dejan ver su brillo y birrefringencia.

14. Galena: 10900

La galena es un mineral tóxico que contiene sulfuro de plomo y en menores cantidades cadmio, antimonio, cobre o plata, el pigmento es una sustancia gris insoluble en agua. La galena, además de haber sido utilizada como cosmético en el Antiguo Egipto, fue usada para elaborar esmaltes de vasijas de cerámica y vajillas en el siglo XVII.³⁴⁹ En la hoja técnica del pigmento se señala de manera clara que no debe ingerirse o inhalarse puesto que la exposición al material puede provocar daños en la salud con efectos duraderos. Los cristales de galena y grafito son metálicos y grises. La galena no fue un material hidrofóbico o con problemas para romper la tensión superficial; sin embargo, como en el caso del negro de marfil, las partículas de galena y blanco de titanio no se mezclaron en la pintura; en la parte superior, permanecieron las de blanco de titanio y; al fondo las de galena, siendo la galena el material con mayor densidad. El gris obtenido por la mezcla de ambos materiales fue el matiz más claro de los grises presentes en este proceso de experimentación/percepción háptica.

El análisis MEB-EDX confirmó una presencia importante de plomo en la galena, elemento identificado en 47%, el carbono aquí es un elemento secundario en 33%. Además, se

³⁴⁹CAMEO, Galena. <http://CAMEO.mfa.org/wiki/Galena> consultado el 04 de octubre de 2021.

identificaron elementos como el sodio, calcio y silicio. Debido a que el tamaño de la partícula es grande es necesario utilizar grandes cantidades de aglutinante para formar una película pictórica opaca y suficientemente plástica. La microscopía óptica nos permitió identificar que las partículas de mayor tamaño se encuentran aisladas, pero las pequeñas forman conglomerados. Las partículas de galena son negras y grises con relieves y zonas tabulares, a la morfología de estas partículas le corresponden un sistema cristalino cúbico que, también es posible ver en la microscopía electrónica de barrido como se puede apreciar en las imágenes de la ficha de este pigmento en los anexos de la investigación.

15. Iron Oxide Black 320, brownish (negro de óxido de hierro): 48440.

Este pigmento no presentó polaridad, es un negro muy opaco que permite ser aplicado de manera uniforme sobre la superficie. Cuando fue mezclado con el blanco de titanio, negro de óxido de hierro se modificó mínimamente a un matiz más claro del mismo negro; es decir, no se obtuvo un gris, como en el caso de negro de vid o negro uva o shungit. Ambas mezclas conservan la opacidad del material; en este caso, las partículas de negro de óxido de hierro y el blanco de titanio se mezclaron de manera uniforme durante la molienda y la aplicación sobre la madera imprimada debido a la buena dispersión de estas en el acrílico y el agua destilada; sus partículas son más pequeñas en comparación con las partículas de otros materiales negros, especialmente de polvo de carbón vegetal y pardo Van Dyck. El óxido de hierro negro es un material sintético, uno de los materiales más opacos y estables trabajados durante esta investigación, al que le subyace un subtono cálido o rojizo semejante al de pardo Van Dyck.

El óxido de hierro negro es un material con un bajo porcentaje en peso de carbono, aproximadamente 28%. Sin embargo, como era de esperarse —por ser un óxido—, la microscopía electrónica de barrido confirmó una presencia significativa de hierro (39%), además se detectaron trazas de cloro, aluminio, silicio y calcio. Con base en la microscopía óptica, se concluyó que el tamaño de sus partículas es pequeño como las de shungit, pero a diferencia de este, sus partículas son magnéticas, así se demuestra en las imágenes de la ficha del pigmento ubicada en los anexos. Debido a ese comportamiento, las partículas opacas no se encuentran aisladas, sino en conglomerados. Las partículas de óxido de hierro negro

corresponden a un sistema cristalino cúbico, con textura lisa y son de color negro mate. En campo oscuro, el pigmento se muestra birrefringente y brillante.

16. Negro de manganeso: 47500

Aunque no es el negro más saturado, sí es uno de los materiales más opacos de esta investigación. Durante la molienda observé que el pigmento se veía de color marrón y no negro; sin embargo, una vez aplicado y secado sobre la superficie se obtiene un color negro uniforme. Al igual que negro de óxido de hierro, sus partículas son finas y no presentan incompatibilidad con el medio, el secado del material fue rápido, pero fue posible trabajarlo en ambas mezclas con el tiempo suficiente para perder la huella del pincel. Cuando mezclé el dióxido (negro) de manganeso con el blanco de titanio observé una variación en la probeta izquierda: el pigmento se mostró violeta.

CAMEO menciona que el negro de manganeso está compuesto por dióxido de manganeso y otros compuestos como la jacobsita; en el arte ha sido utilizado como esmalte cerámico y pigmento para pintura, fue sintetizado durante la industrialización y patentado en 1871 en Reino Unido por Rowan,³⁵⁰ sin embargo, también ha sido identificado en el arte rupestre³⁵¹ —en la naturaleza se encuentra como Pirolusita, un mineral con frecuencia de cristales tetragonales—. ³⁵² Uno de sus usos más comunes en la actualidad es como secador para pinturas al óleo.

Considerando la morfología de las partículas observadas a través de la microscopía óptica, este pigmento proviene de la pirolusita y tiene un sistema cristalino tetragonal. La textura de sus partículas es porosa y con bordes irregulares, pese a que en general las partículas se lograron dispersar en la resina, también se observaron conglomerados compuestos por agregados del mismo tiempo. Las partículas son opacas, brillantes y presentan

³⁵⁰*CAMEO*, Manganese black. http://CAMEO.mfa.org/wiki/Manganese_black consultado el 04 de octubre de 2021.

³⁵¹*CAMEO*, Black oxide of manganese. http://CAMEO.mfa.org/wiki/Black_oxide_of_manganese consultado el 04 de octubre de 2021.

³⁵²*Astronatura*, Pirolusita. <https://www.asturnatura.com/mineral/pirolusita/748.html> consultado el 04 de octubre de 2021.

birrefringencia. El análisis MEB-EDX mostró presencia de 33% de carbono, 34% de oxígeno y 28% de manganeso, además de hierro, aluminio, potasio, silicio, azufre y calcio.

17. Spinel Black (negro espinela): 47400

La ferrita de manganeso³⁵³ no debe confundirse con el aluminato de magnesio espinela, un mineral que pertenece a las sales y residuos metálicos que se cristaliza frecuentemente en sistemas octaédricos, el aluminato de magnesio espinela durante la Edad Media fue apreciado y utilizado como piedra preciosa. En la hoja técnica de Kremer Pigmente se señala que Spinel Black ((Fe,Mn)³O₄ o MnFe₂O₄) es un negro “verdadero” no reflectante dentro de las longitudes de onda presentes en el espectro visible, que además se comporta de igual manera en medios como el aceite y el agua.

En las probetas realizadas, negro espinela se observa como un negro saturado y opaco; a diferencia del negro de manganeso, el negro que proporciona la ferrita de manganeso es más intenso y carece de la subtonalidad rojiza del óxido; cuando a la pintura negra le añadí el blanco de titanio, éste modificó ligeramente el color del negro espinela haciéndolo más frío; sin embargo, la aplicación fue siempre uniforme, durante la molienda las partículas se dispersaron en el medio, su miscibilidad fue excelente. De entre los pigmentos negros trabajados en esta investigación y que no están hechos con nanotubos de carbono, Spinel Black es el negro más cercano al negro absoluto. Como ocurre con el shungit mencionado atrás, actualmente la nanotecnología se encuentra investigando este material para desarrollar tratamientos terapéuticos contra el cáncer.³⁵⁴

Como se dijo antes, el negro espinela es uno de los pigmentos más opacos, la ficha técnica del pigmento producido por Kremer Pigmente señala que está 100% compuesto por óxido de manganeso; sin embargo, el análisis por microscopía electrónica de barrido mostró que el manganeso está presente en 9% y el hierro en 3%. Los materiales con mayor porcentaje en peso son el carbono y el oxígeno con 37 y 30% respectivamente. Además del manganeso,

³⁵³PubChem, Spinel. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/159367> consultado el 04 de octubre de 2021.

³⁵⁴Neda Akhlaghi y Ghasem Najafpour-Darzi. “Manganese ferrite (MnFe₂O₄) Nanoparticles: From synthesis to application”. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.07.043>

el negro espinela contiene un porcentaje sustantivo de cobre (cerca del 10%), lo que puede vincularse con su proceso de obtención. También, se identificó la presencia de calcio y agregados de silicio, aluminio y magnesio, que son elementos asociados con los minerales de origen de la muestra. Este pigmento presenta un sistema cristalino esférico, la textura de sus partículas es lisa y con bordes regulares. En campo oscuro, las partículas no muestran ni brillo, ni birrefringencia, características estrechamente vinculadas al efecto opaco, mate y profundo de este negro cuando fue aplicado sobre la preparación con acrílico Primal AC 35.

18. Antimony (antimonio): 10940

El antimonio es un elemento químico ubicado entre los metaloides; es decir, sus propiedades físicas son como las de los metales; por ejemplo, su brillo, pero en lo que respecta a su comportamiento químico son atacados por ácidos y halógenos. Aunque el antimonio se encuentra en la corteza terrestre, también es posible obtenerlo a través de la fundición de plomo y otros metales como la plata, el cobre e incluso el azufre, por la presencia de plomo a este material se le considera tóxico, no debe ser inhalado ni ingerido. Al igual que la galena, el antimonio fue utilizado como cosmético en el Antiguo Egipto,³⁵⁵ pero a lo largo de la historia también ha sido empleado como pigmento para pinturas y esmaltes de cerámicas, plásticos, metales y vidrios.³⁵⁶

Este polvo gris y metálico es más denso que el agua y no es soluble en ella. La pintura obtenida durante la experimentación proporcionó un gris opaco, mezclado con el blanco de titanio conservó su opacidad, pero su matiz se redujo. En la molienda las partículas de ambos pigmentos parecían no mezclarse, incluso durante el secado se observó repelencia entre ellas. En ambos casos es posible observar el grosor de la capa pictórica y la concentración de material en algunas regiones. El trisulfuro de antimonio en está catalogado en el *Tesaurus de Arte y Arquitectura* como un pigmento rojo; sin embargo, al añadirsele plomo se vuelve negro al ser un cristal inestable.³⁵⁷

³⁵⁵ CAMEO, Antimony. <http://CAMEO.mfa.org/wiki/Antimony> consultado el 06 de octubre de 2021.

³⁵⁶ Vid. PubChem, Antimony. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5354495> consultado el 06 de octubre de 2021.

³⁵⁷ TA&A, Trisulfuro de antimonio. <https://www.aatespanol.cl/terminos/300311553> consultado el 28 de enero de 2022.

Como en el caso de la galena, en el análisis MEB-EDX se identificó un 47% de plomo, seguido por un 29 % de carbono y 16% de azufre, los datos corroboran que este material está compuesto por trisulfuro de antimonio. Respecto a el trabajo de observación en microscopía óptica se observó que las partículas de antimonio son ortorrómbicas y bipiramidales de color gris oscuro y textura lisa. Los cristales dispersos en resina nos permiten ver en campo oscuro su brillo y birrefringencia.

19. Nano F Black [NFB] (negro nano F): 47120

Como lo he descrito en esta investigación, los nanotubos de carbono no son propiamente un pigmento y al ser utilizados como tal presentan algunas particularidades técnicas. A diferencia de la experiencia con los pigmentos descritos anteriormente; Nano F Black es el único de los materiales —comprados a Kremer Pigmente— que se encuentra disuelto en agua del 1 al 5%. Para realizar las probetas de este material, se extrajo una cantidad mínima, luego se le agregó Primal AC 35. Al agregar tres gotas de Primal AC 35 (sin agua), la mezcla del material se diluyó aún más, por lo que en la probeta tiene la apariencia de ser casi una acuarela. La probeta izquierda presenta algunas concertaciones de material que alcanzan una excelente opacidad; sin embargo, también hay algunas machas translúcidas que corresponden a la cantidad de líquido en el que están disueltos los nanotubos de carbono.

En la probeta derecha, la pintura de Nano F Black y blanco de titanio, vemos un gris ligeramente más oscuro que el que obtuvimos con Ivory Black JU; además la probeta gris se observa más translúcida, en algunas zonas es opaca debido a la concentración de partículas. En ambos casos, Nano F Black adquirió el brillo del acrílico que es posible ver a contraluz. En resumen, este material no presentó problemas de polarización ni miscibilidad, pero genera capas traslúcidas y poco cubrientes.

El análisis realizado en microscopio electrónico de barrido identificó que este material tiene un 61% de carbono, además 28% de oxígeno, también mostró aluminio, silicio, azufre y calcio. Así como en las imágenes obtenidas en microscopía electrónica de barrido, la microscopía óptica no alcanza a mostrar la morfología (nanométrica) de las partículas; sin embargo, sabemos por lo expuesto en el capítulo tres que, los nanotubos de carbono tienen

un sistema cristalino hexagonal; además, en la ficha técnica del material Kremer Pigmente menciona que los nanotubos de carbono presentes en NFB fueron sintetizados a partir del grafito, material (crudo) descrito al inicio de este apartado. En tanto que los nanotubos ya se encontraban dispersos en agua, lo único que se pudo obtener fue una película o membrana de material que se observa lisa e irregular.

20. Anilina (El Caballito)

La anilina negra es un tinte sintético desarrollado por la industria química del siglo XIX, patentado por J.Lightfoot en 1863.³⁵⁸ Está hecho con base en bencenamina oxidada,³⁵⁹ este material negro ha sido utilizado como colorante para telas de algodón principalmente, tinta de impresión y en menor medida como pigmento. La anilina proporciona un negro intenso siempre y cuando sea utilizado como colorante y no como pigmento. Como pigmento es semiopaco y se queda lejos de la saturación que proporcionan; por ejemplo, Spinel Black, Negro de manganeso, negro de óxido de hierro 320 y negro durazno. En este material, las partículas son grandes, casi tan grandes como un grano de azúcar. Al ser mezclada con el acrílico y el agua, la anilina encadena una reacción química que se observa espuma y que, al secar, produce contracción de la película de color.

En las probetas la capa pictórica que produce el colorante tiene un subtono violeta, más evidente que el del Atramentum y es incapaz de formar película. En ambas probetas es posible observar las trayectorias de las pinceladas, así como la concentración de material en la capa pictórica. Cuando se mezcló con el blanco de titanio, la anilina negra modificó su matiz y aumentó su transparencia. Luego del secado, en ambos casos es posible ver las lagunas esféricas producidas por el burbujeo, así como las impresiones de la espuma formada durante la molienda.³⁶⁰ El análisis químico elemental realizado con el microscopio electrónico de barrido arrojó que la composición de este colorante comercial es

³⁵⁸CAMEO, Aniline Black. http://CAMEO.mfa.org/wiki/Aniline_black consultado el 08 de octubre de 2021.

³⁵⁹PubChem, Aniline Black. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/102600770> consultado el 08 de octubre de 2021.

³⁶⁰No fue posible adquirir la anilina negra a través de Kremer Pigmente Alemania debido a cuestiones de exportación e importación, por lo que recurrí a otra marca.

fundamentalmente carbono identificado en 47%, 20% de sodio y 24% de cloro (cloruro de sodio), junto con trazas de calcio y azufre.

Como ocurrió con el palo de Campeche, la anilina negra presentó una reacción efervescente sobre la preparación evidente en las imágenes obtenidas por microscopía keyence. Las partículas de la anilina logran aislarse y son de color negro con textura rugosa, tienen un sistema cristalino subhedral, cúbico y tetragonal. En campo oscuro es posible ver su brillo y birrefringencia; sin embargo, no es un colorante con estable cuando se expone a la radiación solar de manera prolongada, a diferencia por ejemplo del negro espinela.

21. Gravity Oil Paint (óleo gravity): NanoLab

Gravity Oil Paint (GOP) es la segunda pintura hecha con base en nanotubos de carbono, fue desarrollada por NanoLab (el mismo laboratorio que desarrolló Singularity Black), a diferencia de Nano F Black, los nanotubos de carbono aquí se encuentran dispersos en aceite de linaza, pero su textura y comportamiento no corresponde al de otras pinturas hechas con aceite; es decir, se observa polaridad a pesar de que los nanotubos de carbono están dispersos en un medio oleoso. Desde que sale del tubo, en la pintura se distinguen grumos que se asemejan a la textura de Vine Black en la imprimatura de estas probetas, de hecho, para el catálogo de pigmentos negros de la investigación se extrajo una muestra de pintura que fue separada del aceite por inmersión en acetona y tolueno durante casi 19 meses. Posteriormente, la muestra extraída se mezcló con Primal AC35 para su aplicación sobre la madera como ocurrió con el resto de los materiales, destaco que, incluso después de ese periodo las partículas presentaron un comportamiento de adhesión entre sí.

La pintura tiene una textura pegajosa, incluso colocándola desde el tubo sobre el pincel fue complicado hacer que permaneciera en la madera luego de ser colocada, para lograr el resultado obtenido, dejé un espacio mínimo entre el pincel y la madera para arrastrar la pintura; asimismo, fue necesario evitar pasar el pincel dos veces en la misma zona para que no se levantara la primera capa. Aunque esta pintura nos proporciona un negro muy opaco, su aplicación no fue uniforme, en la textura del material quedó impresa la huella del pincel. Cuando agregué el blanco de titanio a la pintura, observé una modificación considerable en

tono y el matiz del negro, obteniendo un gris semejante al obtenido por Vine Black. La textura pegajosa del material no desaparece luego del secado; inclusive con la adición del blanco de titanio, Gravity Oil Paint sigue conservando esa textura al tacto.

NanboLab no reporta la cantidad de nanotubos de carbono dispersos en el aceite de linaza; sin embargo, mediante el análisis MEB-EDX en GOP se identificó casi un 20% más de carbono que en el material de Kremer Pigmente. Además, esta fue en la única pintura en la que se identificó bario, quizá un elemento presente como catalizador durante la deposición química de vapor. Además del bario, en análisis arrojó presencia disminuida de elementos como el aluminio, calcio, hierro y silicio. Respecto a la microscopía óptica, GOP presentó un comportamiento similar al observado en NFB, las partículas no se dispersan, en cambio forman una membrana de nanotubos de carbono y aglutinante de textura rugosa, opaca y sin brillo, pero con birrefringencia.

22. Vantablack VBx2 y S-VIS

En las imágenes obtenidas durante el análisis MEB-EDX que se pueden consultar en la ficha comparativa de ambas versiones del Vantablack ubicada en los anexos de la investigación, se observó que ambas muestras (VBx2 y S-VIS) presentan una estructura similar a la de los fractales; es decir, estructuras geométricas que se repiten en diferentes escalas. La muestra S-VIS tiene una estructura semejante a la de un rombicododecaedro, en cada cara se aprecian estructuras más pequeñas del mismo polígono; en este caso, los nanotubos de carbono no tienen una alineación vertical, como en la versión CVD del Vantablack. Por su parte, en la muestra VBx2 observamos el mismo tipo de formación (repetitiva) que en la muestra S-VIS; sin embargo, aquí la formación es esférica pues no se distinguen las caras que conforman el poliedro.

En la muestra S-VIS (nanotubos de carbono) se identificó un 28.31% de flúor —casi un 28% más que en negro marfil JU—, elemento que no está declarado en la hoja técnica del material. Además, se identificaron silicio, magnesio y cobalto elementos que seguramente fueron utilizados como precursores o catalizadores durante la síntesis de los nanotubos de carbono. Vantablack S-VIS es el único material en el que fue identificado el cobalto, del mismo modo que el bario en GOP. A diferencia del negro de carbón vegetal de Kremer, en Vantablack

VBx2 sí se identificó un 83% de carbono, seguido por un 16% de oxígeno; en este material también se identificaron trazas de sodio, azufre, silicio y potasio, elementos presentes en otros pigmentos analizados en esta investigación como el negro durazno, negro uva y cereza. Cada pigmento tiene particularidades, si queremos saber por qué un pigmento es más opaco o translúcido podríamos mirar bajo el microscopio la morfología de sus partículas para entender cómo son y cómo se vinculan con el medio y con la preparación. Por ejemplo, para obtener una superficie pictórica negra, uniforme, mate y opaca optaría por el negro espinela y no por alguna de las pinturas hechas con nanotubos de carbono; la razón es simple, los nanotubos de carbono son eficientes mientras hayan sido depositados por CVD,³⁶¹ pero no es posible obtener una superficie uniforme si la aplicación se lleva a cabo por medio de un pincel.

Para obtener un negro casi absoluto se necesita un material capaz de absorber la mayor cantidad de luz, pero también de una aplicación idónea, una aplicación que no comprometa a la materia y sus efectos ópticos. Es decir, en el caso del Vantablack VBx2, el pigmento negro de carbón se pulveriza sobre una superficie, de manera que no es posible apreciar la huella del pincel, en cambio observamos cavidades propias de la pulverización, este hecho imita (aunque a diferentes escalas) la estructura generada por la deposición química de vapor en el caso del Vantablack S-VIS.

Vantablack VBx2 es pigmento negro de carbón pulverizado sobre una superficie, pero no son nanotubos de carbono depositados sobre un sustrato. Hasta ahora (año 2022) la deposición química de vapor es la única forma en la que los nanotubos de carbono se acercan al negro absoluto, como pintura ya sea hecha con agua o aceite los nanotubos de carbono no ofrecen la opacidad y plasticidad de otros pigmentos negros como el negro espinela, negro de manganeso, óxido de hierro negro, negro cereza y negro de huesos.

³⁶¹Deposición Química de Vapor (Chemical Vapor Deposition).

5.2 Imagenología: más allá del espectro visible. Develar lo translúcido en lo opaco³⁶²

1. Fotografía en espectro visible



Ilustración 1 Probetas de materiales negros en espectro visible

La ilustración 1 fue capturada en entre 400 a 750 nm (nanómetros), es decir en el rango que abarca el espectro visible del espectro electromagnético. Esta imagen nos permite apreciar

³⁶²Créditos de las imágenes fotográficas del apartado “Imagenología aplicada a las probetas de pigmentos negros”: Kilian Laclavetine, Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, 2021.

las diferencias en los matices negros que ofrece cada material, el comportamiento de los pigmentos y colorantes respecto a la opacidad, textura, uniformidad y capacidad de formar película con las pinturas obtenidas. En esta ilustración, algunos los materiales parecen semejantes; sin embargo, no será así en la reflectografía infrarroja.

Para la microscopía de superficie y en análisis por microscopía electrónica de barrido se realizaron extracciones de 5×7 mm en el área de limítrofe entre las pinturas negras y sus mezclas con blanco de titanio, conservando el mismo orden propuesto de los materiales:

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Graphite Powder Silver: 47700 | 12. Logwood: 36110 |
| 2. Shungit: 12040 | 13. Atramentum: 12030 |
| 3. Van Dyck Brown: 41000 | 14. Galena: 10900 |
| 4. Bone Black: 47100 | 15. Iron Oxide Black 320, brownish: 48440 |
| 5. Charcoal powder: 47800 | 16. Negro de manganeso: 47500 |
| 6. Cherry Black: 12020 | 17. Spinel Black: 47400 |
| 7. Grape Black: 12015 | 18. Antimony (Kohl): 10940 |
| 8. Ivory Black Ju: 47200 | 19. Nano F – Black: 47120 |
| 9. Negro de marfil: 47150 | 20. Anilina: El caballito |
| 10. Peach Black: 12010 | 21. Gravity Oil Paint |
| 11. Vine Black, German: 47000 | |



Ilustración 2 Colocación de las muestras milimétricas en el soporte de aluminio para someterlas al análisis por microscopía de superficie y MEB-EDX³⁶³

³⁶³ Créditos de imagen fotográfica: Mercedes Alicia Hinojosa Méndez, Programa de Posgrado en Historia del Arte, Universidad Nacional Autónoma de México, agosto de 2021.

2. Fotografía en radiación ultravioleta

Cuando observamos zonas brillantes en la ilustración 3, nos encontramos ante el fenómeno de la fluorescencia, algunos materiales como los aglutinantes, adhesivos, barnices y lacas flourescen en tonos característicos; por ejemplo, en la muestra de Gravity Oil Paint hay un halo amarillento alrededor de la muestra debido a la concentración del acrílico usado para la preparación de las probetas. Durante esta etapa de la investigación se emplearon lámparas ultravioletas UVP Handheld® cuyo pico de emisión se encuentra en dos longitudes, onda corta a 264 nm y onda larga alrededor de los 365 nm. Se usó una cámara digital Nikon® D300s y la fidelidad de la emisión de fluorescencias se verificó durante el proceso de captura.



Ilustración 3 Probetas de materiales negros en radiación ultravioleta

Cuando la radiación ultravioleta incide sobre una superficie, los electrones presentes en las moléculas que componen sus materiales se excitan. En este caso, la fluorescencia depende del material (pigmentos o colorantes) así como del aglutinante y de la interacción entre ellos. “El fenómeno físico que se produce cuando iluminamos la obra con luz ultravioleta es la absorción de la energía de esta radiación de las moléculas de los materiales, los electrones de las órbitas interiores se excitan produciendo un nivel de energía más alto”.³⁶⁴ En el texto *The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts* de Franz Mairinger, él apunta que existen dos formas distintas de la radiación ultravioleta; la primera, “para registrar la fluorescencia invisible reflejada por el objeto, ya sea por medios fotográficos o electrónicos; o bien, excitando la fluorescencia visible, la cual puede ser fotografiada”.³⁶⁵

Bajo esta longitud de onda, el acrílico Primal AC35 fluoresce en una tonalidad blanca amarillenta. Todos los pigmentos derivados de la combustión de madera, semillas (vegetales) y huesos (animales); es decir 47100, 47800, 12020, 12015, 47200, 47150, 12010, y 47000, así como el grafito (47700) tienen la capacidad de absorber la luz en esta longitud de onda y al ser mezclados con el medio, y el blanco de titanio (46200), presentan una fluorescencia relativa a la cantidad de esos materiales en la mezcla, en otras palabras, al grosor de las capas pictóricas sobre la superficie imprimada.

Pardo Van Dyck (41000) presenta un comportamiento atípico, pues contraria a la transparencia que se observa en el espectro visible, bajo la radiación UV se observa un material semiopaco, el pigmento no pierde opacidad al integrarse con el 46200. El sistema pigmento-acrílico de la izquierda es semiopaco, se observa una fluorescencia que permite contemplar la huella de la pincelada conforme al espesor que quedó depositado en la superficie. Por su parte, Atramentum (12030) y negro de óxido de hierro (48440) son

³⁶⁴Eumelia Hernández Vázquez, “Fluorescencia visible inducida por radiación ultravioleta” en *Informe del estudio técnico y análisis material de la obra: La torre de Babel*, informe inédito, (Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Estéticas, 2021) 5-6.

³⁶⁵“1. To record the invisible fluorescence reflected by the object either by photographic or electronic means. 2. To excite visible fluorescence, which can be photographed.” Franz Mairinger, “The infrared examination of paintings” en D.C. Creagh y D.A. Bradley, *Radiation in Art and Archeometry*, (Amsterdam: Elsevier Science, 2000) 56.

materiales casi totalmente opacos, incluso cuando está mezclado con el aglutinante la fluorescencia del medio es muy ligera, tanto que pasa casi desapercibida.

Palo de Campeche (36110), negro de manganeso (47500), negro espinela (47400), negro de huesos (47100) y shungit (12040) son pigmentos totalmente opacos ante este tipo de radiación, ninguno de estos materiales se ve afectado por el medio ni Gravity Oil Paint, pese a haber sido sometido a un proceso de lavado y eliminación del medio (aceite de linaza), mismo que lo convertía en un material apto para la pintura al óleo, bajo la luz UV se observó fluorescencia intensa en color blanco incluso sin haber sido mezclado con (46200). En el sistema pigmento-acrílico-blanco de titanio se observa una fluorescencia amarillenta en el contorno de la superficie, como corresponde al acrílico, esta cualidad nos habla sobre la porosidad de las partículas, una especie de hidrofobia que no se presentó en otro material, ni siquiera en Nano-F Black. Polvo de carbón vegetal (47800) y la anilina negra de la marca El Caballito son materiales semi o totalmente transparentes, flourescen de modo intenso bajo la radiación UV, dicha fluorescencia corresponde a una respuesta característica del acrílico (Primal AC 35).

2.1 UVFC (ultravioleta falso color)

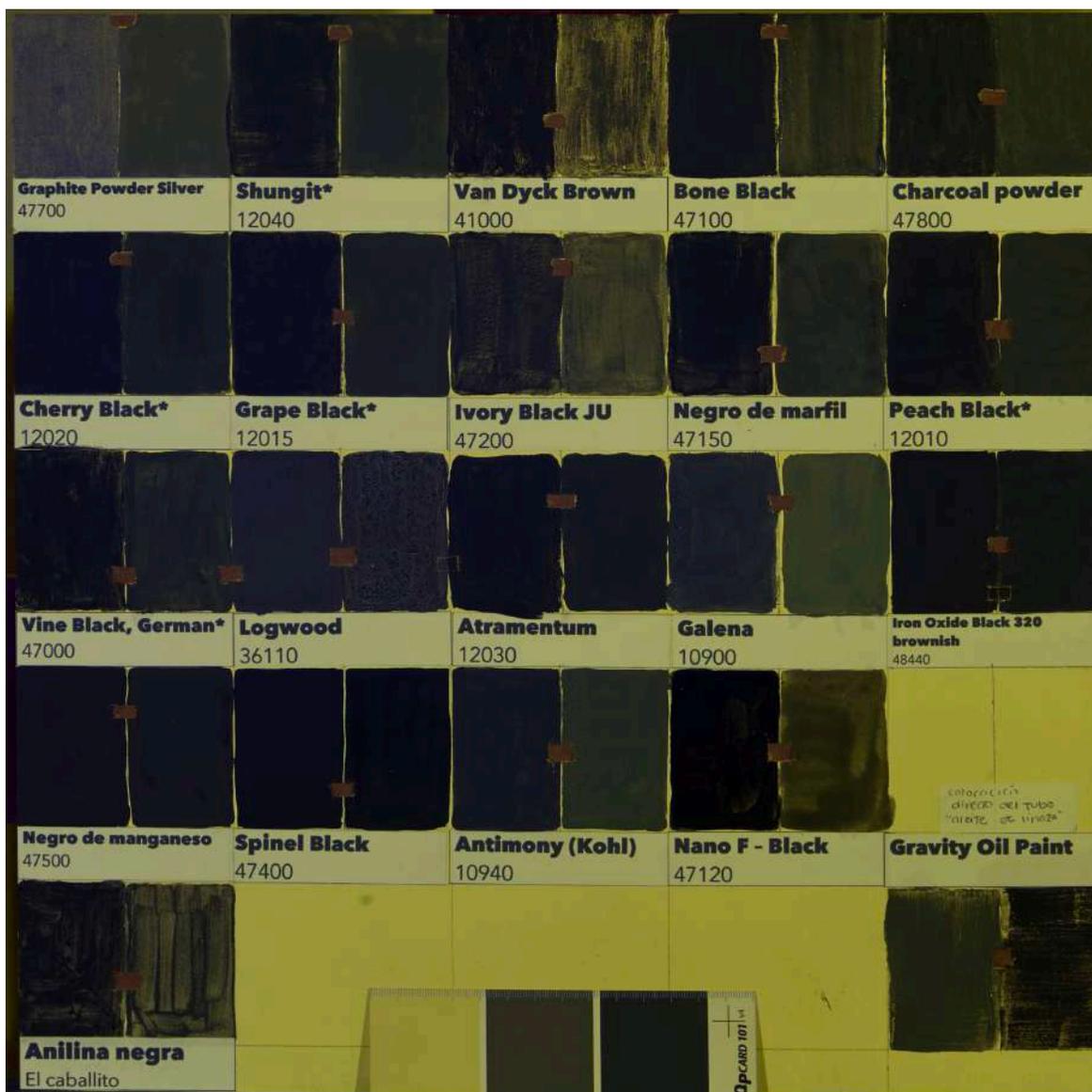


Ilustración 4 Probetas de materiales negros en radiación ultravioleta falso color

La imagen UVFC se capturó en el canal azul de la imagen ME-RUV para posteriormente trasladarla a imagen ME-VIS. Esta operación supone cuatro canales en la imagen; sin embargo, la imagen UVFC se obtiene eliminando el canal rojo de la imagen ME-VIS, y luego de colocar el canal azul de la imagen ME-RUV en el canal azul de la imagen UVFC.³⁶⁶

³⁶⁶Kilian Laclavetine, “Imágenes multispectrales y falso color” en *Informe del estudio técnico y análisis material de la obra: La torre de Babel*, informe inédito, (Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Estéticas, 2021) 7-9.

3. Reflectografía infrarroja

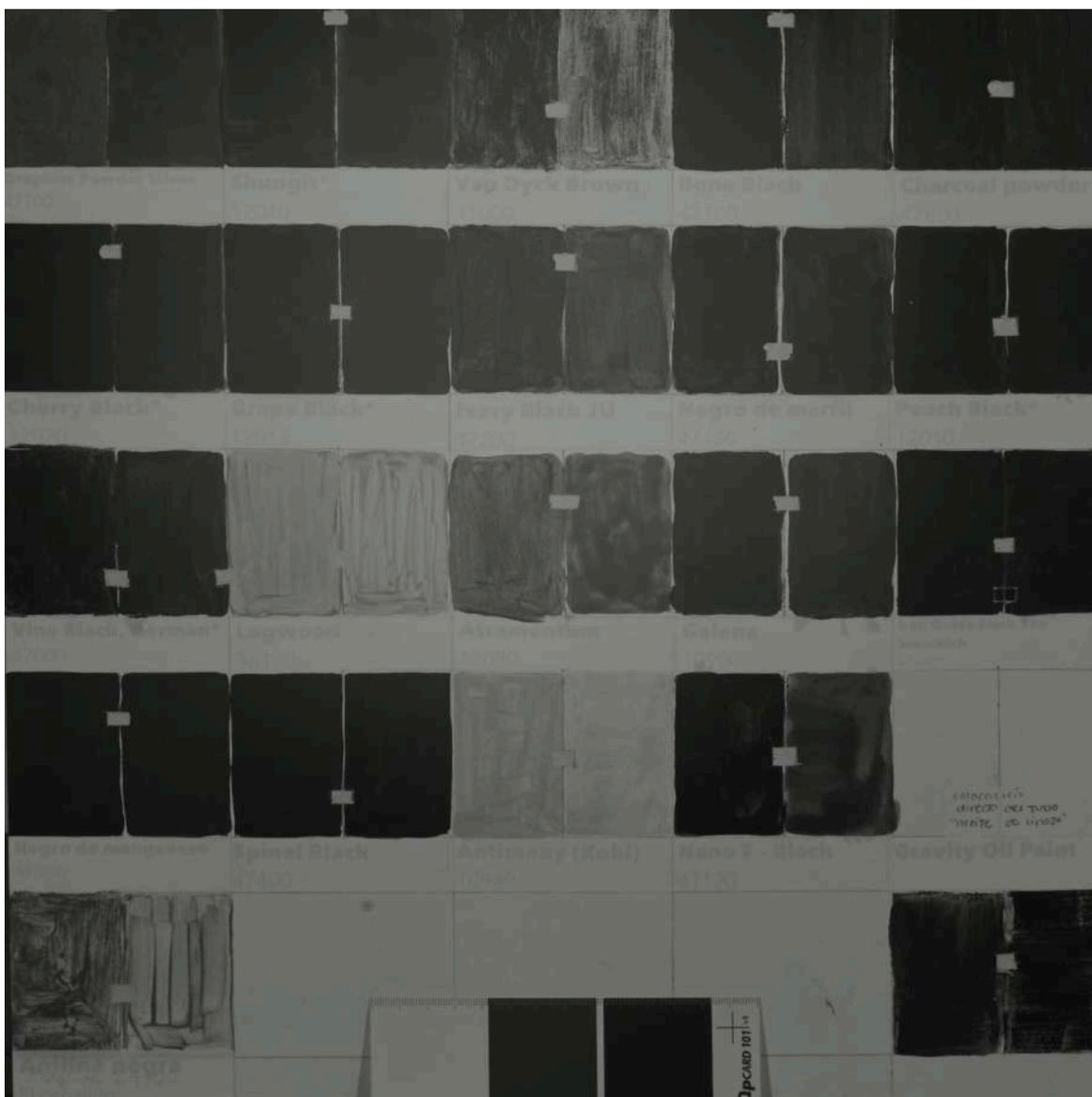


Ilustración 5 Probetas de materiales negros en reflectografía infrarroja

Franz Mairinger en “The infrared examination of paintings” menciona que: “Las propiedades de la radiación infrarroja, su generación, detección e interacción con los materiales es abordada, así como, el amplio espectro de aspectos prácticos en el uso de la radiación infrarroja para el estudio de materiales...”³⁶⁷ En otras palabras, la radiación infrarroja nos permite identificar cómo los materiales interactúan con ella. Materiales que en visible tienen un comportamiento similar analizados a través de la reflectografía infrarroja

³⁶⁷Franz Mairinger, “The infrared examination of paintings” en D.C. Creagh y D.A. Bradley, *Radiation in Art and Archeometry*, (XXX: Elvise Science: 2000), 40.

se muestran completamente diferentes, en este caso sobre todo los materiales orgánicos como los colorantes de palo de Campeche y anilina negra son materiales semitransparentes o transparentes, no así en el espectro visible. Llama la atención también el efecto opuesto que tienen los pigmentos metálicos, tal como el sulfuro de antimonio que es capaz de detener el paso de la radiación infrarroja y reflejar por completo esta longitud de onda, por lo cual se observan brillantes.

La radiación infrarroja invisible fue descubierta en 1800 por Friedrich Wilhelm Herschel, astrónomo germano-británico. De acuerdo con la Constante de Plank “los fotones IR tienen menos energía que la luz visible. Por lo tanto, excitan en las moléculas solo estados vibraciones o rotacionales, sin producir transiciones electrónicas”.³⁶⁸

La radiación infrarroja es capaz de revelar los estratos pictóricos, en la que una parte de la radiación se dispersa y es absorbida por el material; mientras que otra parte de la luz se refleja al incidir sobre los materiales reflejantes como serían los pigmentos compuestos de plomo, de mercurio y de antimonio. La reflectografía infrarroja nos permite ver los dibujos preparatorios en una obra de arte, algunos de ellos realizados con materiales con base de carbono, debido al contraste que se genera con respecto a las preparaciones claras. La radiación infrarroja es absorbida por los materiales con base de carbono y reflejada por las cargas de sulfato o carbonato de calcio, al igual que por los pigmentos de plomo que tradicionalmente se encuentran presentes en los estratos preparatorios de una obra pictórica.

Polvo de carbón vegetal (47800), negro durazno (12010), negro de huesos (47100) y negro de óxido de hierro (48840) destacan en la reflectografía infrarroja, incluso en el sistema pigmento-acrílico-blanco de titanio los materiales se observan opacos y uniformes; en comparación con lo que observamos en el espectro visible, dichos pigmentos que con el blanco generaron capas pictóricas de tonalidades grises, con la RIR se observan negros intensos.

³⁶⁸“IR photons have less energy than visible light. Thus they excite in molecules vibrational or rotational states only, no electronic transitions occur.” Franz Mairinger, “The infrared examination of paintings” en D.C. Creagh y D.A. Bradley U (eds.), *Radiation in Art and Archaeometry*, (XXX: Elsevier Science: 2000), 41.

El grafito (47700), shungit (12040), negro cereza (12020), galena (10900), negro de manganeso (47500) y negro uva (12015) se observan como materiales opacos; sin embargo, la opacidad no es tan intensa como en los pigmentos mencionados en el párrafo anterior. En algunas áreas es posible ver la imprimatura debido a la cantidad de material sobre la superficie, esto se debe a la disolución de las partículas en el acrílico; además, el material negro se observa más afectado en la mezcla gris que resultó de agregar blanco de titanio en comparación al grupo antes referido, aunque son materiales opacos, los coloqué en distintos grupos de opacidad.

Por otro lado, Negro de marfil (47150), Ivory Black JU (47200) y negro de vid (47000) son materiales semiopacos, que en RIR son más cercanos al gris que al negro. Se observan zonas con mayor concentración de material, pero también zonas más translúcidas, su opacidad depende del grosor de la capa pictórica sobre la superficie. Algo similar ocurre con Nano-F Black (47120), sin embargo, no atribuí esa condición propiamente al pigmento hecho con base en nanotubos de carbono, sino a la cantidad de agua y acrílico con la que se comercializa en el material, a este material la adición de 46200 afectó más su opacidad así como su negrura.

Pardo Van Dyck (41000) es un material semitransparente, incluso en los empastes del material se observa un color gris que permite ver el dibujo subyacente. Cuando 41000 fue intervenido por el blanco de titanio se obtuvo un gris claro y translúcido. En ambas aplicaciones se observa la huella del pincel con el que se aplicó el material, así como la distribución del material y sus acumulaciones. El sulfuro de antimonio (Antimony (10940)) es totalmente brillante bajo esta longitud de onda.

El Atramentum (12030) es también un material semiopaco, que no permite el paso de la radiación infrarroja, por lo cual es imposible ver el dibujo preparatorio. En reflectografía infrarroja hecha durante este análisis, el Atramentum (12030) —un material elaborado a partir del ácido tánico de la corteza de roble en reacción con sales de hierro— se aprecia semitransparente, al igual que Antimony (10940) un elemento químico presente en el grupo de los metaloides de la tabla periódica de los elementos químicos, un caso particular es

Logwood (36110) un colorante hecho con base en madera, pero que no atravesó por un proceso de carbonización.

En el caso de Logwood o palo de Campeche (36110) y la anilina observamos materiales completamente transparentes ante la RIR, en algunas zonas presentan manchas que corresponden a la densidad de la capa pictórica, ninguno de estos materiales se vio afectado en el sistema pigmento-acrílico-blanco de titanio, los dibujos subyacentes se pueden observar de manera clara y detallada. La anilina también se muestra transparente al ser un colorante sintético del siglo XIX. Pardo Van Dyck (41000) es el único material que se aprecia semitransparente, pues incluso en las regiones con mayor concentración de pintura es posible mirar las figuras preliminares. El resto de los materiales es opaco, las manchas que aparecen en el material se deben a la cantidad de aglutinante o solvente presentes en la pintura.

3.1 IRFC (infrarrojo de falso color)

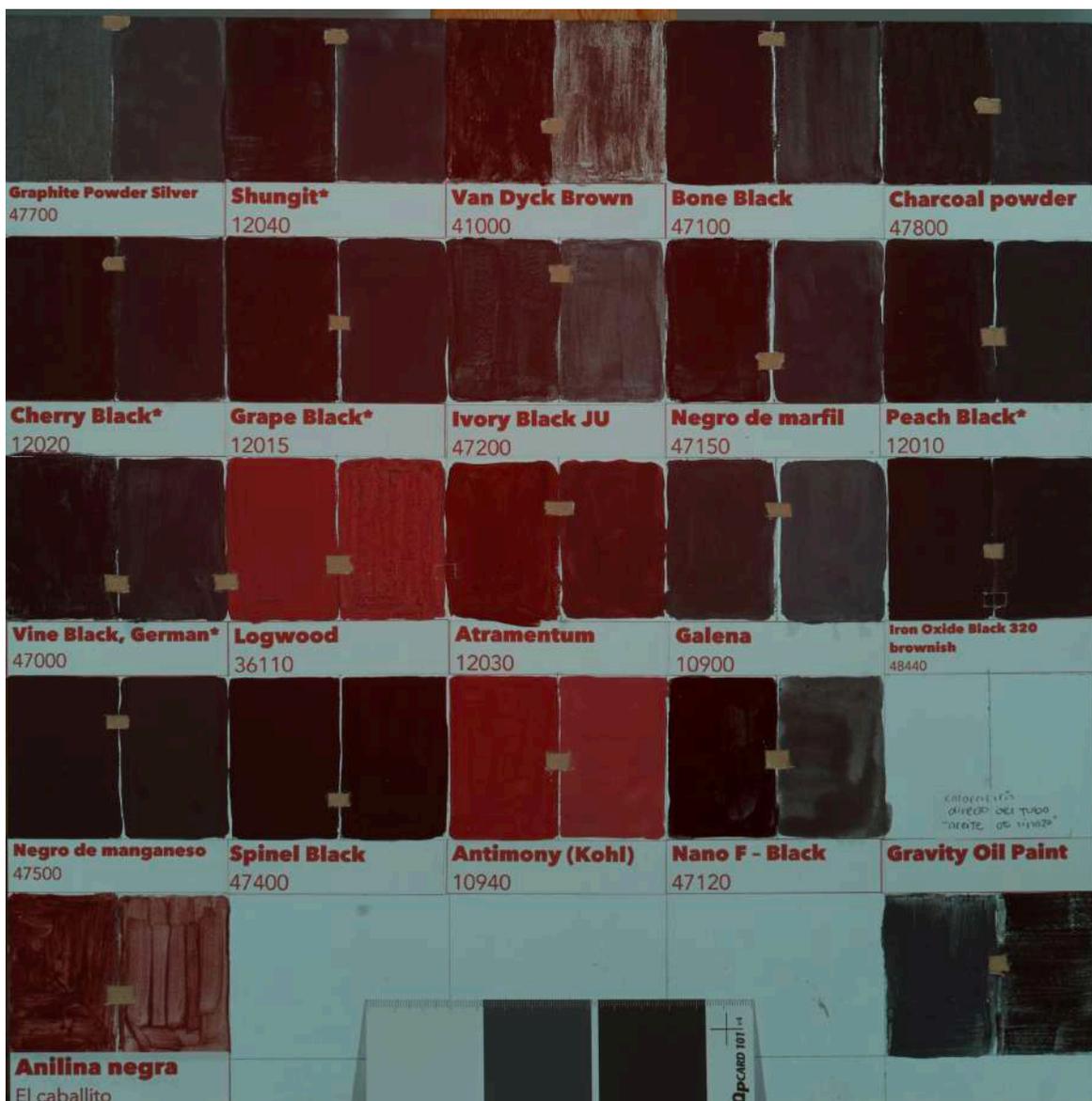


Ilustración 6 Probetas de materiales negros, imagen infrarroja de falso color

“Las imágenes pueden ser estudiadas cambiando las capas entre sí y señalando observaciones basadas en interpretaciones de todas ellas”.³⁶⁹ Esta imagen se capturó en el canal rojo de la imagen ME-RIR para pasarla a la imagen ME-VIS. La imagen se obtuvo luego de eliminar el canal azul de la imagen MEV-VIS, colocando el canal rojo de la imagen

³⁶⁹“the images can then be studied by switching between the layers and marking observations based on interpretations from of all of them [...] Infrared fluorescence photography is used in archaeology to detect even tiny fragments of the pigment Egyptian blue.” Antonio Cosentino, “Infrared technical photography for art examination” en *CHSOS-Cultural Heritage Science Open Source*, núm. 13 (2016): 2.

ME-RIR en el canal rojo de la imagen IRFC (ubicada e el apartado “3. Reflectografía infrarroja”).

En la imagen ME-RIR, se observa que el palo de Campeche, Antimonio y en menor medida el Atramentum presentan un color rojo, mismo comportamiento que presentan algunos pigmentos azules, como el azul egipcio al que se refiere Antonio Cosentino: “entre algunos de los pigmentos históricos que exhiben fluorescencia infrarroja está el azul egipcio, el rojo cadmio, el amarillo cadmio y el verde cadmio [...] La fotografía de fluorescencia infrarroja se utiliza en la arqueología para detectar pequeños fragmentos de azul egipcio”.³⁷⁰ Lo anterior resulta interesante; por ejemplo, para la interpretación de materiales hallados en el modelado de sombras en obras pictóricas elaboradas con pigmentos pardos o negros; por ejemplo, tanto el azul índigo como el azurita, en la obra *El Pentecostés* de Baltasar de Echave Orio, se observan rojizos en la imagen infrarroja de falso color del estudio realizado por M. Pérez, E. Arroyo, J. L. Ruvalcaba, A. Mitrani, M.A. Maynez Rojas y O. G. de Lucio.³⁷¹

El catálogo de materiales negros elaborado como parte del trabajo de investigación doctoral, aspira a ser una referencia que explique y ayude a comprender el comportamiento bajo distintas longitudes de onda de algunos de los pigmentos y colorantes negros más utilizados e identificados en obras de arte. Se contribuye así, a tener una serie de resultados que podrían ser considerados útiles para ahondar sobre la naturaleza y variedad de los materiales usados en el arte y otro tipo de recubrimientos pictóricos. Es cierto que todos los pigmentos con base de carbono se pueden agrupar en el mismo grupo de materiales, ya que solo es posible diferenciarlos por su método de obtención y manufactura; sin embargo, este catálogo nos permite percibir y confirmar las diferencias entre estos materiales, las cuales derivan de sus

³⁷⁰“among historical pigments Egyptian blue, cadmium red, cadmium yellow and cadmium green exhibit infrared fluorescence.” Antonio Cosentino, “Infrared technical photography for art examination” en *CHSOS-Cultural Heritage Science Open Source*, núm. 13 (2016): 5.

³⁷¹M. Pérez, E. Arroyo Lemus, J.L. Ruvalcaba Sil, A. Mitrani, M.A. Maynez-Rojas, O.G. de Lucio. “Technical non-invasive study of the novo-hispanic painting the Pentecost by Baltasar de Echave Orio by spectroscopic techniques and hyperspectral imaging: In quest for the painter’s hand.” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 250 (2021): 4. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119225>

propiedades fisicoquímicas y de su comportamiento ante distintas longitudes de onda, así como por su análisis microscópico y la identificación de su composición elemental.

Reflexión final

Con el advenimiento del arte abstracto, distintas disciplinas se alejaron de los procesos de representación figurativa, esta especie de autonomía secular trajo consigo a otros objetos artísticos o artefactos visuales que necesitan otras formas de pensarlos. El estudio de los nanotubos de carbono representa una oportunidad para acercarnos a la comprensión de la cultura visual contemporánea ya que, como espacio y superficie de absorción casi absoluta de la luz, la experiencia frente a los nanotubos de carbono supone una analogía del vacío, de estar frente al abismo, una experiencia inédita. Los nanotubos de carbono son un vacío nanométrico que al mismo tiempo nos permite comprender la fuerza gravitatoria de los agujeros negros en el macrocosmos. Este material invita a pensar al negro como un espacio en el que no existe el vacío porque se llena a sí mismo de oscuridad. En esta concepción del espacio lleno de vacío subyace un vacío análogo que aparece detrás del vacío literal, que de alguna manera lo oculta.

El origen y empleo de los nanotubos de carbono empata con el descubrimiento de la materia oscura, un elemento del universo que al no interactuar con la luz parece invisible ante los sistemas de detección óptica de los telescopios; sin embargo, su interacción con la gravedad permite que la comunidad científica afirme que corresponde al 27% de materia en el universo. Los nanotubos de carbono generan imágenes “vacías”, casi imperceptibles, la negación del color, de la perspectiva, la tridimensionalidad de los objetos, un material “invisible” capaz de negarlo todo menos a sí mismo pues aparece en la plenitud de su oscuridad, una imagen mental sobre lo desconocido. “La nanoestructura del Vantablack (en realidad de los nanotubos de carbono) es tan pequeña que prácticamente [...] descansa en el borde liminal entre una cosa imaginada y una cosa real. Es una cosa física que no puedes ver”.³⁷²

³⁷²“The nanostructure of Vantablack is so small that rests on the liminal edge between an imagined thing and an actual one. It’s a physical thing that you cannot see, giving it a transcendent or even transcendental dimension, which I think is very compelling.” Anish Kapoor en entrevista con Julian Elias Bronner, “Anish Kapoor talks about his work with the newly developed pigment Vantablack” en *Artforum*, abril de 2015, consultado 20 de junio de 2020, <https://www.artforum.com/interviews/anish-kapoor-talks-about-his-work-with-the-newly-developed-pigment-vantablack-51395> Entre paréntesis más.

La materia oscura descubierta en 1933 por Fritz Zwicky es el mejor ejemplo de las frágiles fronteras entre lo real y lo imaginado, su teorización coincide también con los estudios preliminares sobre el grafeno. Pese a que todavía se desconocen la mayoría de las propiedades de la materia oscura, se sabe que pesa por sus interacciones gravitatorias, que carece de carga eléctrica y sobre todo que no interactúa con la luz, será esta característica la que le da el nombre de “oscura”, pero no es la misma oscuridad que la de los agujeros negros, no es oscura, es más bien transparente. La materia oscura, en realidad translúcida, nos refiere a dos problemas a los que hice referencia en el apartado sobre el color, ambos tienen que ver con Isaac Newton; el primero, el negro no pertenece al espectro cromático pues no se observa en la descomposición de la luz blanca; el segundo, lo que él llamó éter en *Óptica: o un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* está presente por igual en lo transparente y lo oscuro.

La agencia del negro de los nanotubos de carbono se propone a sí misma como paradigma de lo oscuro, una experiencia estética a través de la corporalidad, una oscuridad que es posible comprender en tanto que es examinada. Wilhelm Ostwald escribió en una carta dirigida a B. Oud: “No hay nada más subjetivo que la reacción frente al color, basada en la naturaleza concreta de cada individuo”.³⁷³ ¿Qué vemos cuando vemos al negro? ¿Qué tan negro es el negro que vemos? La relación que establecen los nanotubos de carbono entre el vacío literal y el vacío metafórico es en gran medida una de las contribuciones que hace este material a la historia cultural del negro, una experiencia del vacío. Por un lado, los nanotubos de carbono dan continuidad al circuito de la oscuridad descrito por Noam M. Elcott; por el otro, inician una discusión sobre el negro absoluto, una carrera que apenas inicia. Es necesario esperar para ver cómo este material más fuerte que el acero y más frágil que las alas de una mariposa soporta los efectos corrosivos de la historia, esa es una discusión que no podemos anticipar, sobre todo porque sus aplicaciones se han llevado a cabo en un marco comercial por breves periodos.

Los nanotubos de carbono tienden un puente entre el arte contemporáneo y el conocimiento científico, hacen de la tecnología del color un problema transversal para la historia del arte,

³⁷³Gage, *Color y cultura*, 259.

no solo por su estudio, sino porque evidencian que elegir un negro es asumir lo que nos permite hacer y obtener a través del proceso manufactura y aplicación sobre una superficie; este proceso técnico está estrechamente relacionado con el contexto, con sus condiciones de posibilidad. Las propiedades fisicoquímicas de los materiales son tan importantes como sus funciones sociales e incluso sin conocer sus propiedades fisicoquímicas a profundidad, su agencia se nos presenta como una intuición a partir de la cual comenzamos a construir sus significados. En “How materials make meaning”, Lehmann escribe: “Las cualidades visuales y hápticas de los materiales, por ejemplo, guían la elección del tema, el estilo personal y de época, así como la percepción estética”.³⁷⁴

La investigación aspira a permanecer como un registro del uso de los nanotubos de carbono, una breve narración de cómo se insertaron en la discusión estética e historiográfica de la producción contemporánea y de su relevancia como un agente de la cultura material de nuestra época. Los nanotubos de carbono nos interpelan y nos confrontan con una oscuridad que se comprende a través de la experiencia y que se distingue de las agencias de otros materiales negros. El programa de estético de Frederick de Wilde iniciado hace once años es fundamental para pensar el vínculo entre la ciencia y el arte, pues visibilizan una serie de relaciones entre la materia del artefacto, el artefacto visual, su manufactura, su relación con el espacio y las audiencias; el trabajo de Jason Chase nos obliga a reconocer las aporías de los nanotubos de carbono al utilizarlos mediante estrategias pictóricas. Queda pendiente, reflexionar sobre la interacción que *el artista de la sospecha* entable con el Vantablack S-VIS en 2022.

En este sentido, será preciso continuar la investigación sobre el rumbo que podrían tomar nuevas u otras técnicas no pictóricas para trabajar con los nanotubos de carbono, una técnica alterna a la deposición química de vapor, así como la integración o los aportes de otros pigmentos nanoestructurados en lo referente a la tecnología del color. Del mismo modo, me

³⁷⁴“Materials ‘visual and haptic qualities, for instance, guide the choice of subject matter, personal and period style as we as aesthetics perception”. Ann-Sophie Lehmann, “How materials make meaning” en Ann-Sophie Lehmann, Frits Scholten, H. Perry Chapman (eds.) *Meaning in materials, 1400-1800* (Leiden: Boston. 2012) 7.https://www.academia.edu/69180069/Ann_Sophie_Lehmann_How_Materials_Make_Meaning_Netherlands_Kunsthistorisch_Jaarboek_NKJ_Netherlands_Yearbook_for_History_of_Art_Vol_62_2012_MEANING_I_N_MATERIALS_1400_1800_6_27

interesaría ampliar el estudio comparativo de materiales negros, integrando al grafeno u otros grafitos, al negro sepia y materiales como la obsidiana que molida arroja un gris tenue alejado de la oscuridad del vidrio volcánico. Dar seguimiento también a otras aplicaciones del Vantablack VBx2 y S-VIS, como el reloj Venturer Vantablack Black Hands limitado a 50 piezas [img. 155] diseñado por H. Moser & Cie y comercializado en 75 mil dólares,³⁷⁵ o el reloj de Chronotechna³⁷⁶ [img. 156] vendido por 389 euros recubierto con nanotubos de carbono, pero de los que la compañía no brinda detalles de fabricación. Así como los proyectos de entretenimiento de PRG y de acuerdo con Ben Jensen,³⁷⁷ las aplicaciones automotrices que Surrey NanoSystems está desarrollando en nuestro país.

En la introducción de la investigación anticipé que el negro, el negro casi absoluto de los nanotubos de carbono, más que ser una respuesta era un problema, en sí es una pregunta que permanecerá abierta, pues como anticipó Lehmann en *Meaning in materials*: “hacer énfasis en la naturaleza compleja, transformadora e incluso inefable de los materiales, sugiere que pensarlos no es una tarea fácil”.³⁷⁸ No hay tal cosa como una naturaleza del negro, es preciso reconocer que cada pigmento, colorante o material se corresponde con la materia prima, su proceso de producción, de los materiales con los que interactúan en el artefacto visual, su composición fisicoquímica, su comportamiento frente a diferentes longitudes de onda, la textura de sus partículas y su morfología, entre otras características que participan activamente en su manera de ser y estar en el mundo como agentes sociales.

Por ejemplo, en el catálogo de materiales negros observamos que la ferita de manganeso (negro espinela) es el material más opaco, saturado y uniforme, la observación en microscopía demostró que sus partículas no presentan brillo ni birrefringencia, características fundamentales en el material para obtener una pintura con un bajo índice de reflectancia; a diferencia del grafito que, además de no ser un material negro sino gris

³⁷⁵ James Stacey, “Introducing The H. Moser & Cie Venturer Vantablack Black Hands (Live Pics & Pricing).” en *Hodinkee*. Nueva York: abril, 2020. <https://www.hodinkee.com/articles/the-h-moser-and-cie-venturer-vantablack-black-hands-introducing> [consultado en enero de 2022]

³⁷⁶ Cheryl Chia, “Introducing the “Blackest Black” Wristwatch for under US\$500” en *SJX*. Singapur: 2018. <https://watchesbysjx.com/2018/10/chronotechna-blackest-black-watch.html> [consultado en enero de 2022]

³⁷⁷ Ben Jensen, mensaje de Instagram al autor, 23 de julio, 2021.

³⁷⁸ “The reoccurring emphasis in the text on material's complex, dynamic, transformative and even ineffable nature suggest that following materials is not an easy task”. Lehmann, “How materials make meaning,” 10.

presenta birrefringencia y brillo, cualidades que se explican en la apariencia metálica observada en las probetas. En cuanto a textura y tamaño de las partículas, teniendo otra vez como referencia al negro espinela, observamos que tiene partículas de 1 μm , mientras que las de pardo Van Dyck miden cuando menos 40 μm , este un aspecto que es fundamental para pensar en la dispersión y adhesión de las partículas con el aglutinante y que podemos observar en la película irregular obtenida en el caso del pardo Van Dyck.

Las técnicas de imagología (ME-VIS, ME-UVR, UVFC, ME-RIR y IRFC) nos permitieron ampliar nuestro conocimiento sobre lo negro, ver más allá de lo que nuestra mirada alcanza a distinguir en el espectro visible, develar lo translúcido en lo opaco de materiales sintéticos y orgánicos. Aunque en la galena y el antimonio se identificó un porcentaje importante de plomo, los materiales no muestran un comportamiento similar (rojizo) en la imagen infrarroja falso color. Qué elementos fisicoquímicos comparten el palo de Campeche y el Antimonio para observarse rojizos en la misma imagen, o qué reacciones establecen los elementos químicos entre sí a pesar de ser materiales tan disímiles en cuanto a su procedencia y proceso de manufactura; como estas hay un conjunto amplio de preguntas a desarrollar, esta investigación es solo un preámbulo de lo que es posible investigar desde este campo de conocimiento acerca del negro.

Es un reto intelectual entender cómo se comportan los materiales, cuál es su agencia a nivel individual y como parte de un sistema de medios y entes físicos, que influyen en la elección intencional de las y los artistas para ensamblar sus obras. Los materiales negros, no son objetos, sino agentes. Para Tarabukin “El pintor moderno se distingue por la especial reverencia que profesa a sus materiales, hasta el punto de que cuando está trabajando con colores procura producir con ellos una sensación material al mismo tiempo que la propia sensación cromática”.³⁷⁹ Las relaciones que fundan o las conversaciones que inician los nanotubos de carbono existen en la medida en la que los agentes sociales se identifican entre sí. Las y los artistas reverencian a los materiales de su tiempo “porque tienen una percepción aguda del tiempo presente”.³⁸⁰ Por eso era fundamental escribir esta reflexión, como un

³⁷⁹ Nikolai Tarabukin en Gage, *Color y cultura*, 267.

³⁸⁰ Nikolai Tarabukin, *El último cuadro. Del caballete a la máquina/Por una teoría de la pintura*. (Barcelona: Gustavo Gili, 1977) 58.

acompañamiento del ahora y quizá como uno de los primeros trabajos sobre los nanotubos de carbono escritos desde la historia del arte. Intenté comprometer mi narración con el material y mantenerla al margen de la mercadotecnia y la propaganda sin perder de vista que estos aspectos han sido claves.

La investigación me permitió retomar un conjunto de conceptos y categorías teorícometodológicas, pero también identificar eventos o sucesos que me invitan a continuar, a profundizar en la vastedad de materiales negros que se encuentran disponibles en el siglo XXI. El texto es una lectura abierta que genera preguntas e hipótesis, una reflexión necesaria del presente sobre los agentes sociales o no-humanos, un ejercicio histórico coyuntural entre el pasado inmediato, el presente y los futuros posibles, esta es una historia “de lo inacabado, de lo que carece de perspectiva temporal (de una historia de procesos aún en desarrollo) y definitivamente ligada con la cotidianeidad [...] una historia que va moviendo sus márgenes con el devenir mismo del tiempo histórico”.³⁸¹ El negro seguirá resignificándose, pero si los nanotubos de carbono son nuestro agente, la materialidad será cómo sus historias, vínculos y relaciones intervienen en ese acontecer.

³⁸¹Eugenia Allier Montaña, “Ética y política en el historiador del tiempo presente” en *Teoría de la Historia Vol. 1*, ed. Alfonso Mendiola y Luis Vergara Anderson (México: Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM: 2014) 152. Sin afirmar que esta investigación aspira a ser un ejercicio de la historia del tiempo presente (del arte contemporáneo), encuentro trazas entre esta área del conocimiento historiográfico y mi investigación.

Imágenes

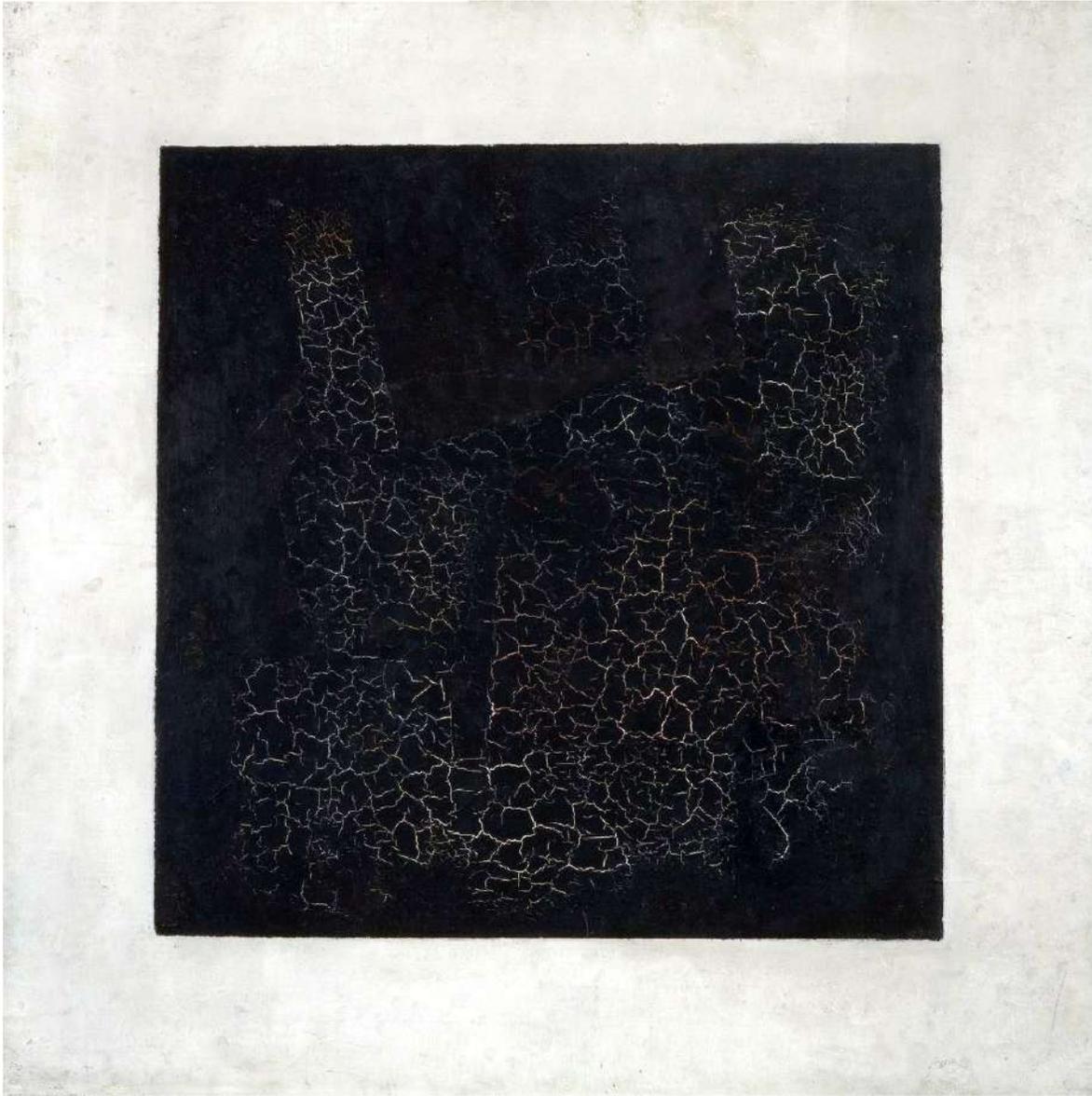


Imagen 1

Black square (Чорны квадрат)

Kazimir Malevich

1915

Óleo

79,5 × 79,5 cm

Miguel Calvo Santos. *HA!*

Imagen obtenida en <https://historia-arte.com/obras/cuadrado-negro-sobre-fondo-blanco-de-malevich>

[Consultado julio, 2021].

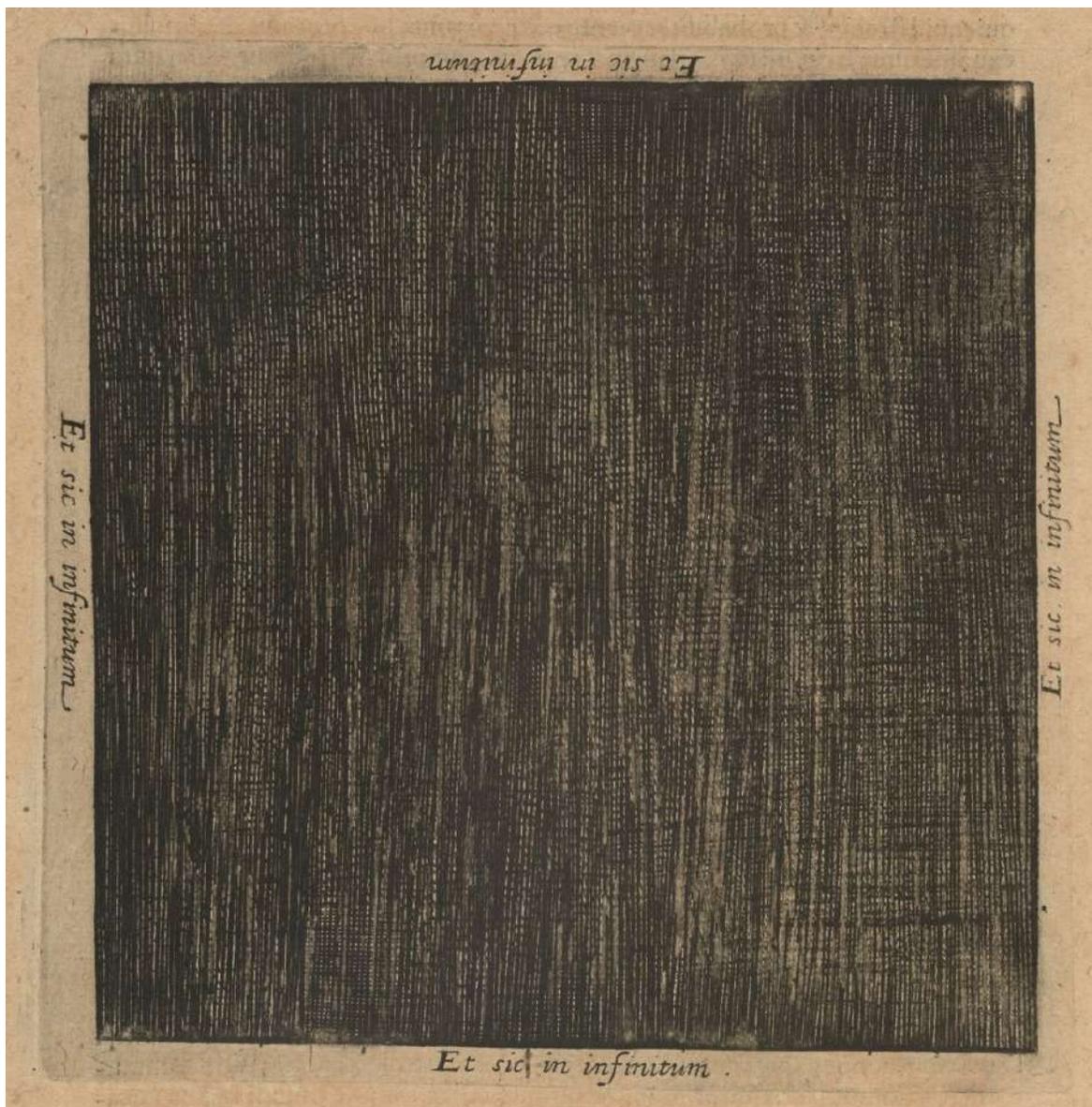


Imagen 2

Et sic in infinitum (De tenebris & privatione)

Robert Fludd

1671

Tinta sobre papel

Getty Research Institute

Imagen obtenida en <https://archive.org/details/utriusquecosmima01flud/page/n33/mode/2up> [Consultado julio, 2021].

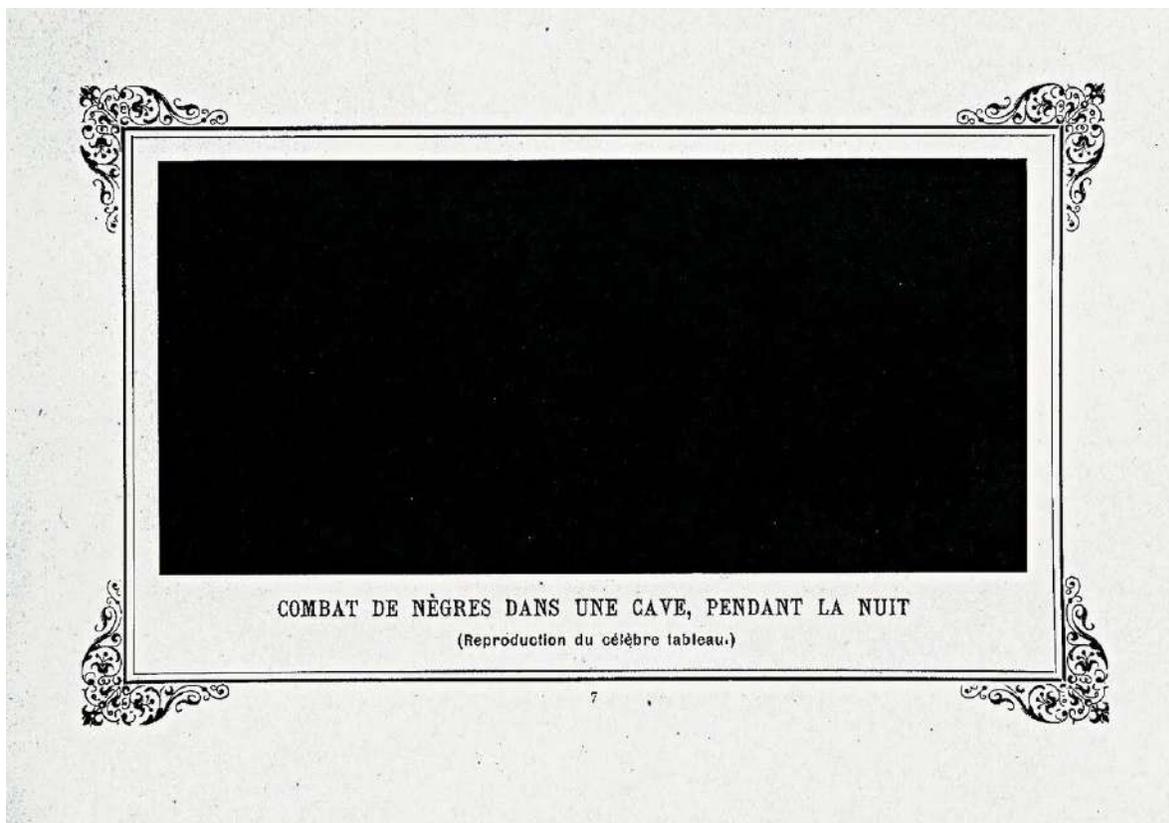


Imagen 3

Negroes Fighting in a Tunnel at Night

Paul Bilhaud

1882

Versión Alphonse Allais (1887), *Album primo-avrilesque*.

LiveJournal, imagen obtenida en <https://humus.livejournal.com/3407549.html> [Consultado julio, 2021].



Imagen 4 (frame)

Le peintre néo impressionniste

Émile Cohl

1910

Musée Gaumont Collection

Imagen obtenida en <https://www.youtube.com/watch?v=qNMLe5YDZ94&t=186s> [Consultado julio, 2021].

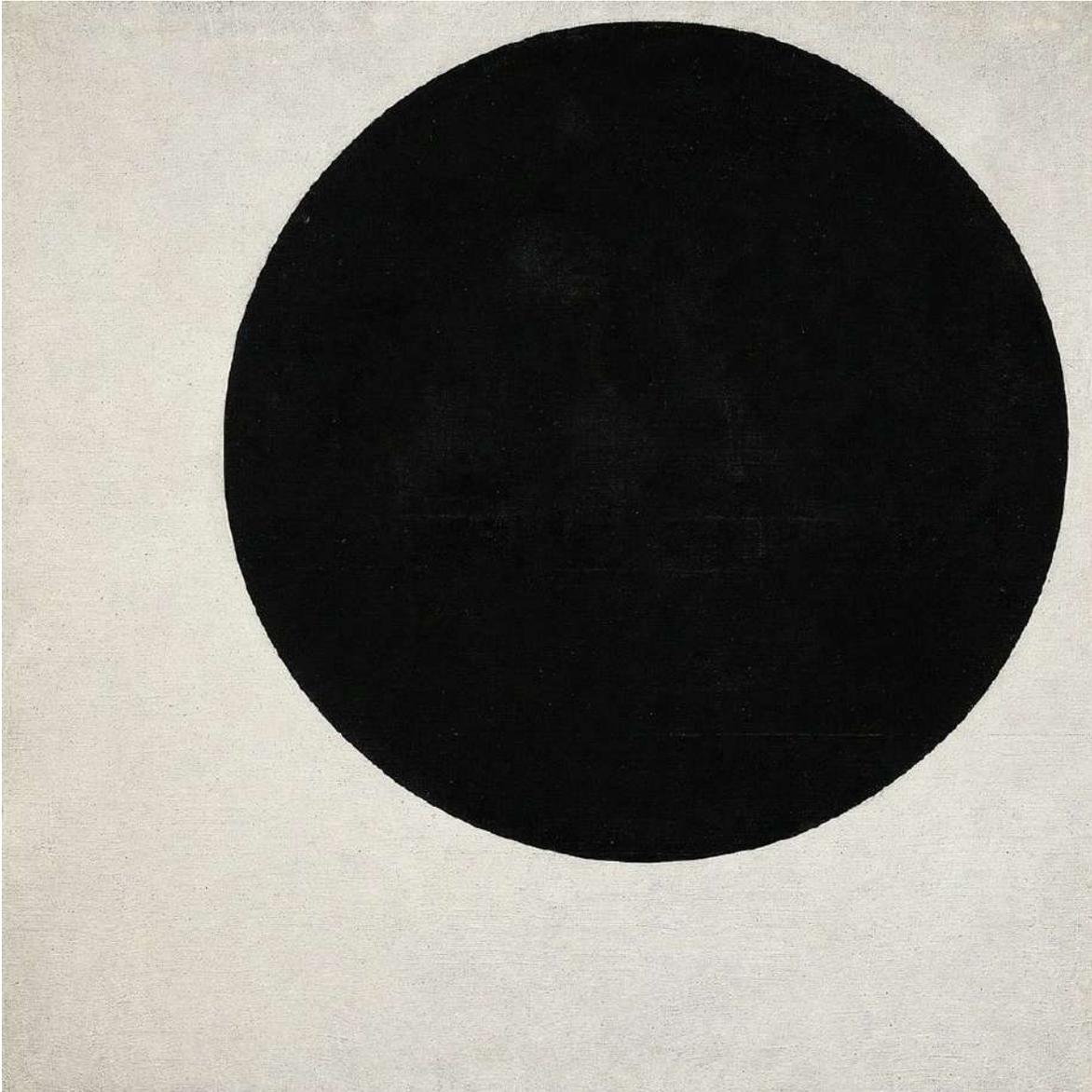


Imagen 5

Black Circle

Kazimir Malevich

1923

Óleo sobre tela

105,5 × 106 cm

National Gallery of Art, Washington, D.C., Erich Lessing / Art Resource, NY

Imagen obtenida en <https://www.artsy.net/artwork/kasimir-severinovich-malevich-black-circle> [Consultado julio, 2021].

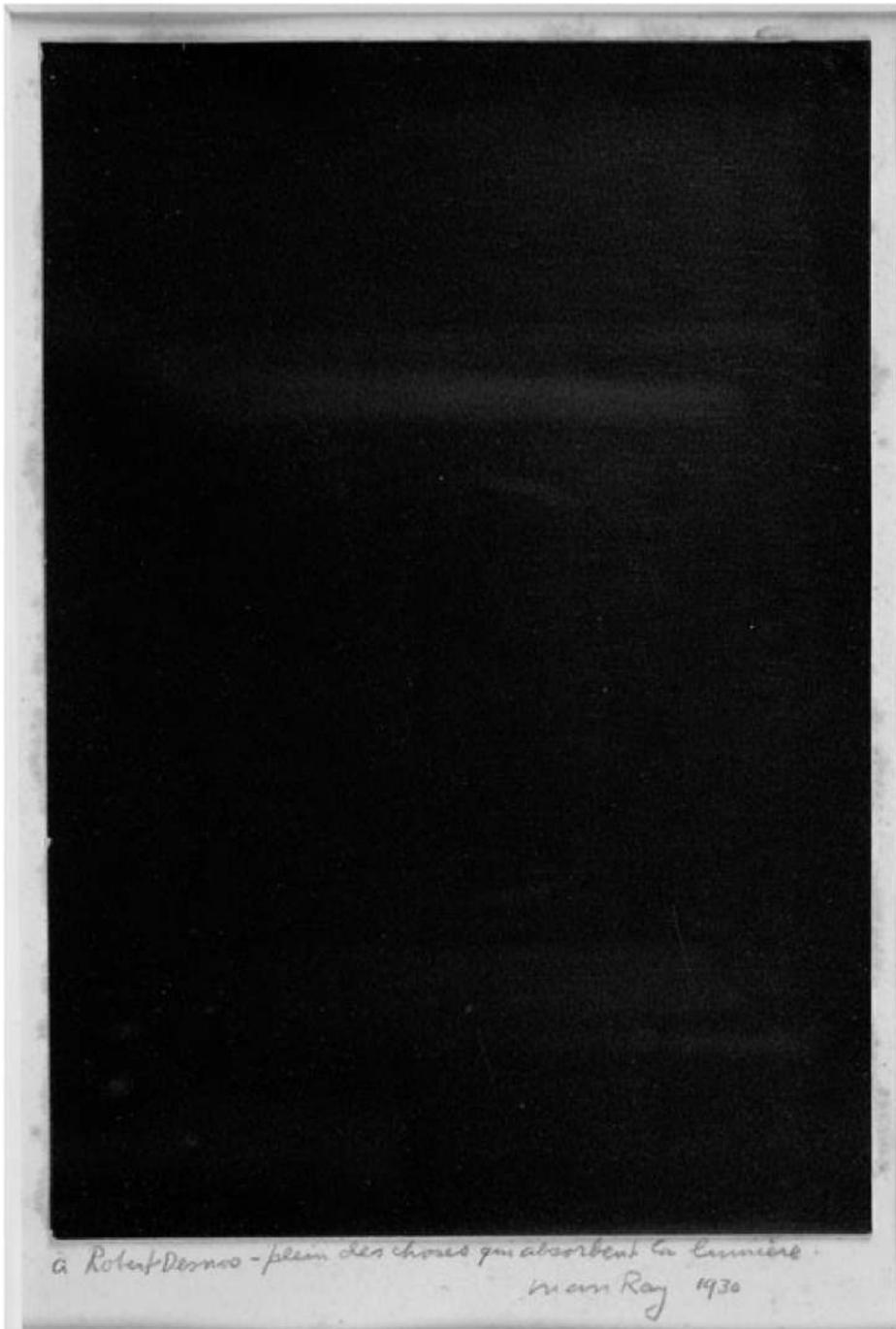


Imagen 6

Untitled rayograph

Man Ray

1930

Rayograma

Artists Rights Society, NY.

Imagen obtenida en Noam M. Elcott, *Artificial Darkness. An obscure history of modern art and media*, (Chicago: University of Chicago Press, 2016), 4.

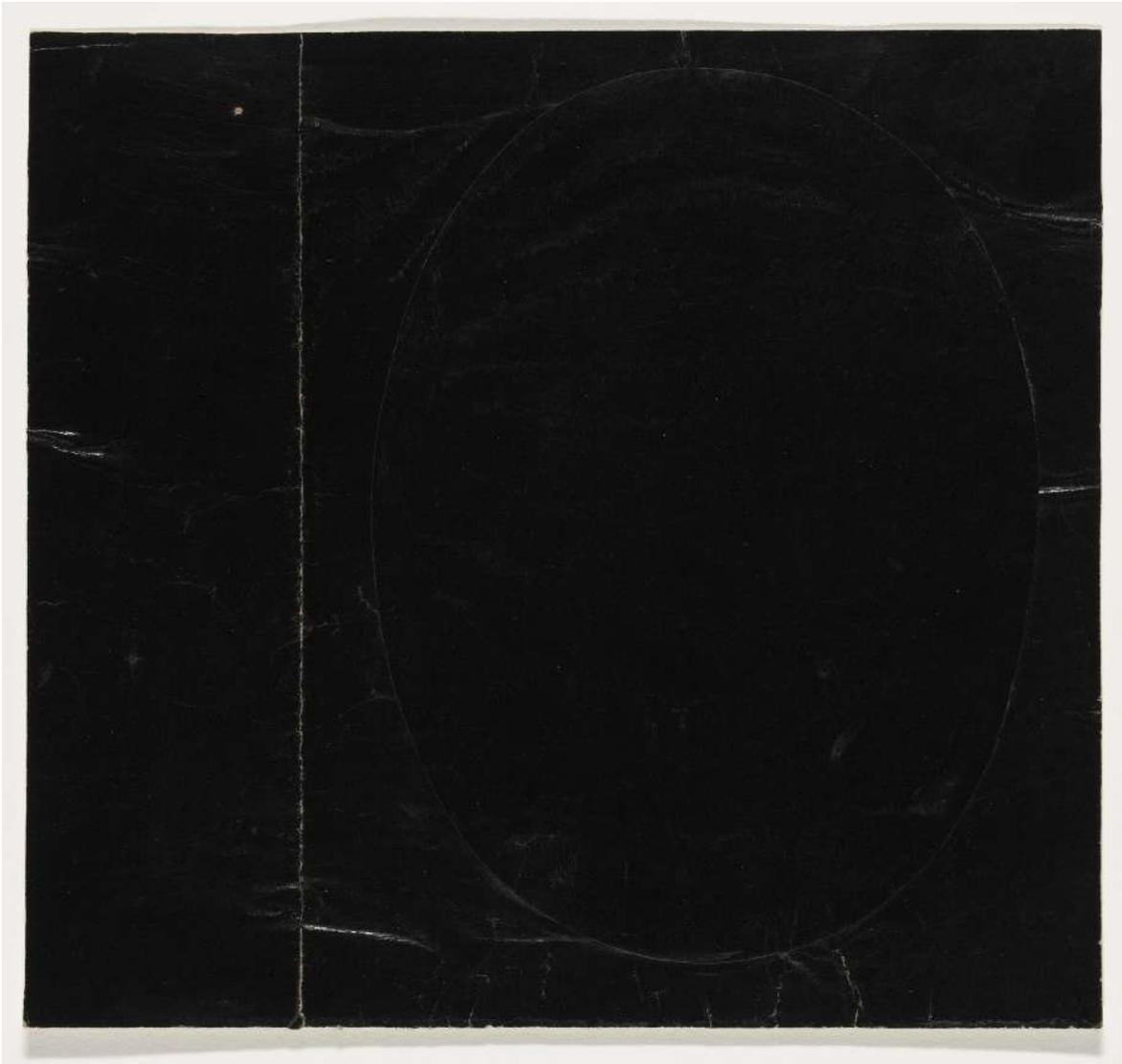


Imagen 7

Black on Black

Ellsworth Kelly

1951

Papel recubierto de color cortado y pegado sobre papel recubierto de color sobre papel

19 × 20.3 cm

Imagen obtenida en <https://www.moma.org/collection/works/109766> [Consultado julio, 2021].

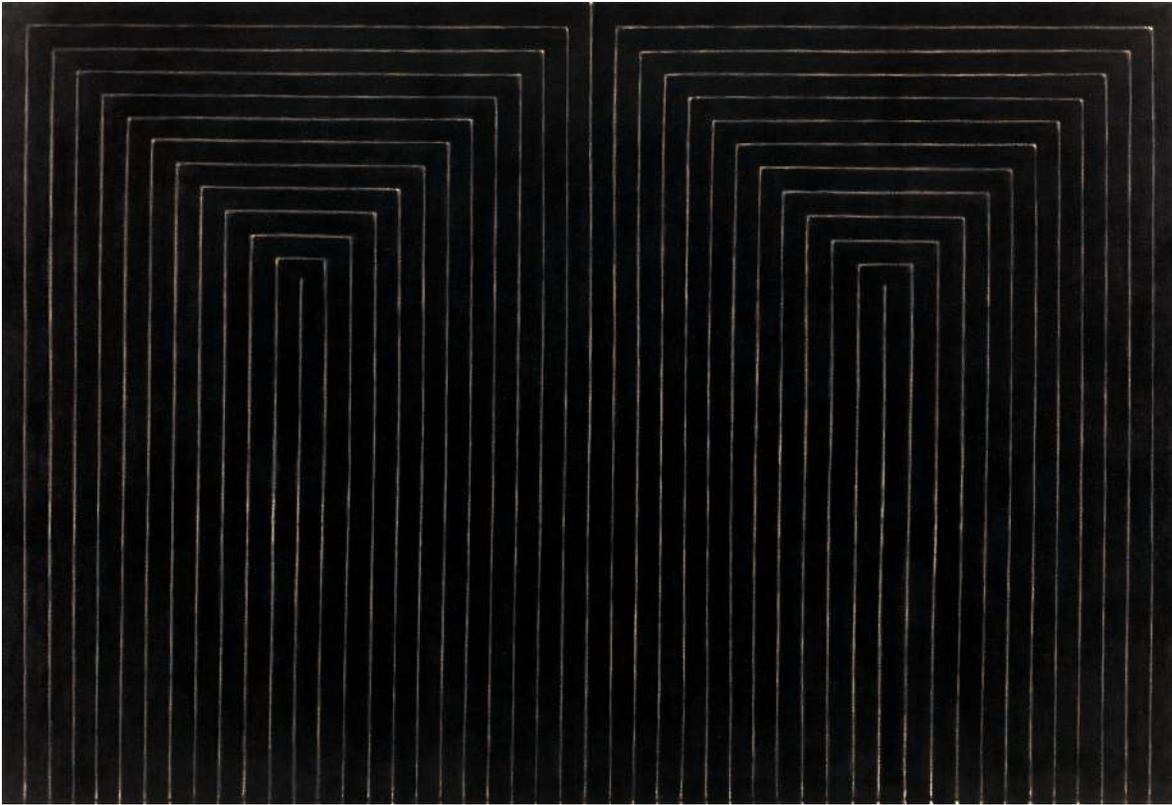


Imagen 8

The Marriage of Reason and Squalor II

Frank Stella

1959

Óleo sobre tela

230.5 × 337.2 cm

Imagen obtenida en <https://historia-arte.com/obras/el-matrimonio-de-la-razon-y-la-miseria-ii> [Consultado julio, 2021].

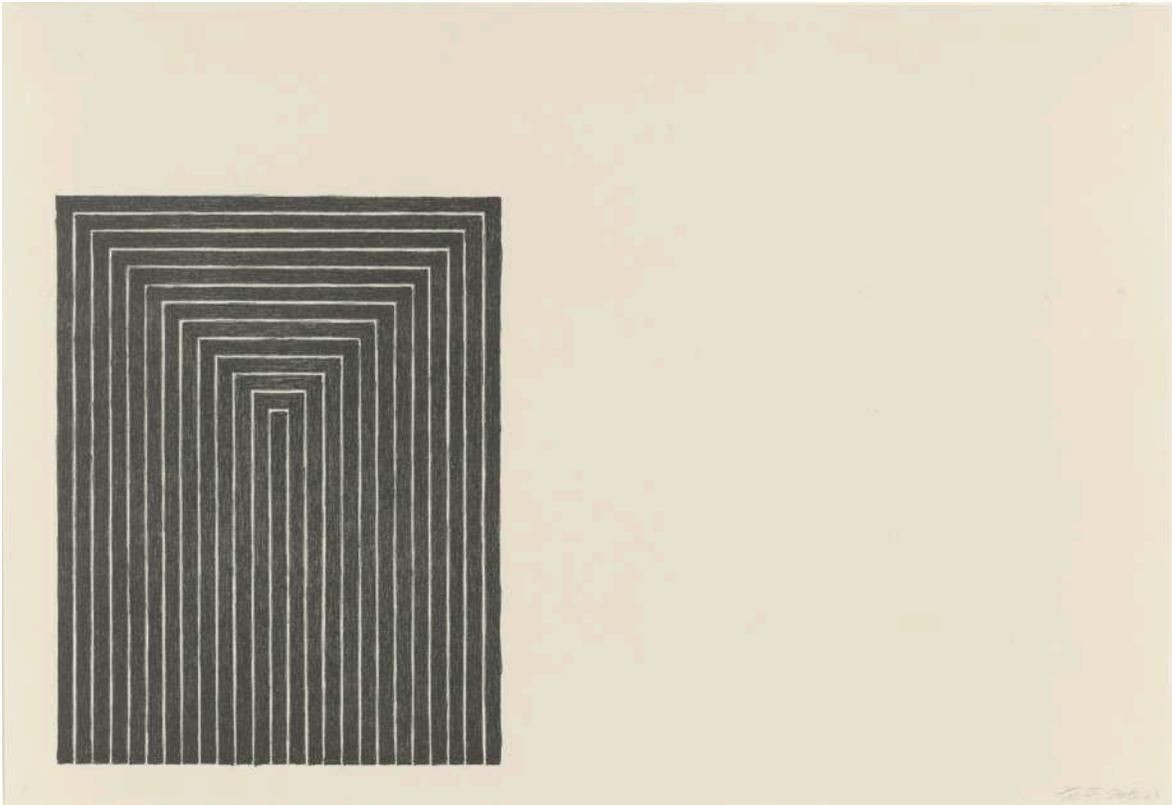


Imagen 9

Black Series I (Clinton Plaza)

Frank Stella

1967

Litografía

38.5 × 55.5 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.moma.org/collection/works/61213> [Consultado julio, 2021]

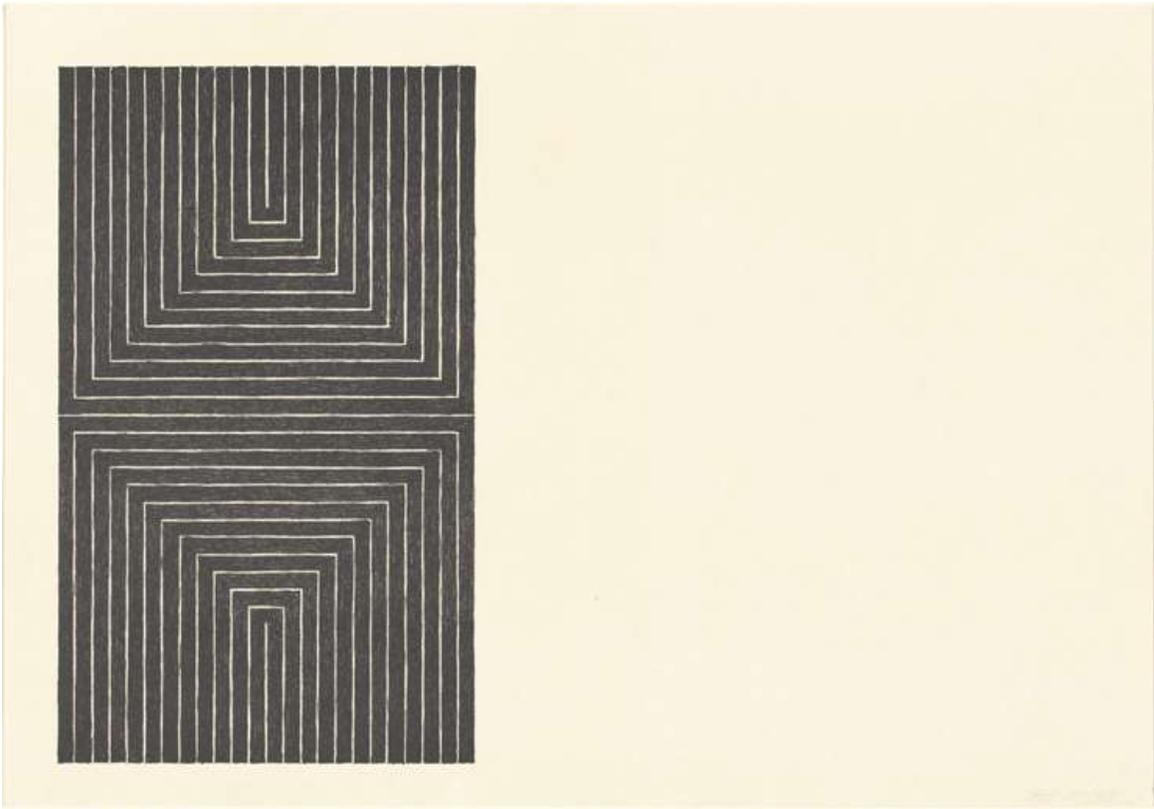


Imagen 10

Black Series I (Arundel Castle)

Frank Stella

1967

Litografía

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

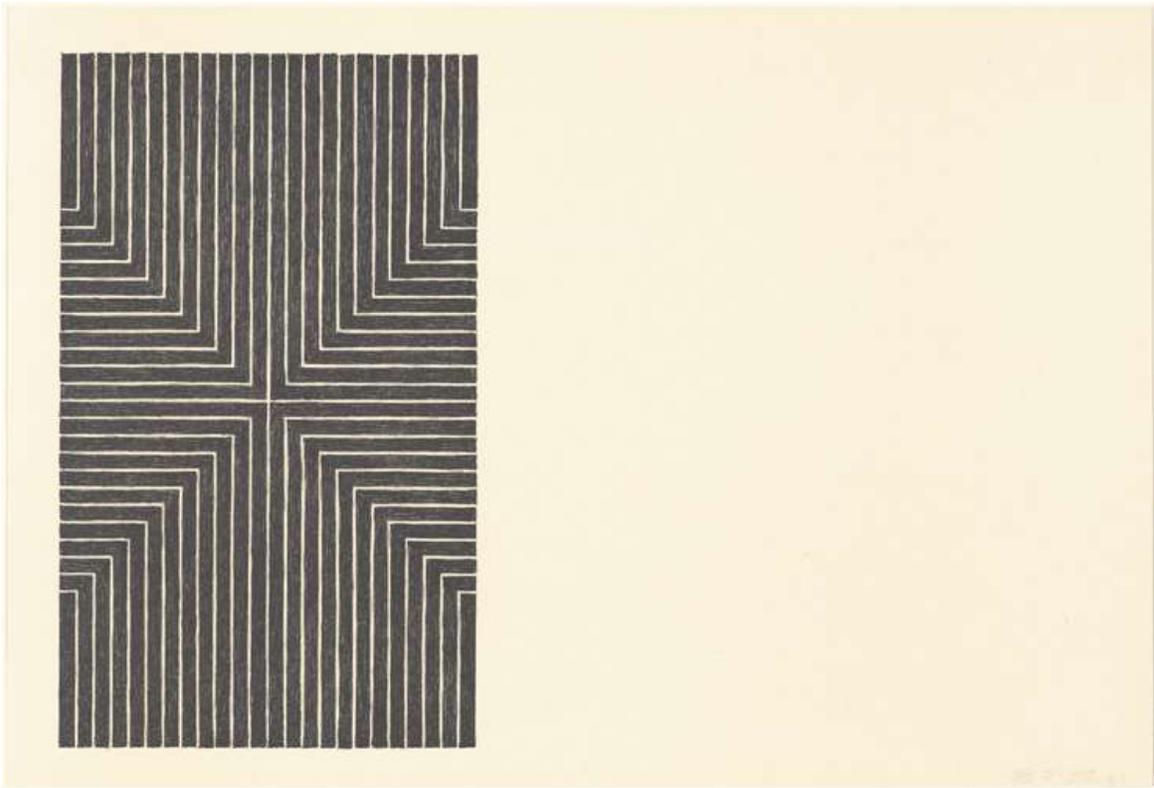


Imagen 11

Black Series I (Die Fahne Hoch!)

Frank Stella

1967

Litografía

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

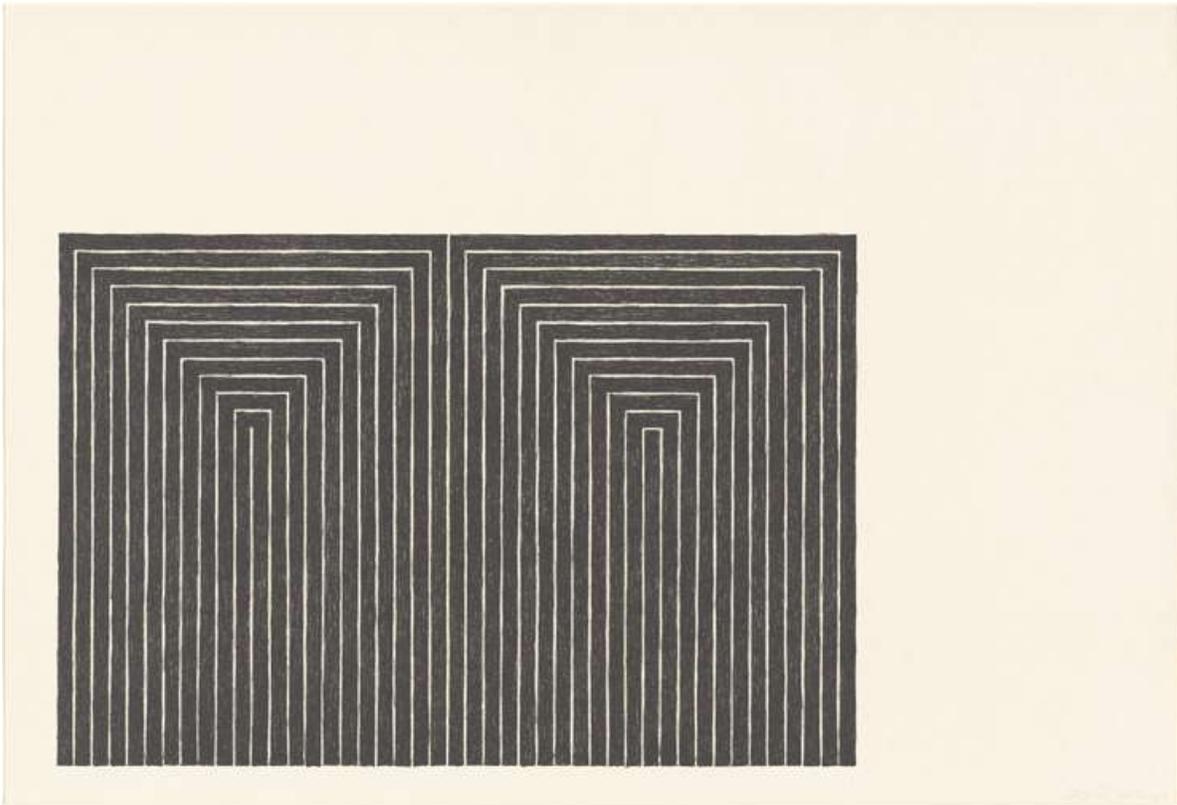


Imagen 12

Black Series I (Marriage of Reason and Squalor)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

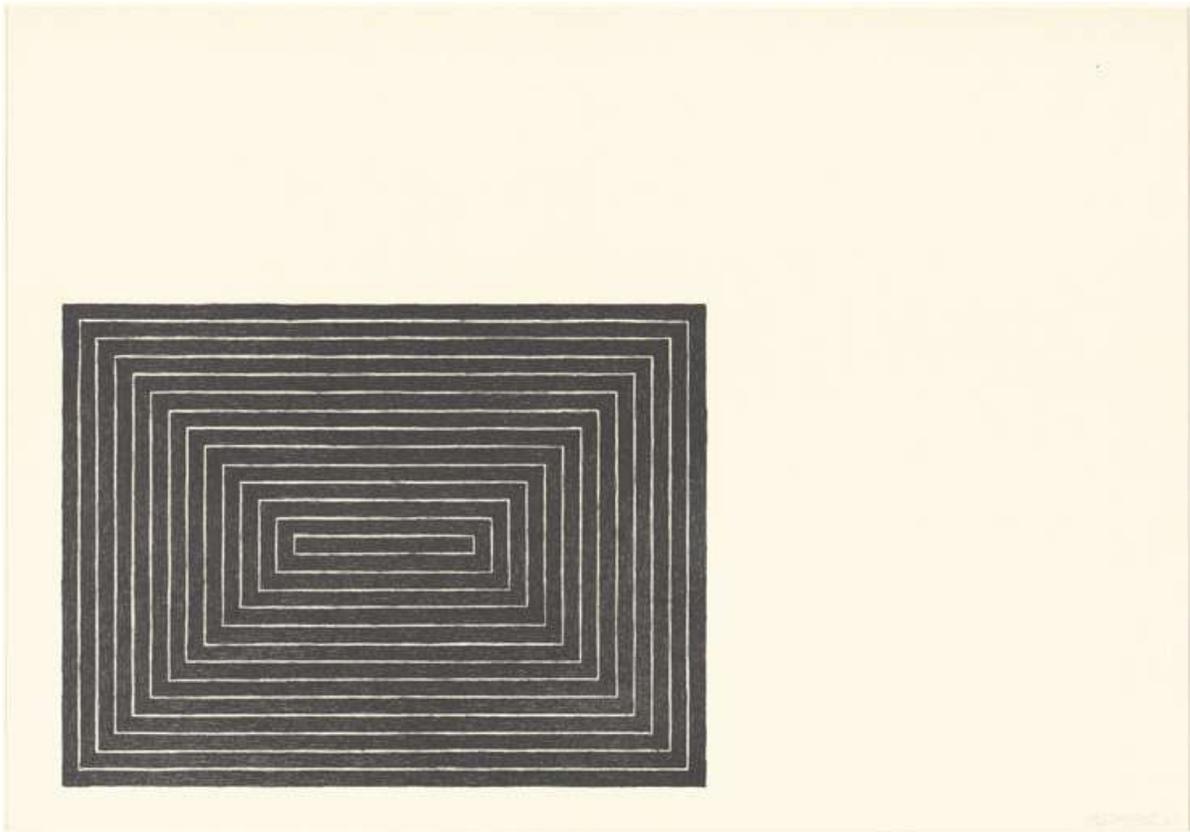


Imagen 13

Black Series I (Tomlinson Creek Park)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

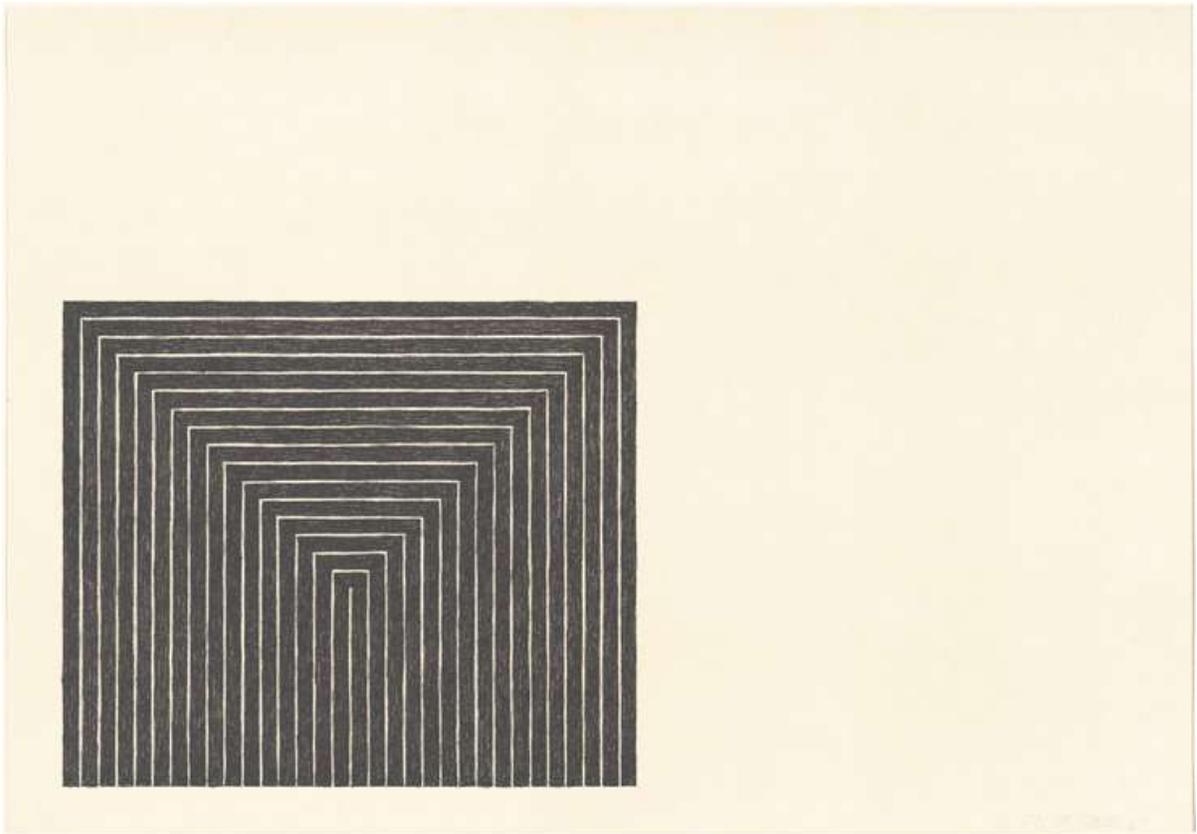


Imagen 14

Black Series I (Getty Tomb)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

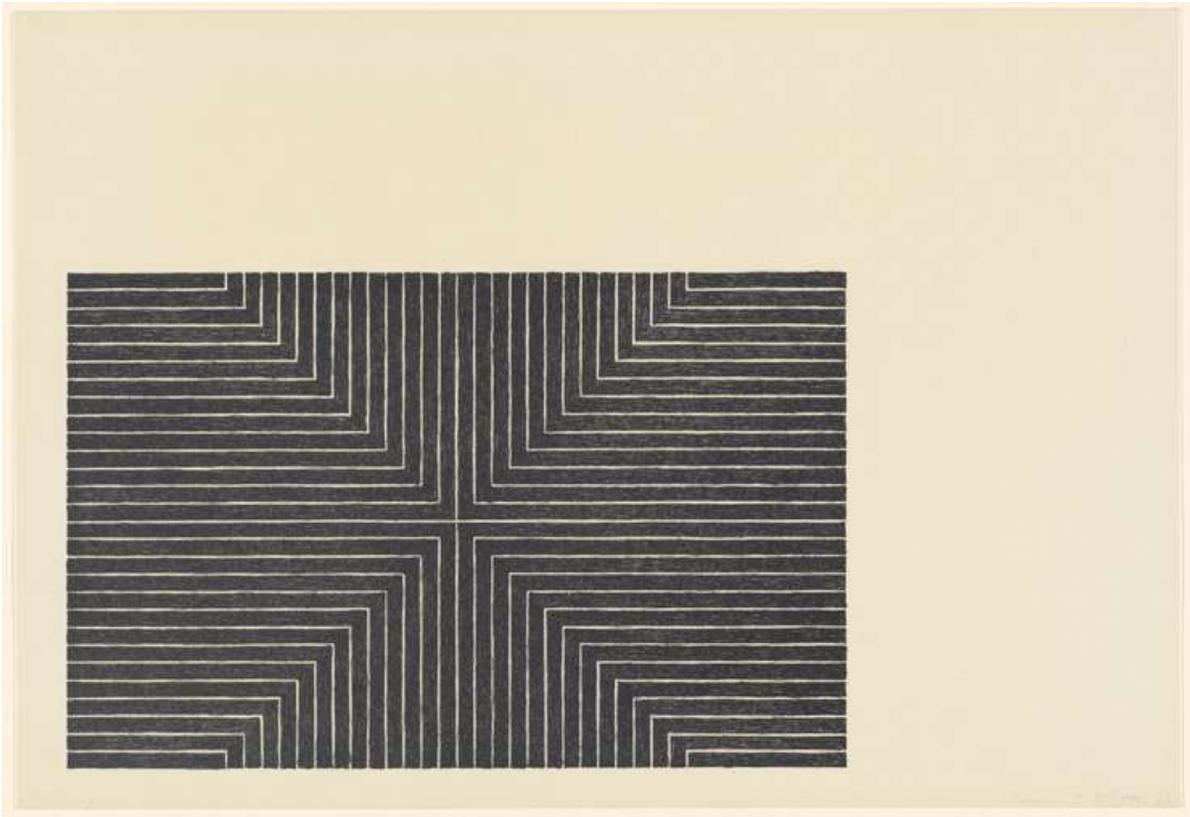


Imagen 15

Black Series I (Arbeit Macht Frei)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

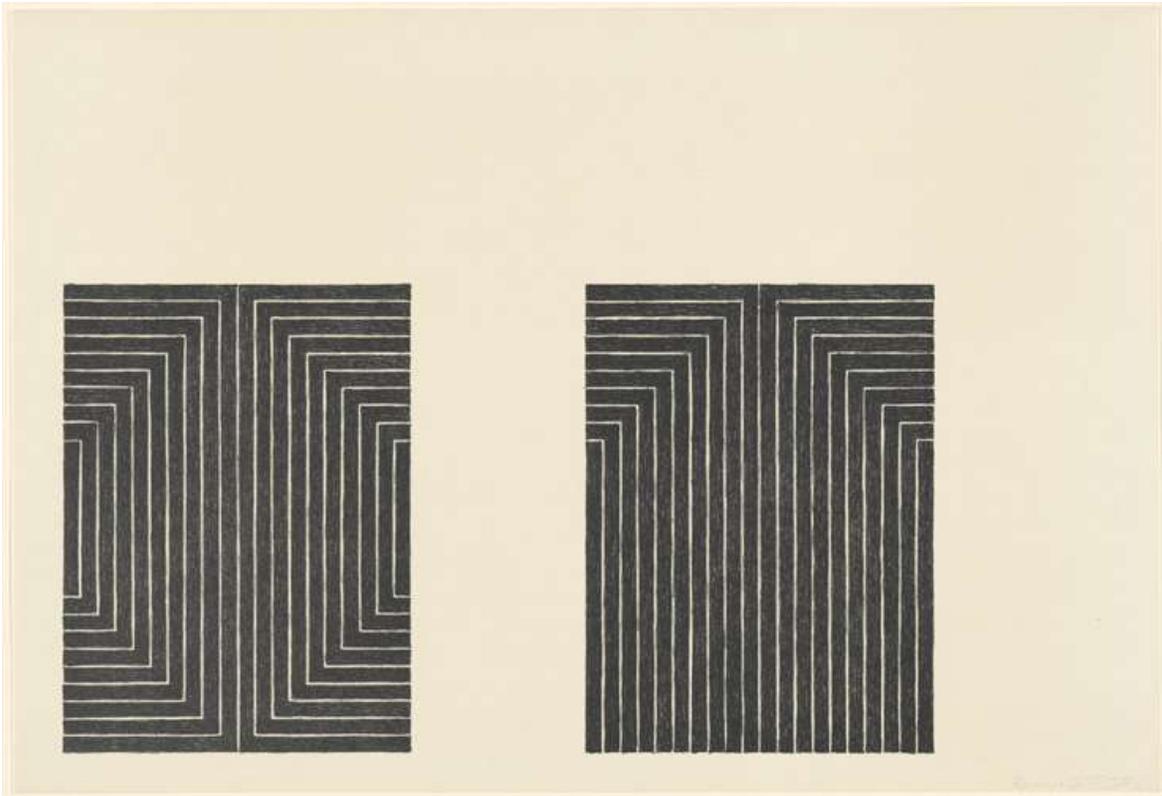


Imagen 16

Black Series I (Club Onyx—Steven Steps)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].

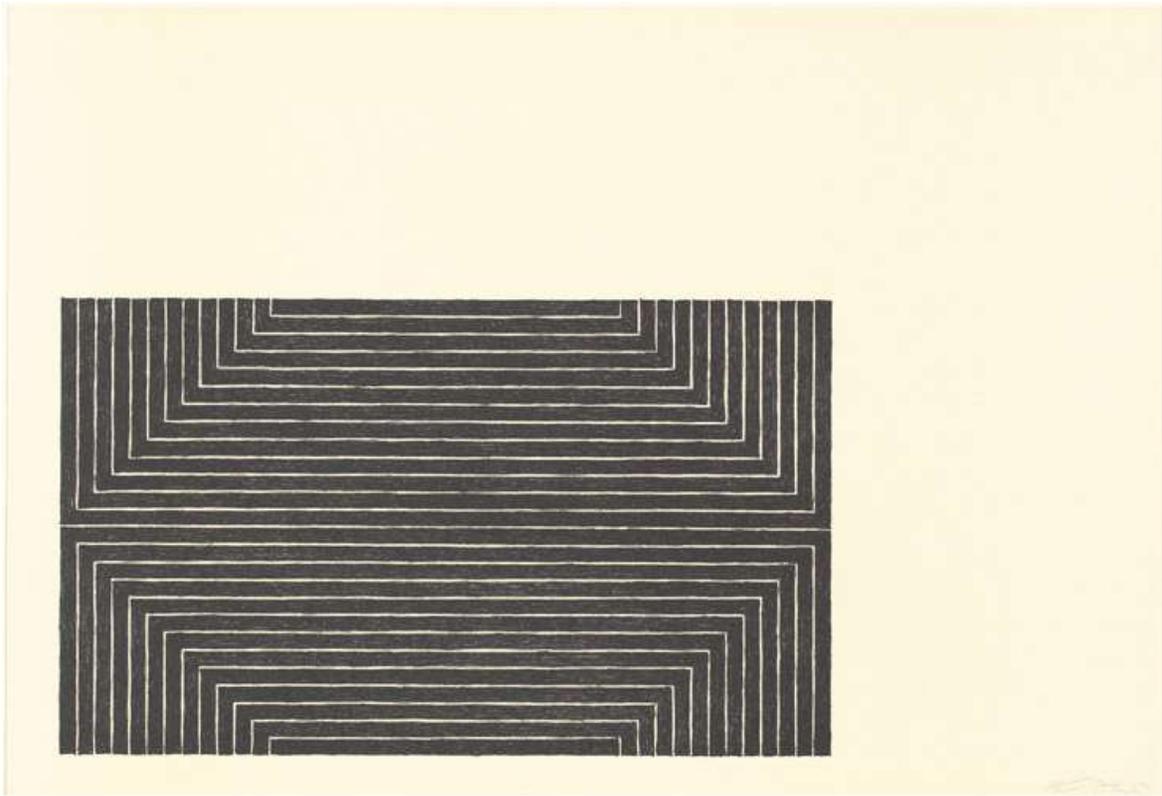


Imagen 17

Black Series I (Bethlehem's Hospital)

Frank Stella

1967

Litografía.

38 × 57.7 cm

Artists Rights Society, New York.

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/features/the-serial-impulse/frank-stella.html> [Consultado julio, 2021].



Imagen 18

Abstract Painting 4

Ad Reinhardt

1961

Óleo sobre tela

152,6 × 152,9 cm

Smithsonian American Art Museum.

Imagen obtenida en <https://arthistoryproject.com/artists/ad-reinhardt/abstract-painting-no-4/> [Consultado julio, 2021].

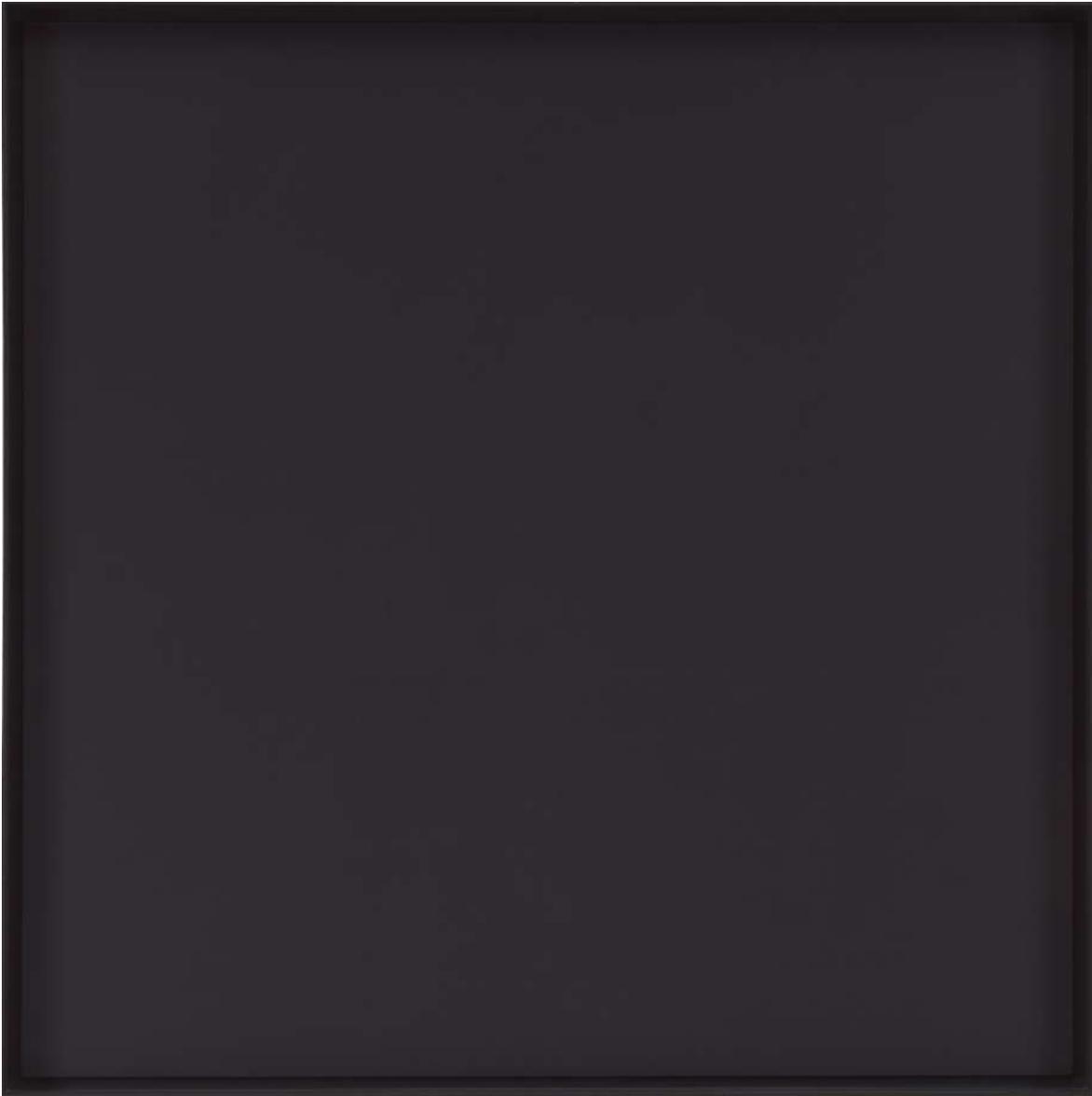


Imagen 19

Abstract Painting 5

Ad Reinhardt

1963

Óleo sobre tela

152,4 × 152,4 cm

MoMA, New York.

Imagen obtenida en <https://historia-arte.com/obras/pintura-abstracta> [Consultado julio, 2021].

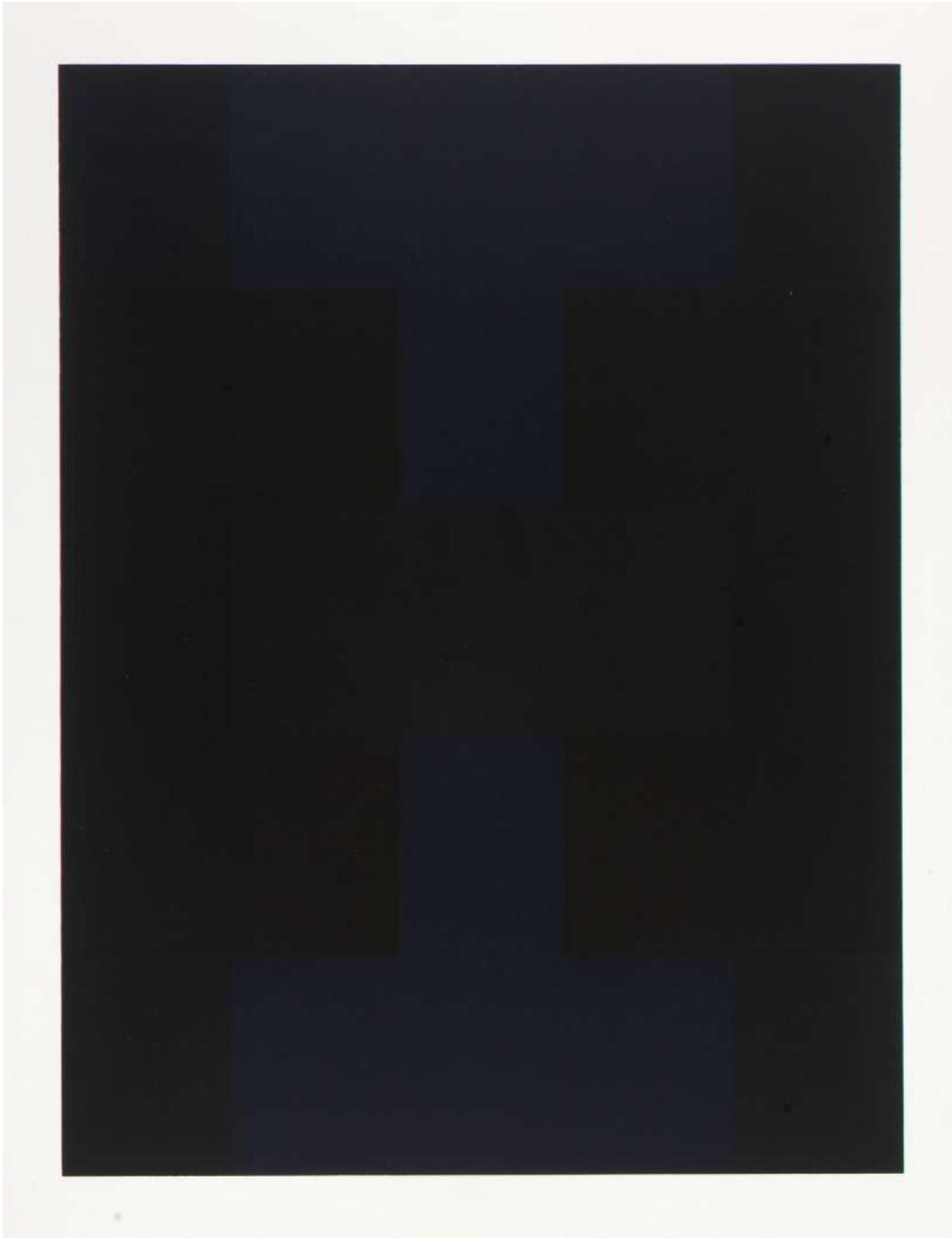


Imagen 20

Untitled (from the portfolio Ten Screenprints)

Ad Reinhardt

1966

Óleo sobre tela

55.9 × 43.2 cm

Smithsonian American Art Museum

Imagen obtenida en <https://americanart.si.edu/artwork/untitled-portfolio-ten-screenprints-20702> [Consultado julio, 2021].



Imagen 21

The Station of the Cross - First Station

Barnett Newman

1958

Óleo sobre tela

197.8 × 153.7 cm

Smithsonian American Art Museum

Imagen obtenida en <https://www.wikiart.org/en/barnett-newman/the-station-of-the-cross-first-station-1958>

[Consultado julio, 2021].

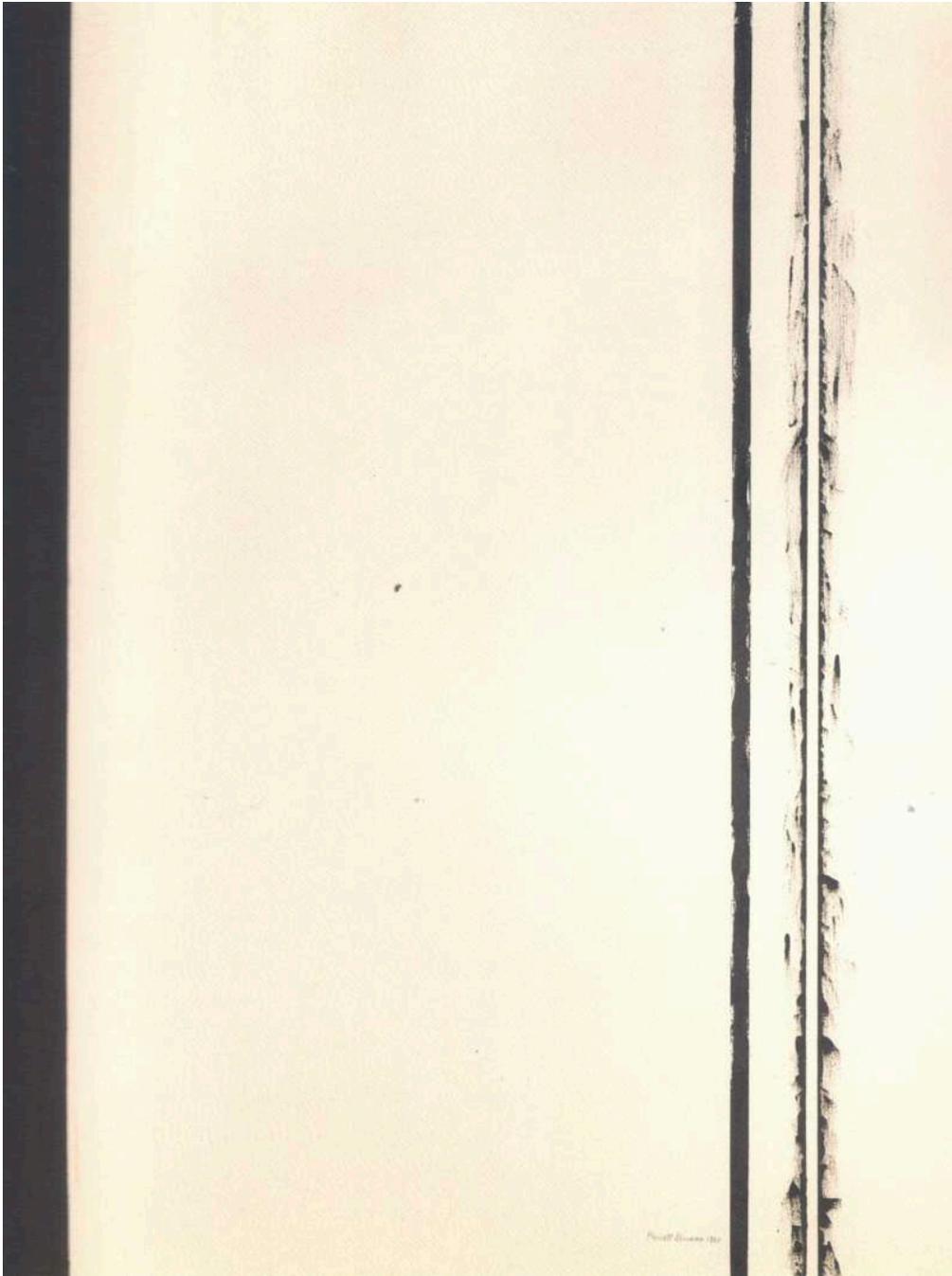


Imagen 22

The Station of the Cross – Second Station

Barnett Newman

1958

Óleo sobre tela

197.8 × 153.7 cm

Smithsonian American Art Museum

Imagen obtenida en <https://www.wikiart.org/en/barnett-newman/second-station-196021>

[Consultado julio, 2021].

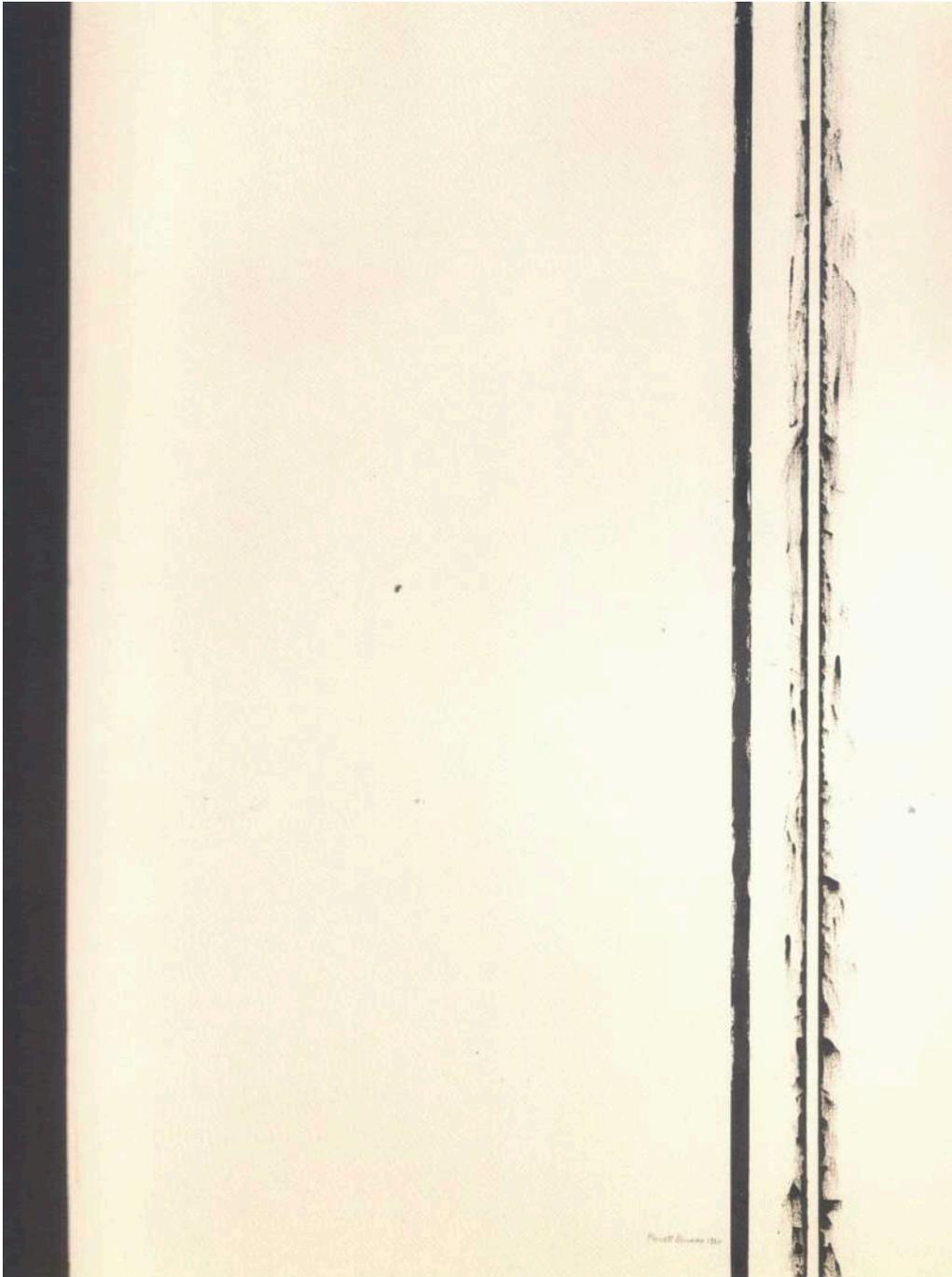


Imagen 23

The Station of the Cross – Third Station

Barnett Newman

1960

Óleo sobre tela

197.8 × 153.7 cm

Smithsonian American Art Museum

Imagen obtenida en <https://www.wikiart.org/en/barnett-newman/third-station-1960>

[Consultado julio, 2021].

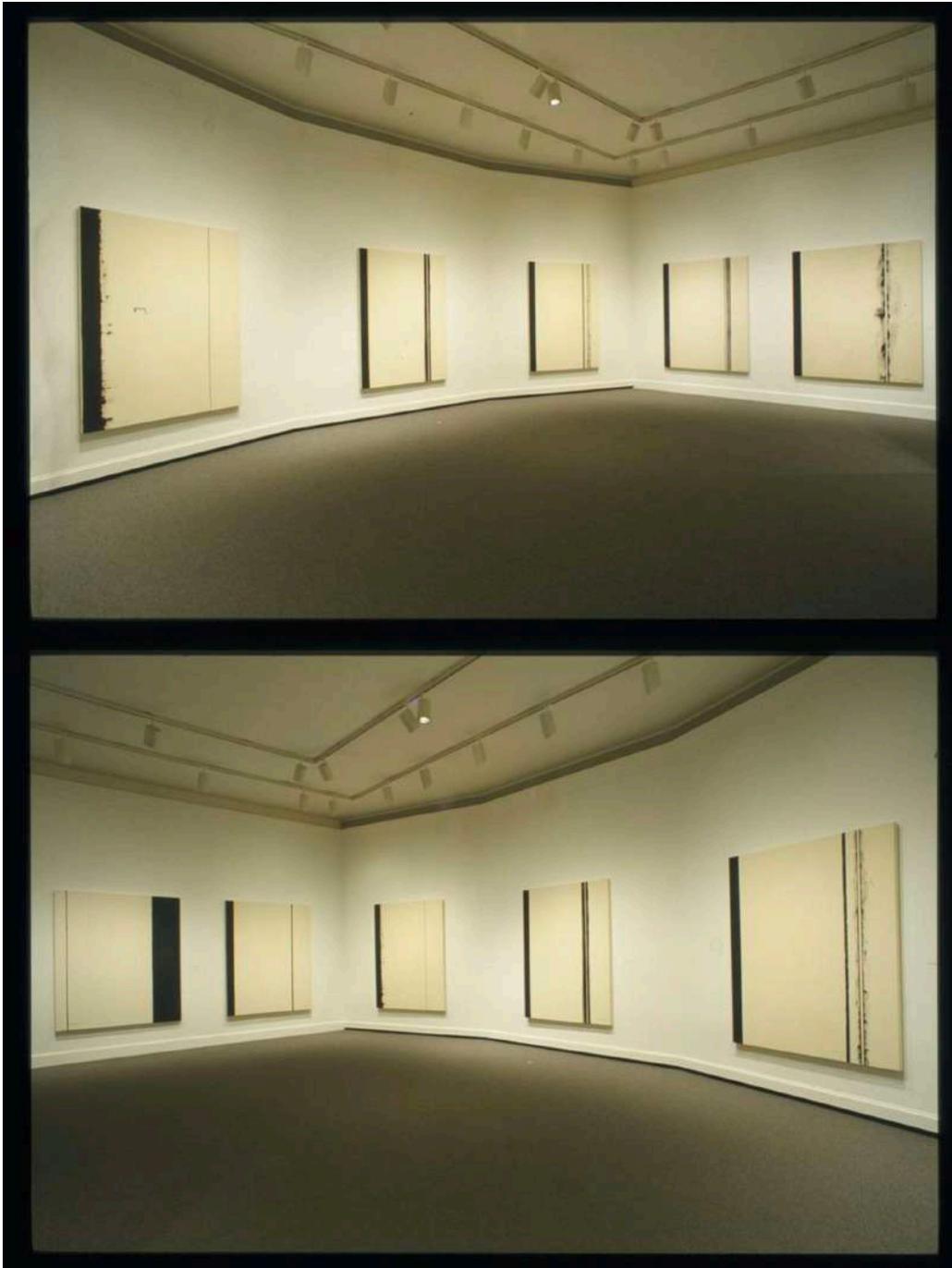


Imagen 24 y 25

The Station of the Cross: Lema Sabachtani

Barnett Newman

1958-1966

Óleo sobre tela

197.8 × 153.7 cm

Smithsonian American Art Museum

Imagen obtenida en <https://mavcor.yale.edu/conversations/object-narratives/barnett-newman-stations-cross-lema-sabachtani> [Consultado julio, 2021].



Imagen 26

Broken Obelisk

Barnett Newman

1969

Acero

749.9 × 318.8 x 318.8 cm

Rothko Chapel, Houston, Texas

Imagen obtenida

[https://en.wikipedia.org/wiki/Broken_Obelisk#/media/File:Barnett_Newman_Broken_Obelisk_Rothko_Chapel_\(HDR\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Broken_Obelisk#/media/File:Barnett_Newman_Broken_Obelisk_Rothko_Chapel_(HDR).jpg) [Consultado julio, 2021].



Imagen 27

No. 1 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 28

No. 2 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].

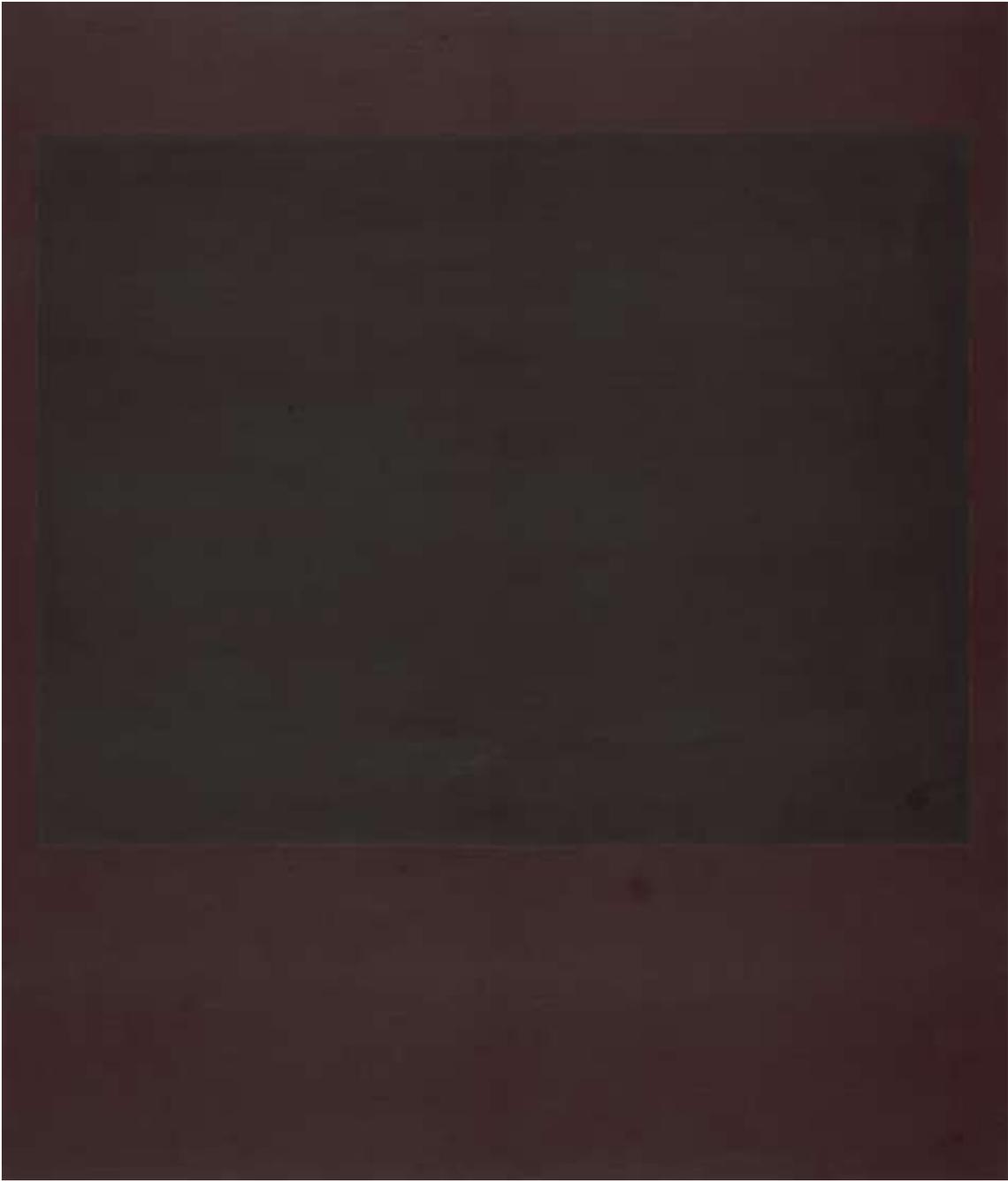


Imagen 29

No. 3 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 30

No. 4 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 31

No. 5 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 32

No. 6 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://dailyrothko.tumblr.com/post/106869260015/mark-rothko-no-2-no-4-no-5-no-6-no-7-no-8#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 33

No. 7 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://www.tate.org.uk/whats-on/tate-modern/exhibition/rothko/rothko-room-guide/room-6-black-form-paintings> [Consultado julio, 2021].



Imagen 34

No. 8 (Black-Form paintings)

Mark Rothko

1964

National Gallery of Art, Washington D.C

Imagen obtenida en <https://www.tate.org.uk/whats-on/tate-modern/exhibition/rothko/rothko-room-guide/room-6-black-form-paintings> [Consultado julio, 2021].

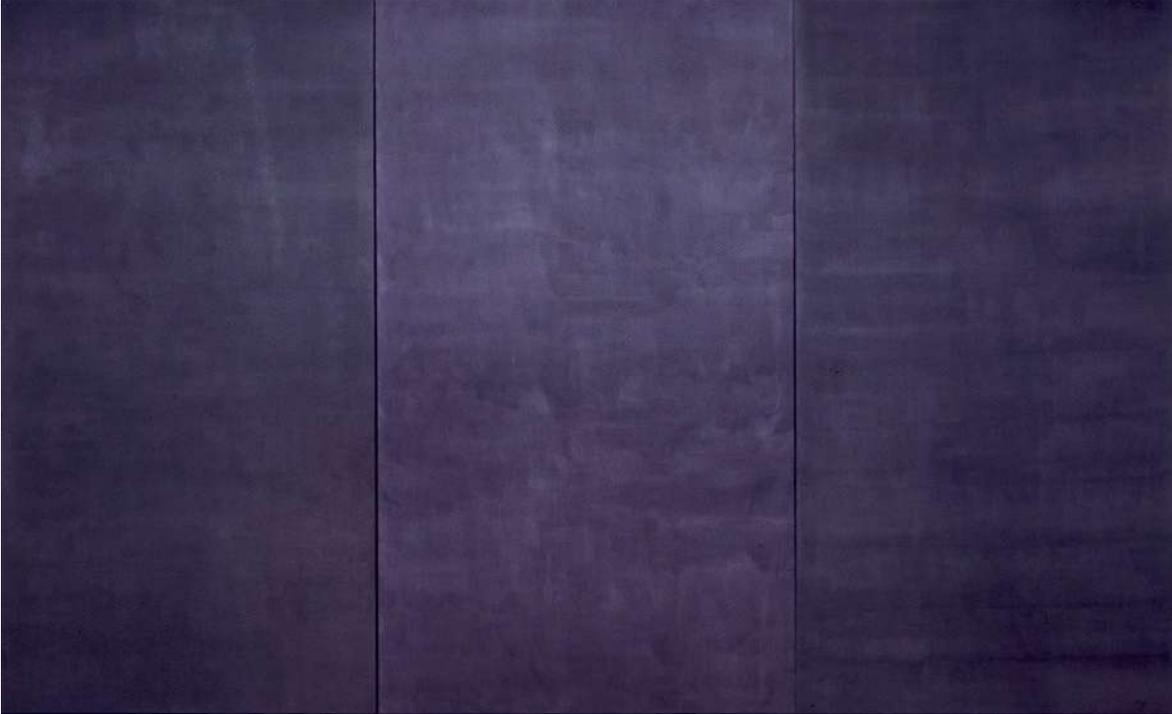


Imagen 35

Houston Chapel (Rothko's Chapel)

Mark Rothko

1964-1971

Rothko Chapel, Houston, Texas

Imagen obtenida en <https://uxdesign.cc/mirrors-for-the-mind-boring-runs-and-rothko-paintings-35cec44adf81> [Consultado julio, 2021].



Imagen 36

Houston Chapel (Rothko's Chapel) [Detalle]

Mark Rothko

1964-1971

Rothko Chapel, Houston, Texas

Imagen obtenida en <https://desireasflux.tumblr.com/post/56393956957/likeafieldmouse-the-rothko-chapel-1964-71#> = [Consultado julio, 2021].



Imagen 37

Houston Chapel (Rothko's Chapel)

Mark Rothko

1964-1971

Rothko Chapel, Houston, Texas

Imagen obtenida en https://www.despiertaymira.com/wp-content/uploads/2015/12/Rothko_Chapel_dym03b.jpg [Consultado julio, 2021].



Imagen 38

Untitled (Black Blue Painting)

Mark Rothko

1968

Acrílico sobre papel sobre lienzo

121.3 × 101.9 cm

Raisonné of Works, National Gallery of Art, Washington D.C.

Imagen obtenida en <https://www.phillips.com/detail/mark-rothko/UK010121/15> [Consultado julio, 2021].



Imagen 39

Untitled (Black on Grey)

Mark Rothko

1970

Rothko Chapel, Houston, Texas

Acrílico sobre lienzo

203.3 cm × 175.5 cm

Solomon R. Guggenheim, Nueva York.

Imagen obtenida en <https://www.guggenheim.org/artwork/3535> [Consultado julio, 2021].



Imagen 40

Two Black Squares: The Paradoxes of Absolute Zero

Art & Language

1966

Óleo sobre lienzo

35.8 × 35.8 cm

Imagen obtenida en <https://www.artsy.net/artwork/art-and-language-two-black-squares-the-paradoxes-of-absolute-zero> [Consultado julio, 2021].

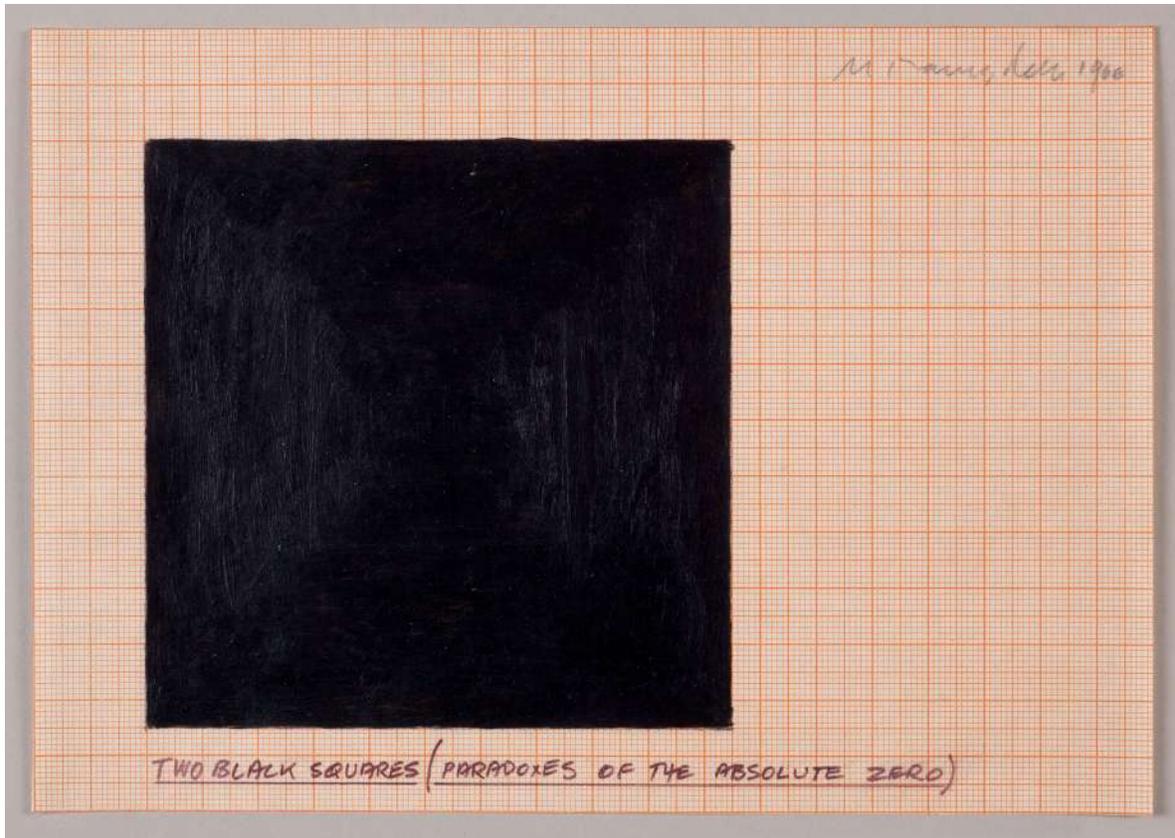


Imagen 41

Two Black Squares: The Paradoxes of Absolute Zero

Art & Language

1966

Acrílico y bolígrafo sobre papel milimétrico

17.8 × 25.4 cm

Imagen obtenida en: <https://www.sprovieri.com/exhibitions/art-language-and-ilya-kabakov/selected-works#6>
[Consultado julio, 2021].

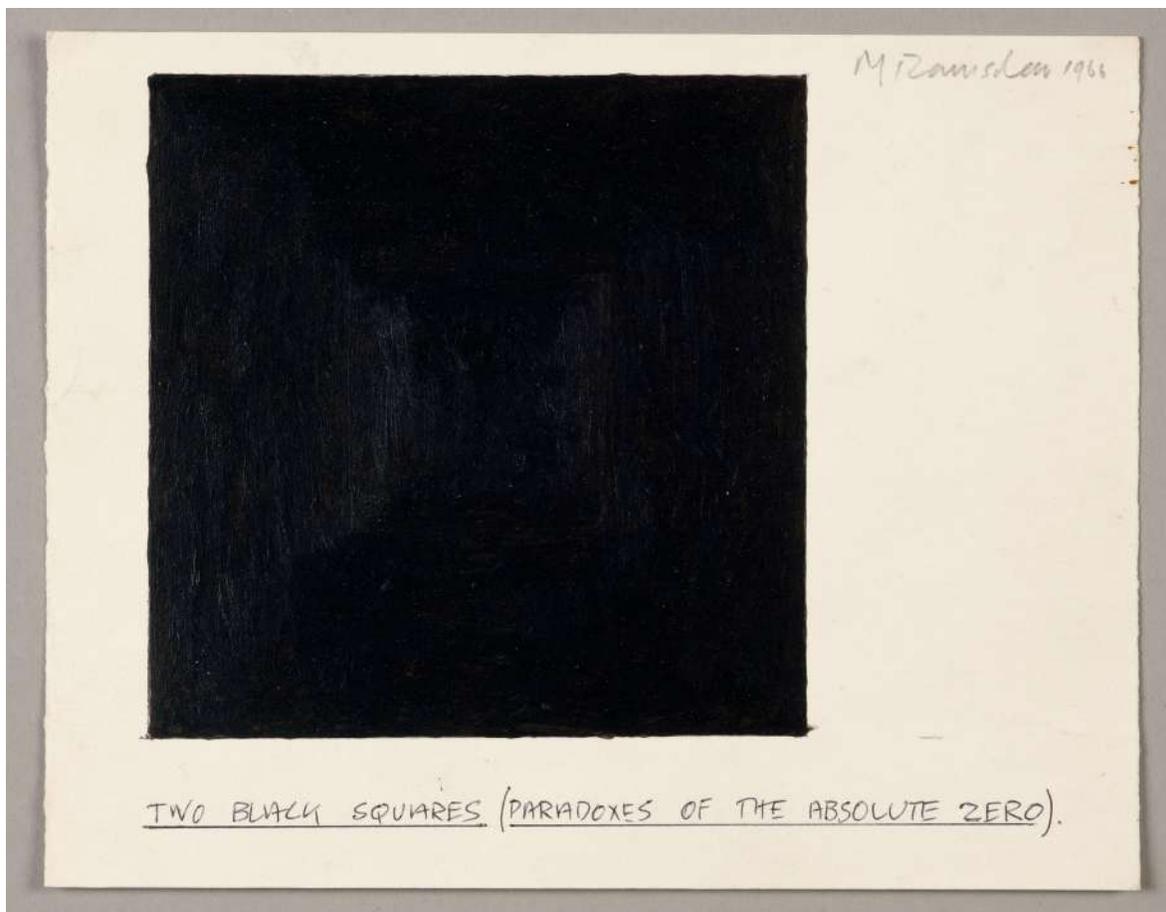


Imagen 42

Two Black Squares: The Paradoxes of Absolute Zero

Art & Language

1966

Acrílico y tinta sobre papel

14.8 × 18.9 cm

Imagen obtenida en <https://www.sprovieri.com/exhibitions/art-language-and-ilya-kabakov/selected-works?view=slider#5> [Consultado julio, 2021].

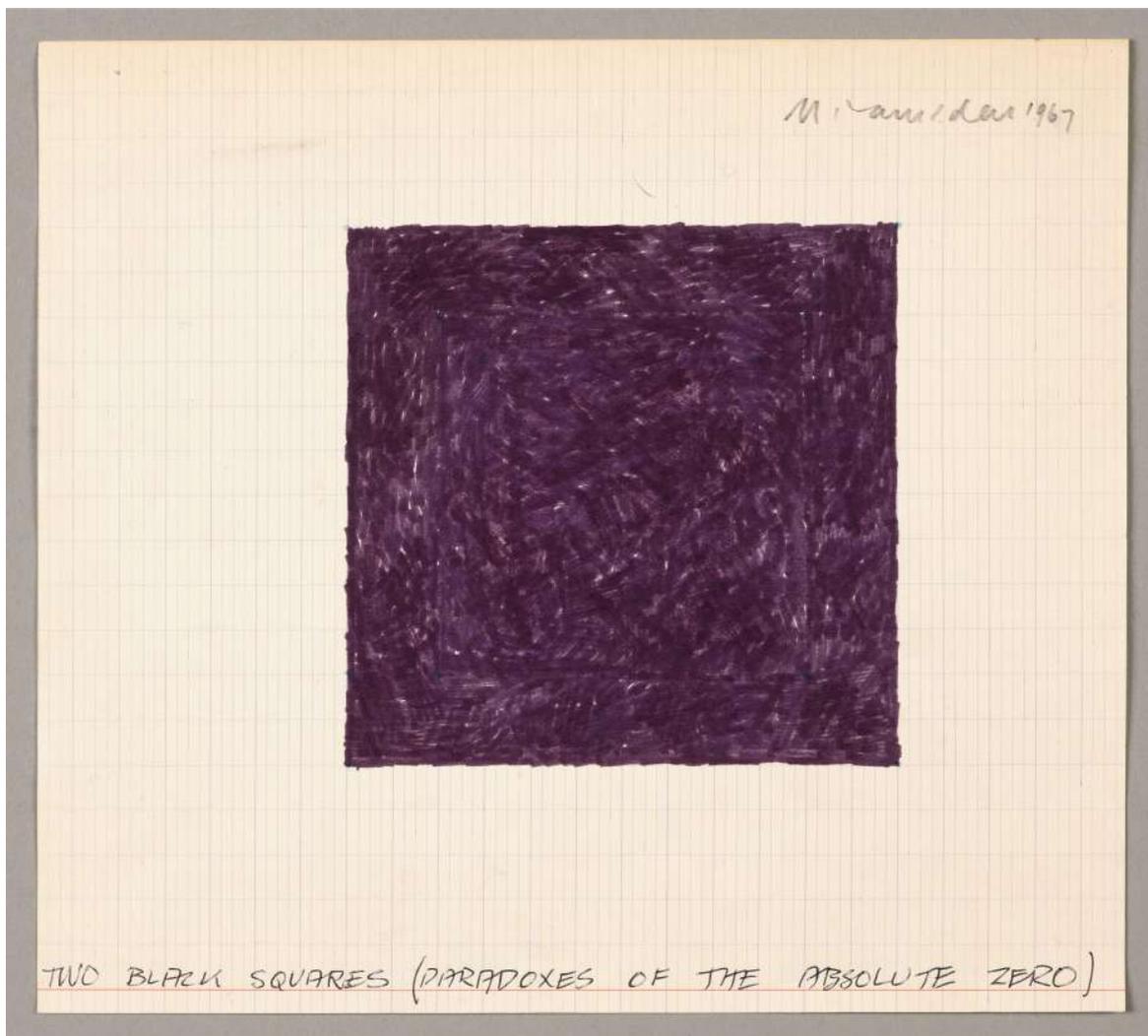


Imagen 43

Two Black Squares: The Paradoxes of Absolute Zero

Art & Language

1967

Pluma y tinta sobre papel cuadriculado

17.2 × 19.1 cm

Imagen obtenida en <https://www.sprovieri.com/exhibitions/art-language-and-ilya-kabakov/selected-works>
[Consultado julio, 2021].

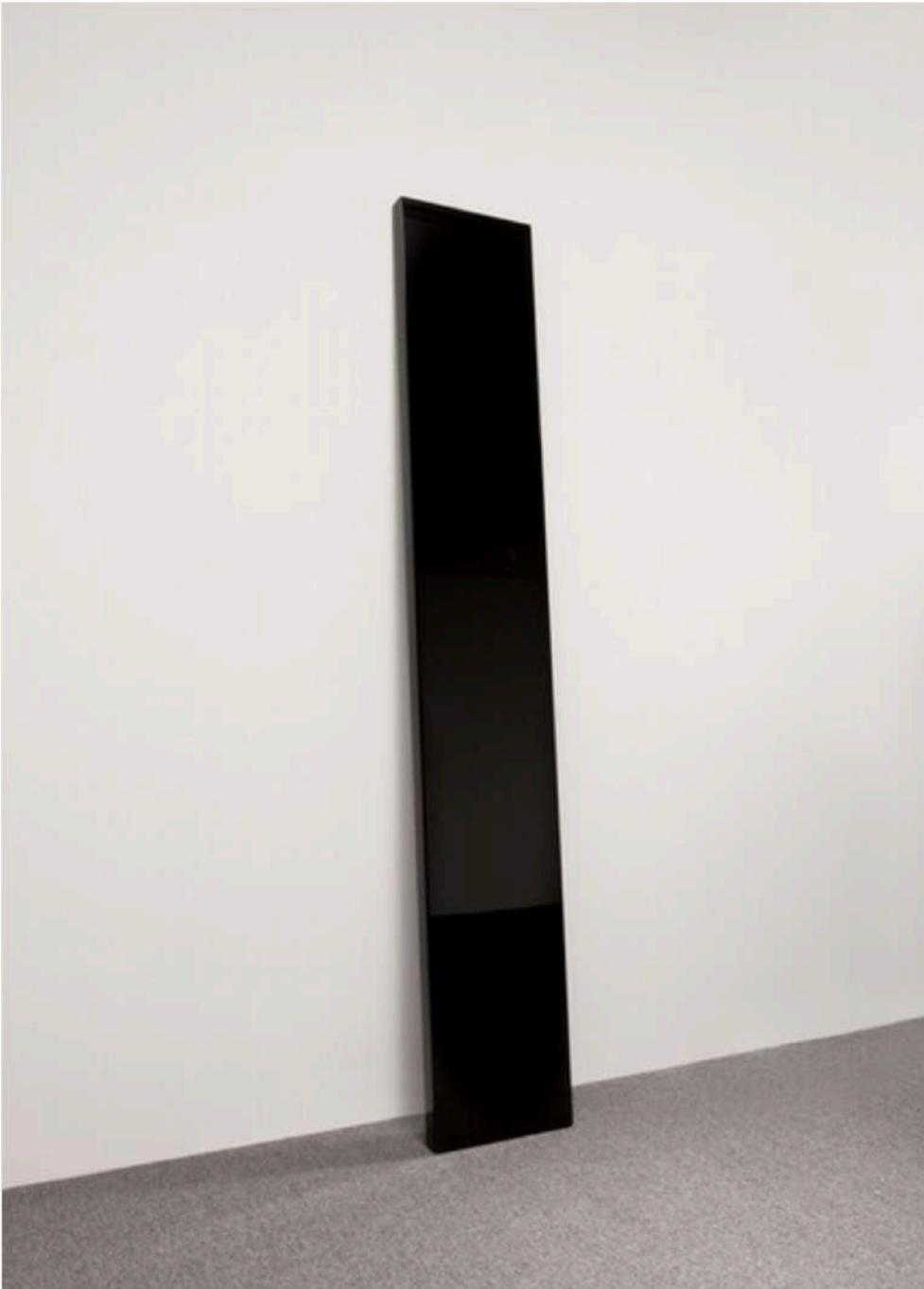


Imagen 44

Black Plank

John McCracken

1967

Resina de poliéster, fibra de vidrio y madera contrachapada

243.84 × 40.64 x 6.35 cm

Gift of the Collectors Committee

Imagen obtenida en <https://www.nga.gov/collection/art-object-page.150862.html> [Consultado julio, 2021].



Imagen 45 y 46

Do it Yourself, homage to Malevich

Maurizio Nannucci

1968

6.5 × 5.5 cm.

Imágenes obtenidas en <http://artistsbooksandmultiples.blogspot.com/2020/04/maurizio-nannucci-do-it-yourself.html> [Consultado julio, 2021].

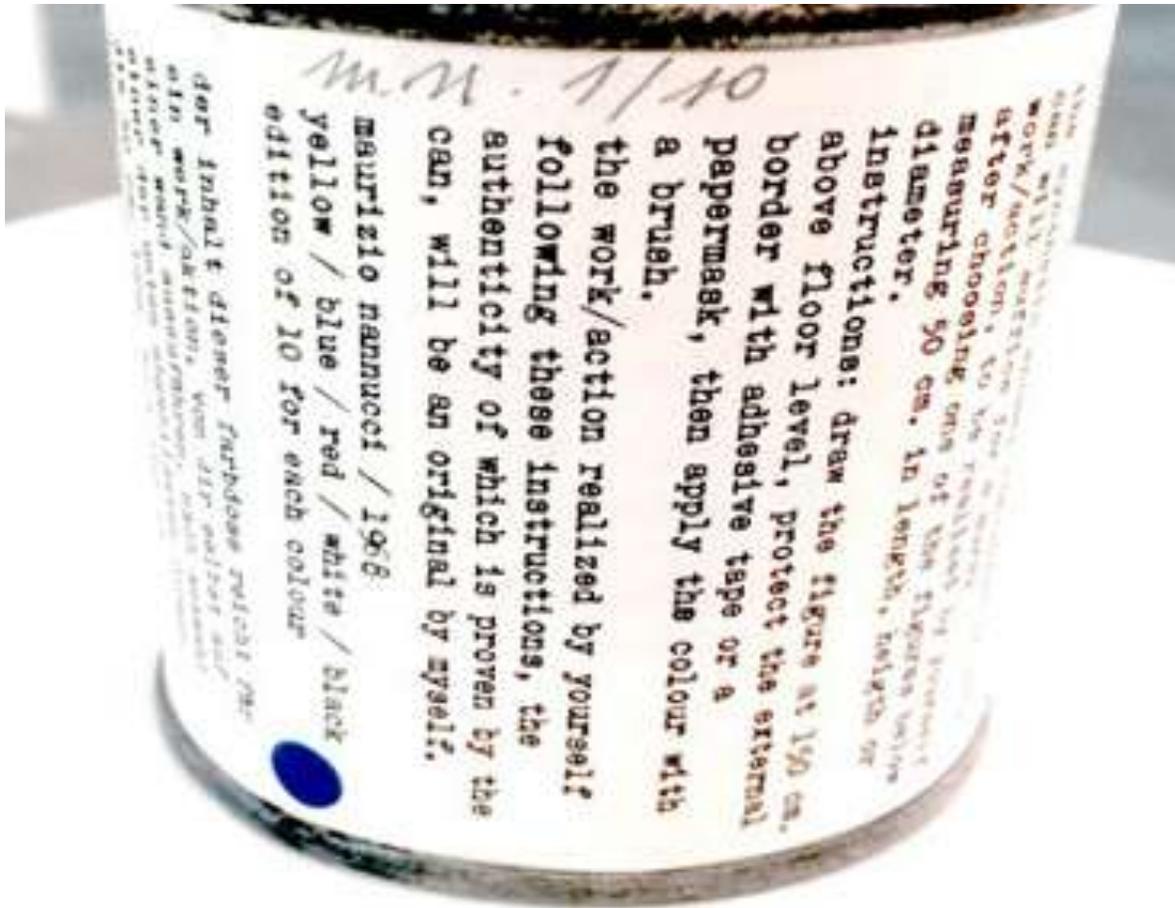


Imagen 47

Do it Yourself, homage to Malevich

Maurizio Nannucci

1968

6.5 × 5.5 cm.

Imagen obtenida en <https://www.galleriaastuni.net/artista/maurizio-nannucci/?en=artists> [Consultado julio, 2021].



Imagen 48

Negro

Beatriz Zamora

1978-2018

Imagen obtenida en: <https://labor.org.mx/artists/beatriz-zamora> [Consultado enero, 2022].



Imagen 49

Blue black indigo black

Bob Law

1977

Pintura de polímero sintético sobre pato de algodón

183.0 × 122.0 × 4.0 cm

Mervyn Horton Bequest Fund

Imagen obtenida en <https://www.artgallery.nsw.gov.au/collection/works/279.1989/> [Consultado julio, 2021].

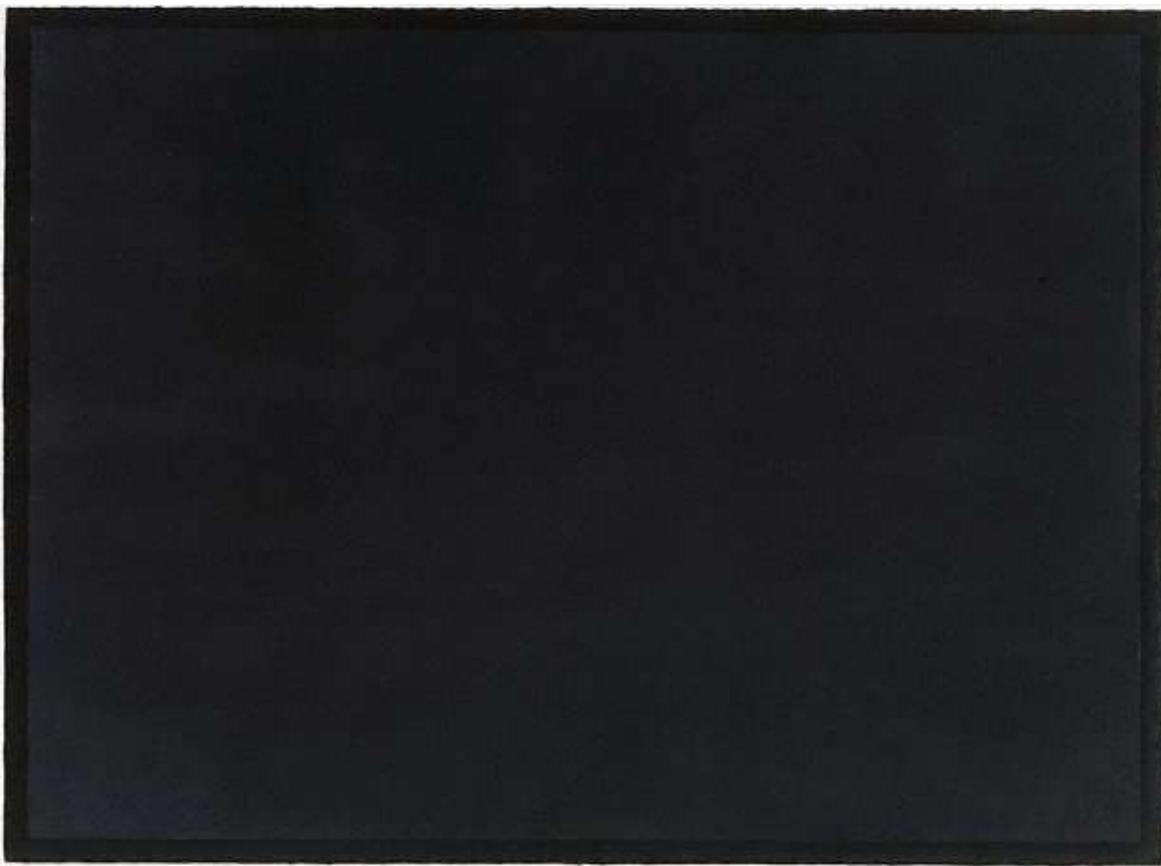


Imagen 50

Untitled (Black watercolour)

Bob Law

1987

Acuarela sobre papel

56.0 × 76.0 cm

Gift of Danny Goldberg

Imagen obtenida en <https://www.artgallery.nsw.gov.au/collection/works/279.1989/> [Consultado julio, 2021].

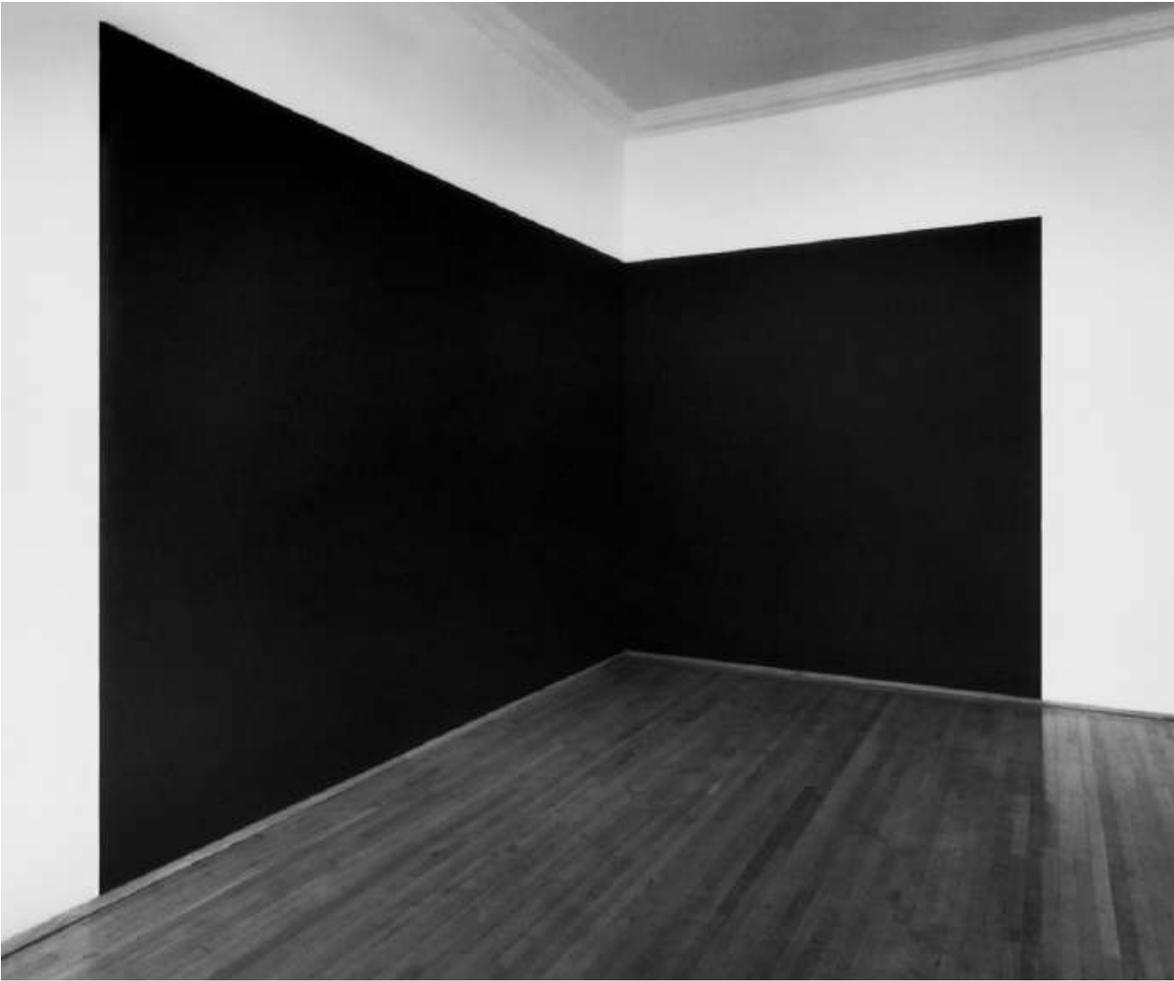


Imagen 51

Pacific Judson Murphy

Richard Serra

1978

Paintstick sobre lino belga

280 × 440 cm (izquierda) y 280 × 270 cm (derecha)

Metropolitan Museum of Art

Imagen obtenida en <https://www.scielo.br/j/ars/a/yNbVdMNpZ3PPTvHX4HLBmvz/?lang=en#> [Consultado julio, 2021].



Imagen 52

Pintura 202 × 537 cm

Pierre Soulages

1979

Óleo sobre tela

Colección privada

Imagen obtenida en: Cristina Faesler Bremer, *Pierre Soulages*. (México: Museo de la Ciudad de México, 2010), 167.

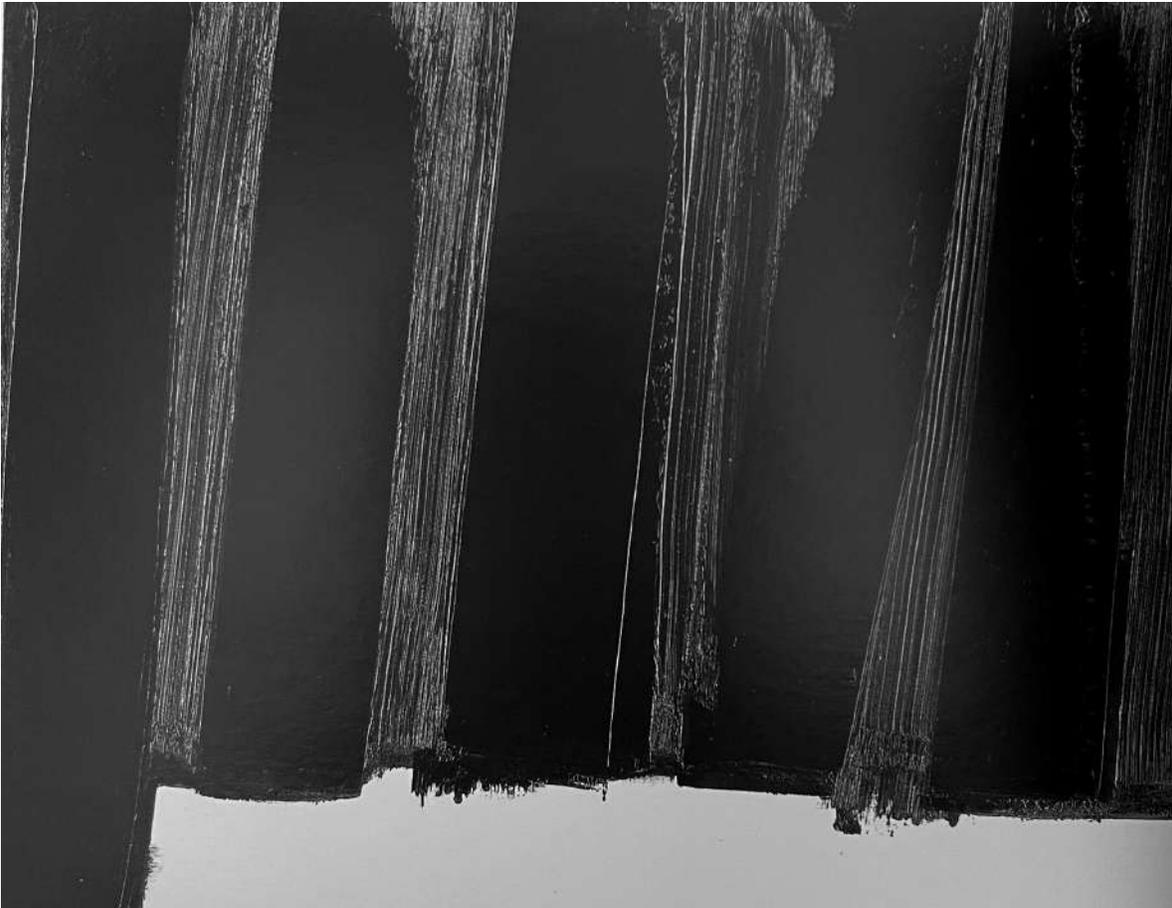


Imagen 53

Pintura 130 × 162 cm

Pierre Soulages

1982

Óleo sobre tela

Colección privada

Imagen obtenida en Cristina Faesler Bremer, *Pierre Soulages*. (México: Museo de la Ciudad de México, 2010), 168.

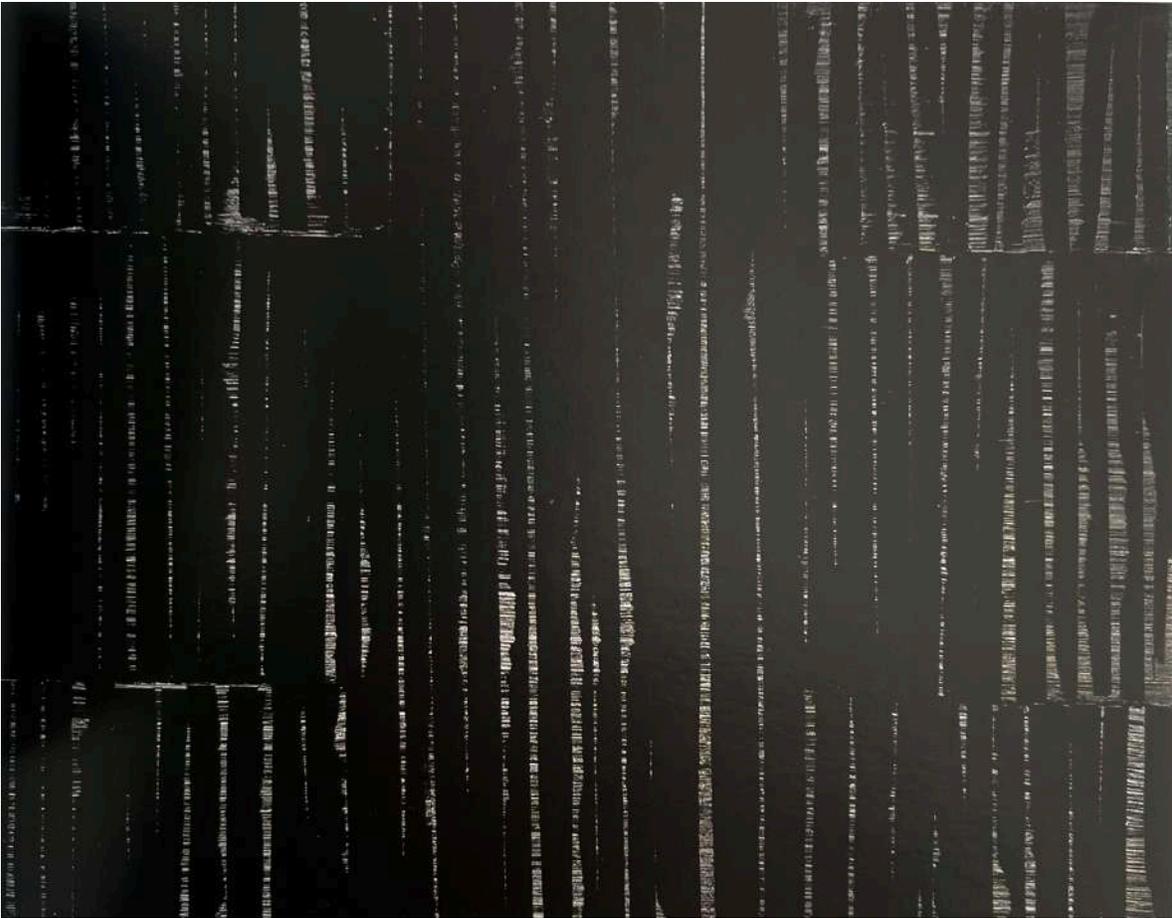


Imagen 54

Pintura 202 × 255 cm

Pierre Soulages

1984

Óleo sobre tela

Colección privada

Imagen obtenida en Cristina Faesler Bremer, *Pierre Soulages*. (México: Museo de la Ciudad de México, 2010), 169.

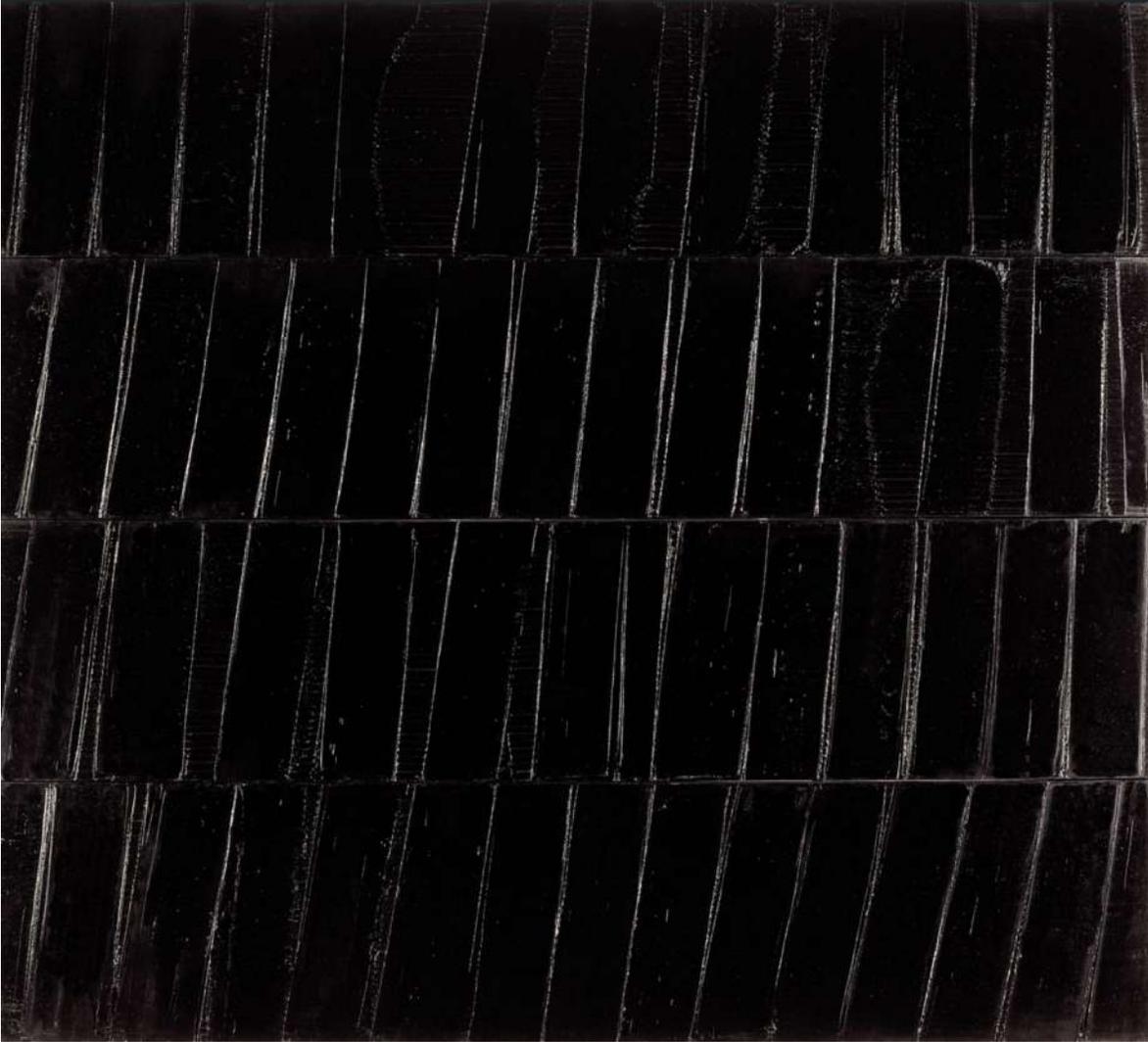


Imagen 55

Pintura 324 × 362 cm

Pierre Soulages

1985

Óleo sobre tela

Colección privada

Imagen obtenida en <https://www.wikiart.org/en/pierre-soulages/peinture-324-x-362-cm-1985-polyptyque-c-1985>.

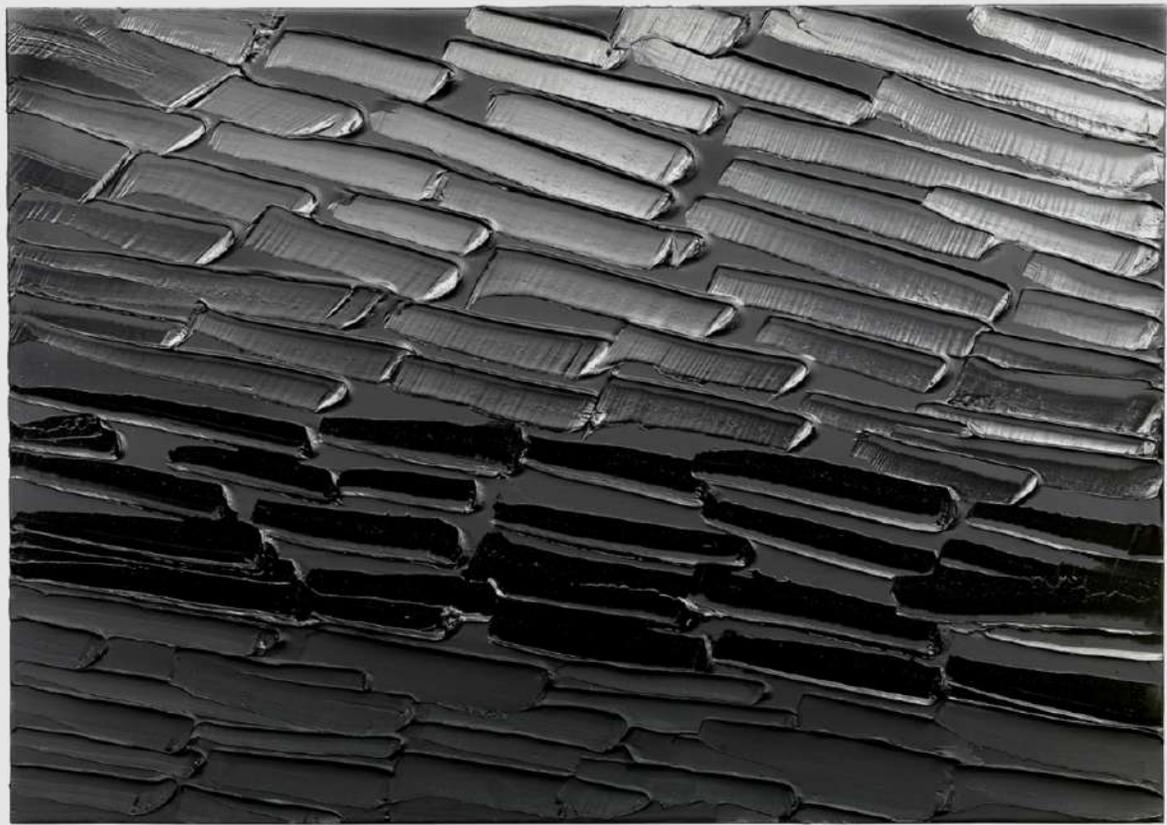


Imagen 56

Pintura 117 × 165cm

Pierre Soulages

2008

Acrílico sobre tela

Galería Alice Pauli

Imagen obtenida en Cristina Faesler Bremer, *Pierre Soulages*. (México: Museo de la Ciudad de México, 2010), 250.



Imagen 57

Pintura 222 × 314cm

Pierre Soulages

2008

Acrílico sobre tela

Colección privada

Imagen obtenida en Cristina Faesler Bremer, *Pierre Soulages*. (México: Museo de la Ciudad de México, 2010), 249.



Imagen 58

Pintura 181 × 142.5 cm

Pierre Soulages

2010

Acrílico sobre tela

Imagen obtenida en <https://www.waddingtoncustot.com/artists/138-pierre-soulages/works/11464/>

[Consultado julio, 2021].



Imagen 59

Forty Plaster Surrogates

Allan McCollum

1982

Esmalte sobre Hydrostone fundido

Cuarenta paneles que van desde 12.8 × 10.2 cm a 51.3 × 41.1 cm (162.5 × 279.4 cm).

Robert and Meryl Meltzer and Robert F. and Anna Marie Shapiro Funds

Imagen obtenida en <https://www.moma.org/collection/works/79653> [Consultado julio, 2021].



Imagen 60

Forty Plaster Surrogates No. 3

Allan McCollum

1982-1990

Esmalte sobre Hydrostone fundido

223.5 × 569 cm

Museo de Arte Contemporáneo, Los Angeles. (MOCA).

Imagen obtenida en <https://www.moca.org/collection/work/60-plaster-surrogates-no> [Consultado julio, 2021].

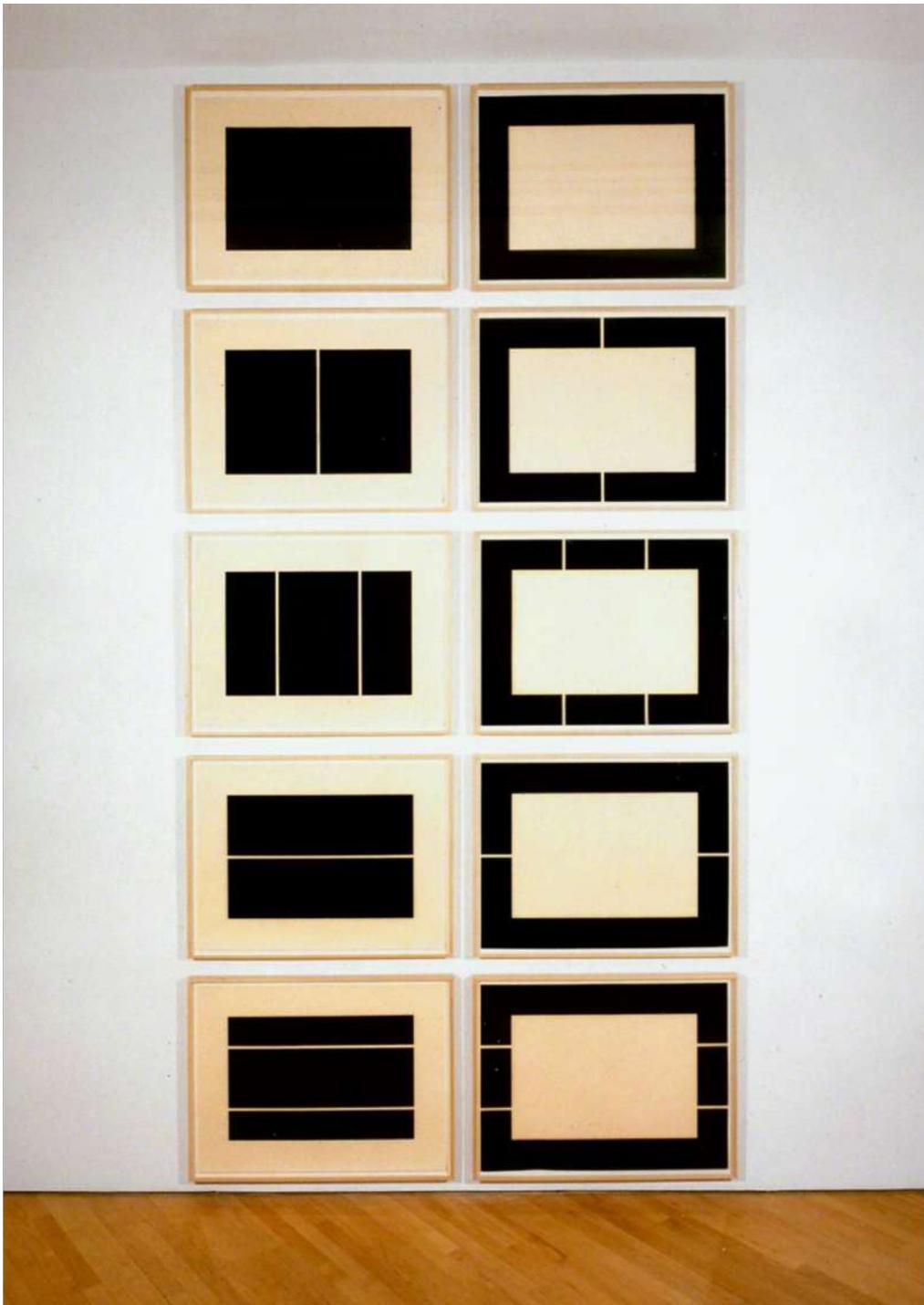


Imagen 61

Untitled

Donald Judd

1988

Xilografías impresas en negro marfil sobre papel Okawara,
61 × 78.7 cm cada una

Imagen obtenida en <https://www.moca.org/collection/work/60-plaster-surrogates-no> [Consultado julio, 2021].

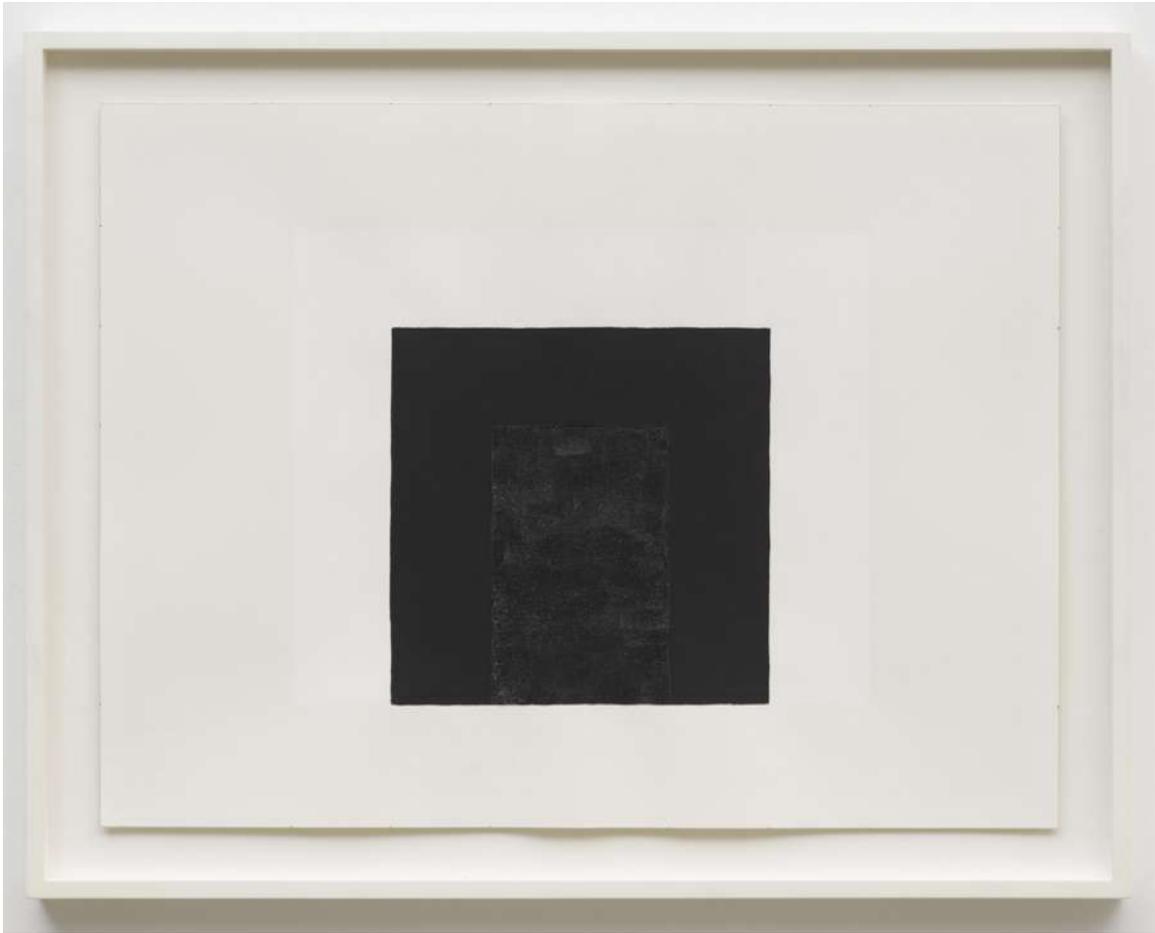


Imagen 62

Untitled

Mary Corse

1998

Microesferas de vidrio y acrílico sobre papel

40.6 × 45.7 cm

Imagen obtenida en <https://www.artsy.net/artwork/mary-corse-untitled-36> [Consultado abril, 2021].

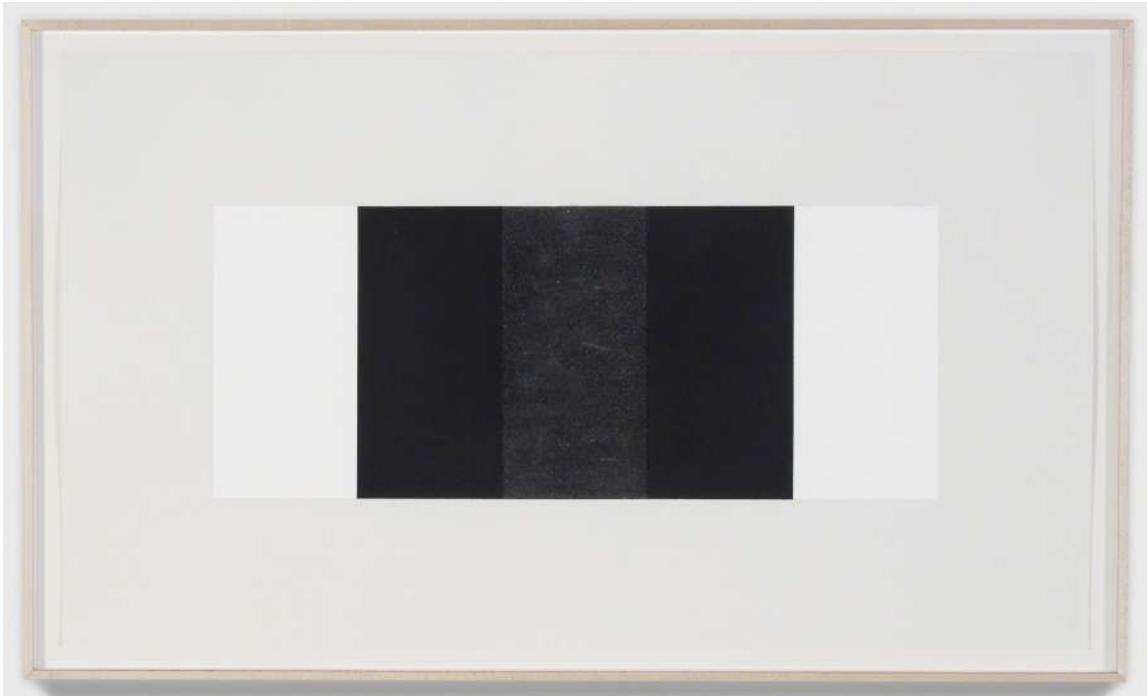


Imagen 63

Untitled (Black vertical Band, Black Outer Bands)

Mary Corse

2001

Microesferas de vidrio y acrílico sobre papel

57.8 × 96.5 cm

Imagen obtenida en <https://www.artsy.net/artwork/mary-corse-untitled-36> [Consultado abril, 2021].

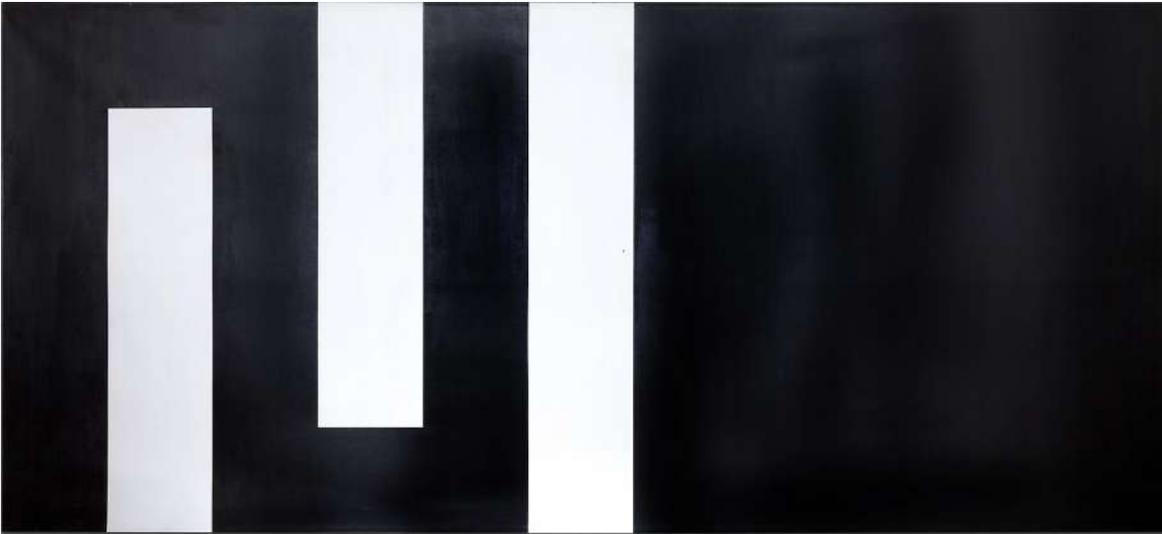


Imagen 64

Untitled

Julije Knifer

1970

Acrílico sobre lienzo

125.4 × 275.9 cm

Imagen obtenida en <https://www.miandn.com/artists/julije-knifer?view=slider> [Consultado abril, 2021].

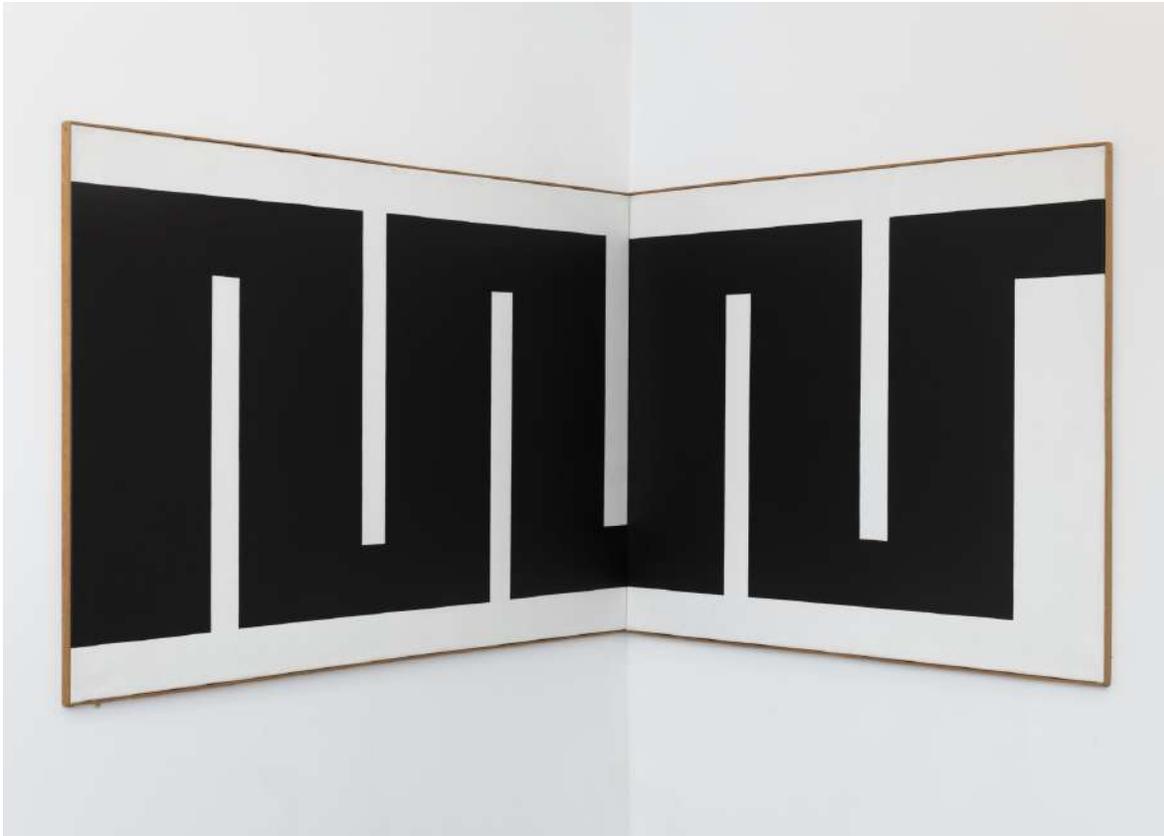


Imagen 65

Tü E (Tuebingen Ecke)

Julije Knifer

1973

Acrílico sobre lienzo

100 × 150 cm (izquierda) y 100.3 × 123.8 cm (derecha)

Imagen obtenida en <https://www.miandn.com/artists/julije-knifer?view=slider> [Consultado abril, 2021].

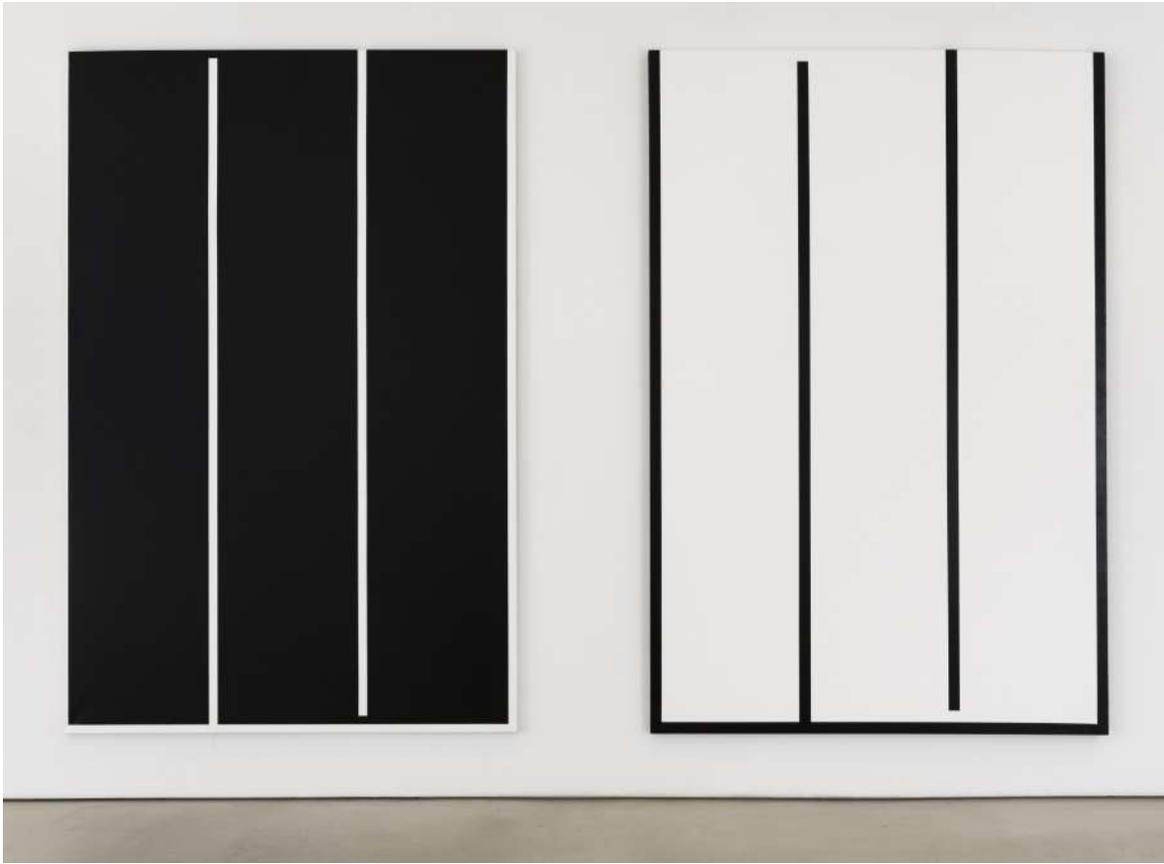


Imagen 66

Autumn XII/1 (derecha) *Autumn XII/2* (izquierda)

Julije Knifer

1993

Acrílico sobre lienzo

300 × 200 cm cada uno

Imagen obtenida en <https://www.miandn.com/artists/julije-knifer?view=slider> [Consultado abril, 2021].



Imagen 67

AP XIV/14

Julije Knifer

2002

Acrílico sobre lienzo

100 × 100 cm

Imagen obtenida en <https://www.miandn.com/artists/julije-knifer?view=slider> [Consultado abril, 2021].

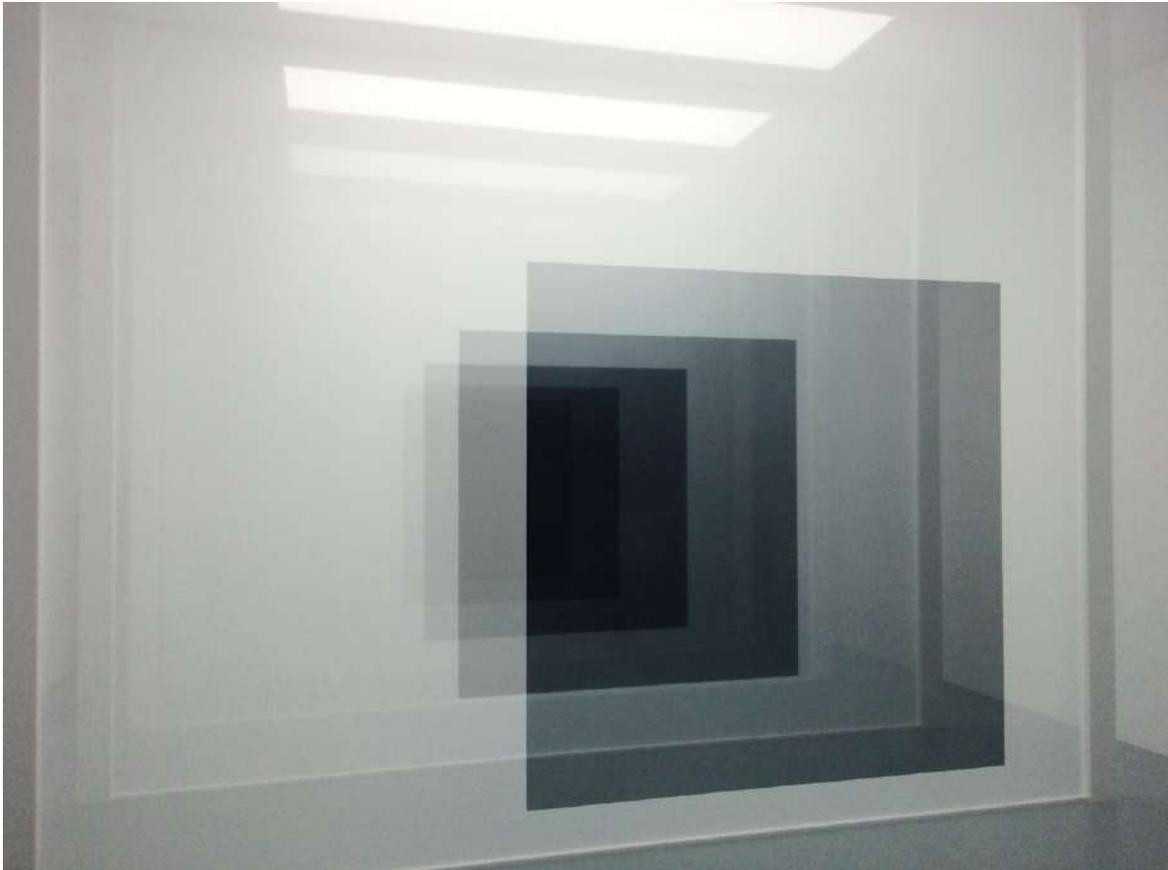


Imagen 68

Black 3

Robert Irwin

2008

Imagen obtenida en <https://lafilleblanc.tumblr.com/post/139845928211/robert-irwin-art-basel-2015-black-3-2008-via> [Consultado julio, 2021].



Imagen 69

Black 3

Robert Irwin

2008

Imagen obtenida en <https://www.christies.com/features/What-we-learned-at-Art-Basel-6294-1.aspx>
[Consultado julio, 2021].



Imagen 70

Orange, Black Painting with Blue Edge, and Burgundy

Robert Irwin

2011

Luz y espacio

Imagen obtenida en <https://www.wikiart.org/es/robert-irwin/orange-black-painting-with-blue-edge-and-burgundy-2011> [Consultado julio, 2021].

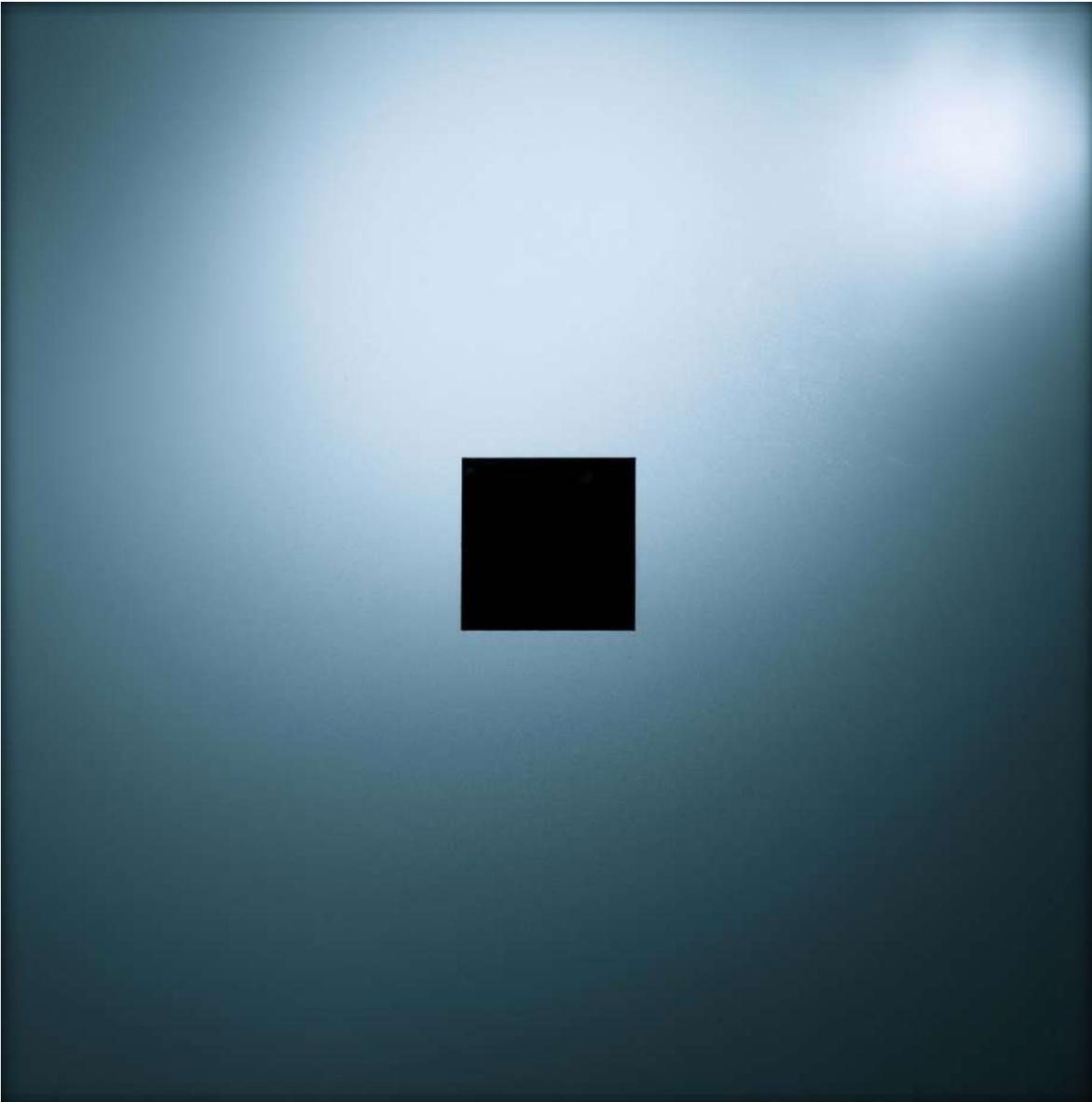


Imagen 71

Hostage pt. 1

Frederik De Wilde

2010

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

7 × 7 cm

De Wilde, Frederik. *Hostage pt. 1*,

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/hostage-pt-1/> [Consultado abril, 2021].

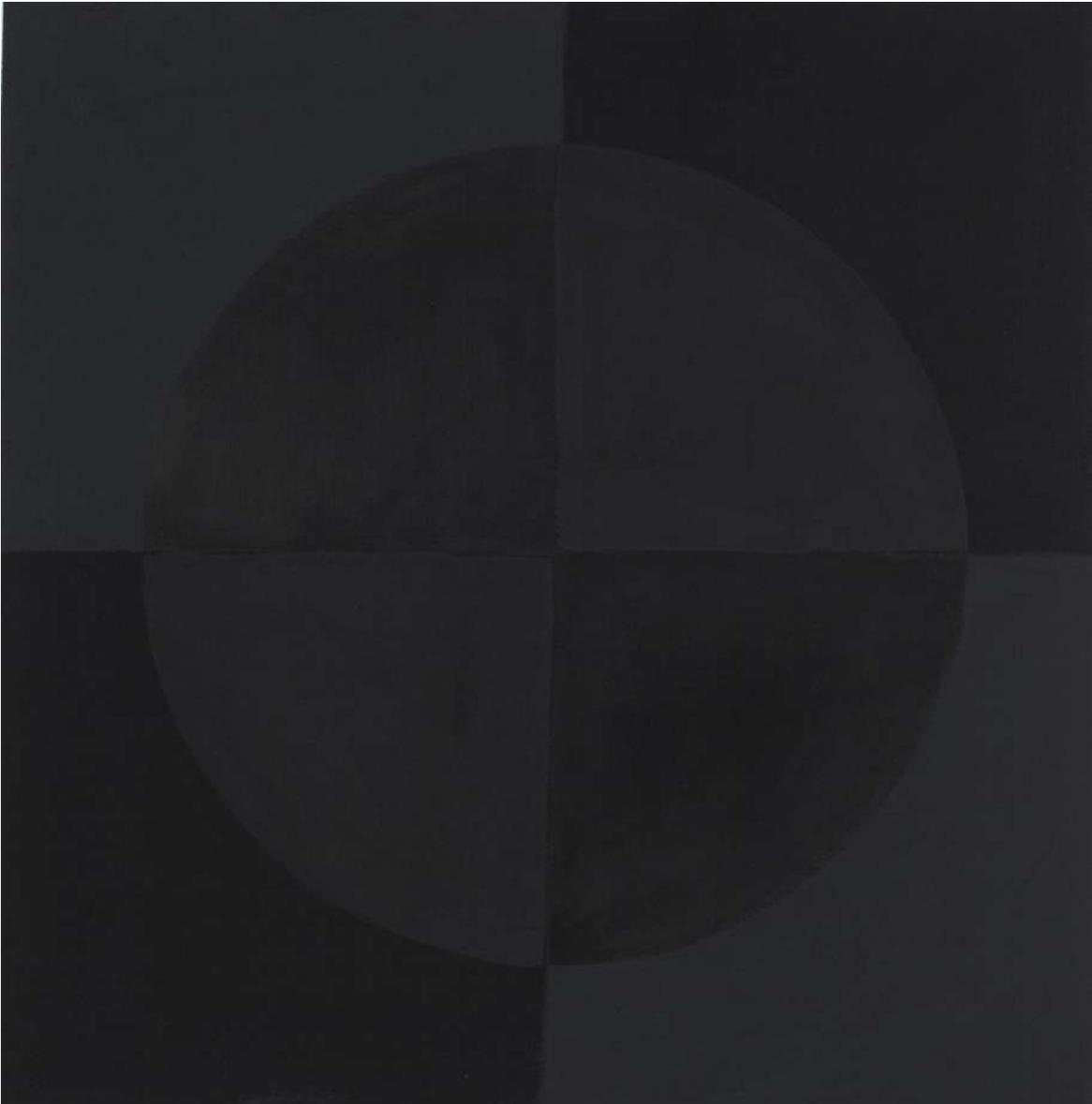


Imagen 72

Swastika

Byron Kim

2015

Pigmento y pegamento sobre panel

40.6 × 40 × 3.3 cm

Imagen obtenida en <https://www.jamescohan.com/artists/byron-kim#14> [Consultado julio, 2021].

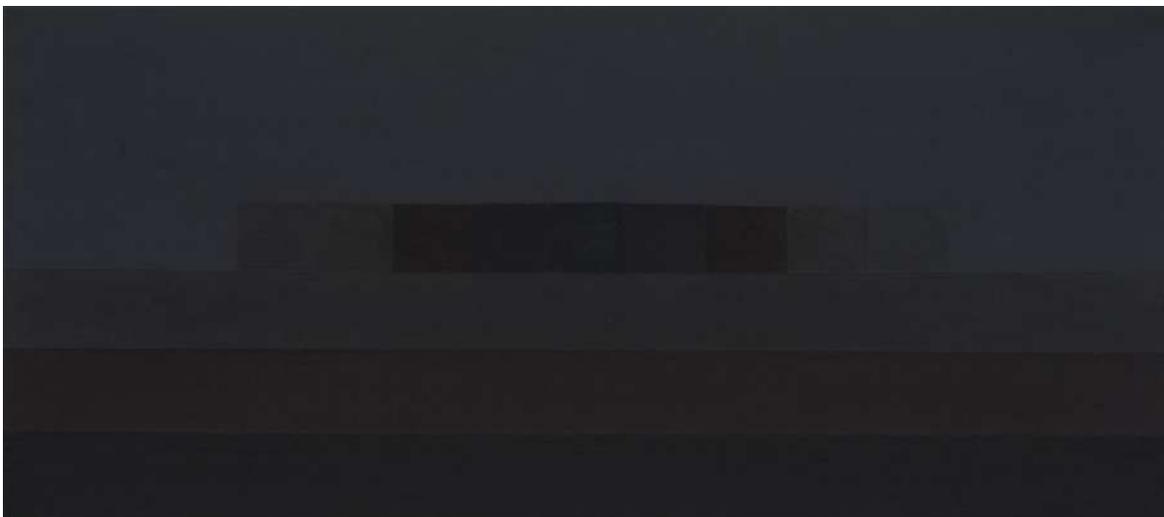


Imagen 73

A Man a Plan a Canal Panama

Byron Kim

2015

Pigmento, pegamento y laca sobre panel

37.5 × 85.7 × 3.3 cm

Imagen obtenida en <https://www.jamescohan.com/artists/byron-kim#14> [Consultado julio, 2021].



Imagen 74

Pond Lily

Byron Kim

2015

Pigmento y pegamento sobre panel

31.8 × 25.4 × 3.2 cm

Imagen obtenida en <https://www.jamescohan.com/artists/byron-kim#14> [Consultado julio, 2021].



Imagen 75

Black Waves #3

Byron Kim

2015

Pigmento, pegamento y laca sobre panel

45.7 × 57.2 × 3.8 cm

Imagen obtenida en <https://www.jamescohan.com/artists/byron-kim#14> [Consultado julio, 2021].



Imagen 76

Trinity, 16 Milliseconds After Detonation

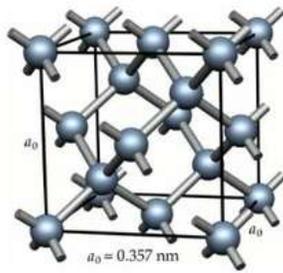
Byron Kim

2015

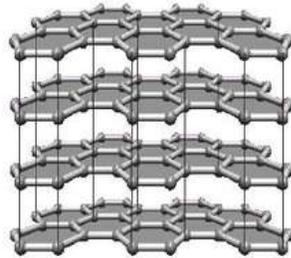
Pigmento y pegamento sobre panel

30.5 × 43.2 × 3.3 cm

Imagen obtenida en <https://www.jamescohan.com/artists/byron-kim#14> [Consultado julio, 2021].



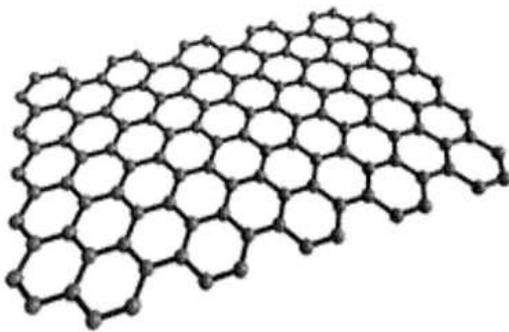
1 Diamante



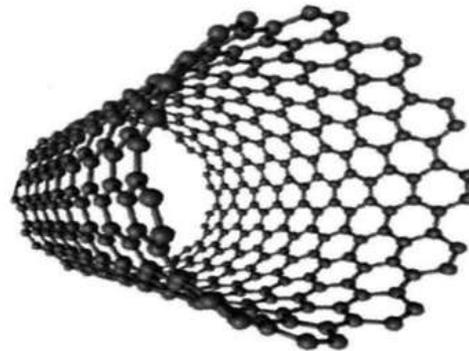
2 Grafito



3 Fullerenos C60



4 Grafeno



5 Nanotubo

Imagen 77
Diagrama
Ernesto Ocampo Ruiz,
México
UNAM
2010.

Imagen obtenida en https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-El-descubrimiento-de-los-materiales-nanoestructurados-ofrece-un-cambio-de_fig3_237029370 [Consultado noviembre de 2022].

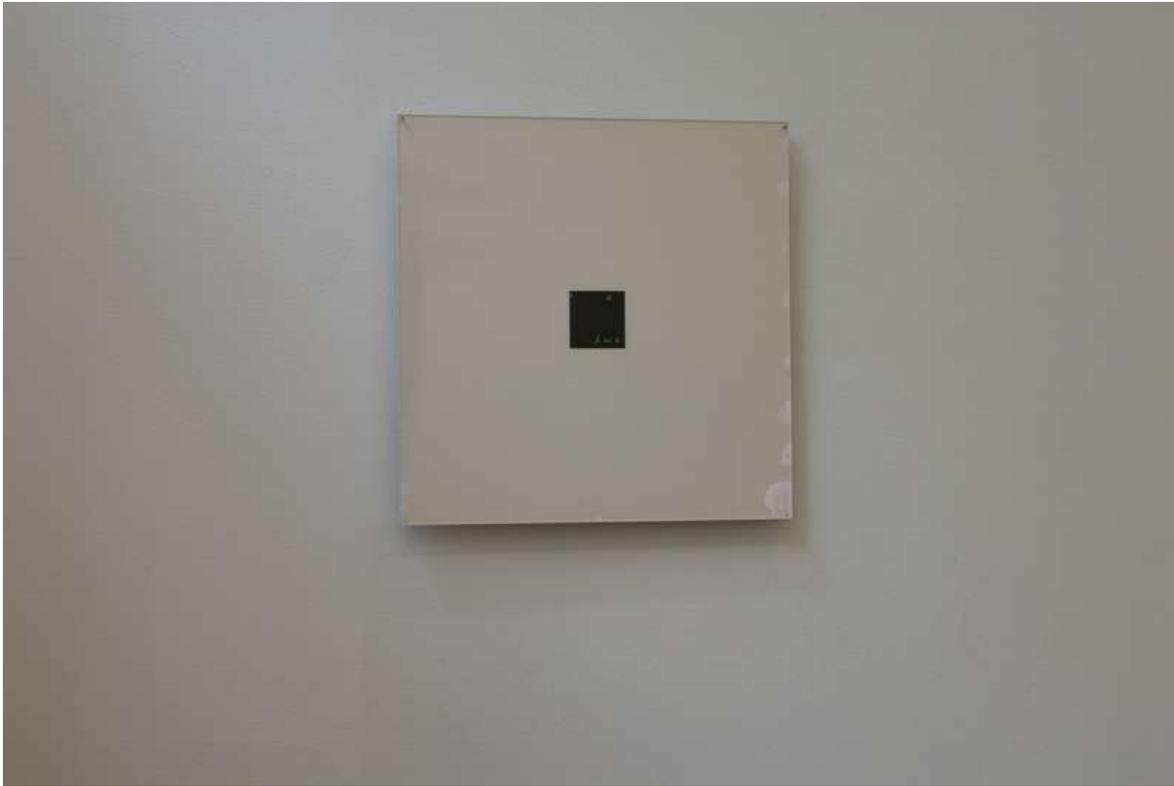


Imagen 78

Hostage pt. 1

Frederik De Wilde

2010

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

7 × 7 cm

Kollaard, Rob. *Hostage pt. 1* (Painting made of carbon nanotubes that reflects only 0,045 % of the light).

Imagen obtenida en https://www.stroom.nl/activiteiten/tentoonstelling.php?t_id=9362077 [Consultado abril, 2021].



Imagen 79

99,9% NanoBlack-Dynamite for the darkness

Frederik De Wilde

2013

Nanotubos de carbono sobre aluminio envasado en una lata de aluminio.

De Wilde, Frederik. *99,9% NanoBlack – Dynamite for The Darkness*,

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/999-nanoblack/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 80

99,9% NanoBlack-Dynamite for the darkness

Frederik De Wilde

2013

Nanotubos de carbono sobre aluminio envasado en una lata de aluminio.

De Wilde, Frederik. *99,9% NanoBlack – Dynamite for The Darkness*

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/999-nanoblack/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 81

99,9% NanoBlack-Dynamite for the darkness

Frederik De Wilde

2013

Nanotubos de carbono sobre aluminio envasado en una lata de aluminio.

De Wilde, Frederik. *99,9% NanoBlack – Dynamite for The Darkness*

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/999-nanoblack/> [Consultado abril, 2021].

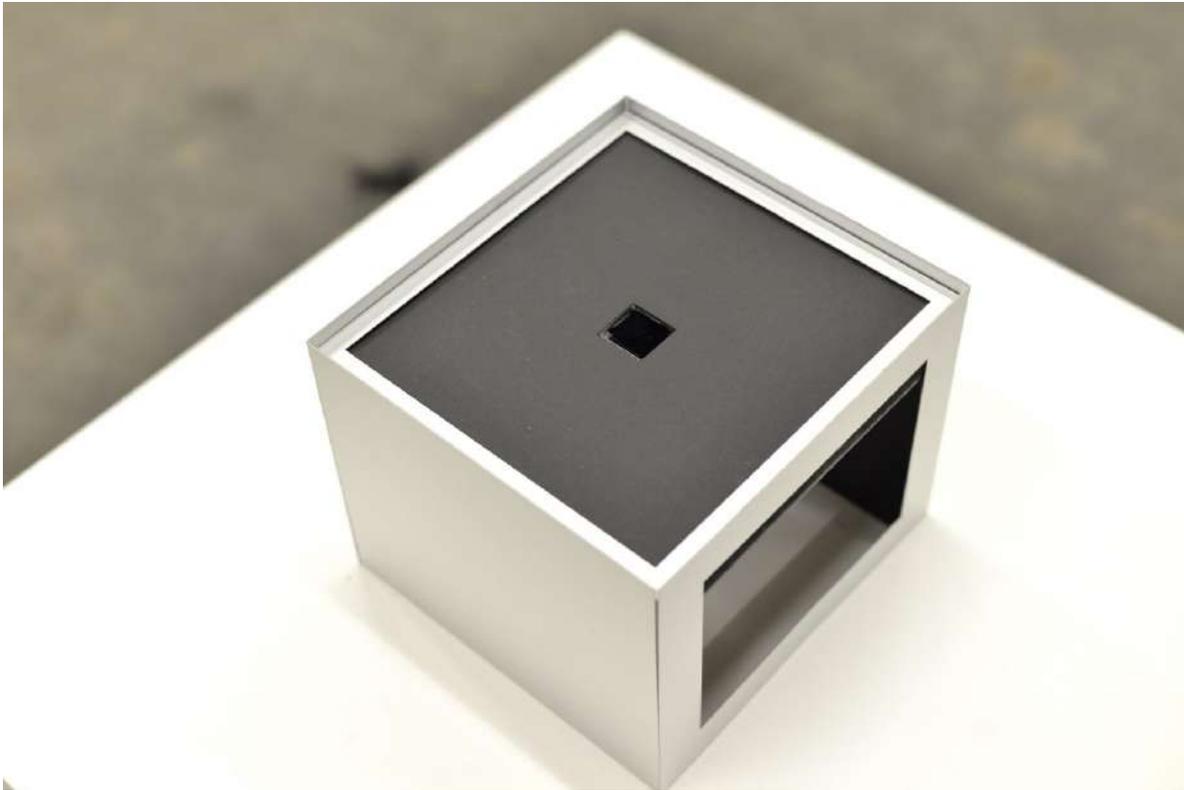


Imagen 82

Scan 1,0

Frederik De Wilde

2015

Nanotubos de carbono

De Wilde, Frederik. *SCAN 1.0*

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/scan-2/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 83

Scan 1,0

Frederik De Wilde

2015

Nanotubos de carbono

De Wilde, Frederik. *SCAN 1.0*

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/scan-2/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 84

NANOblck-Sqr#1

Frederik De Wilde

2014

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

1500 × 1500 cm × 15 cm

F De Wilde, Frederik. *NANOblck-Sqr#1*

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/nanoblck-sqr1/> [Consultado abril, 2021].

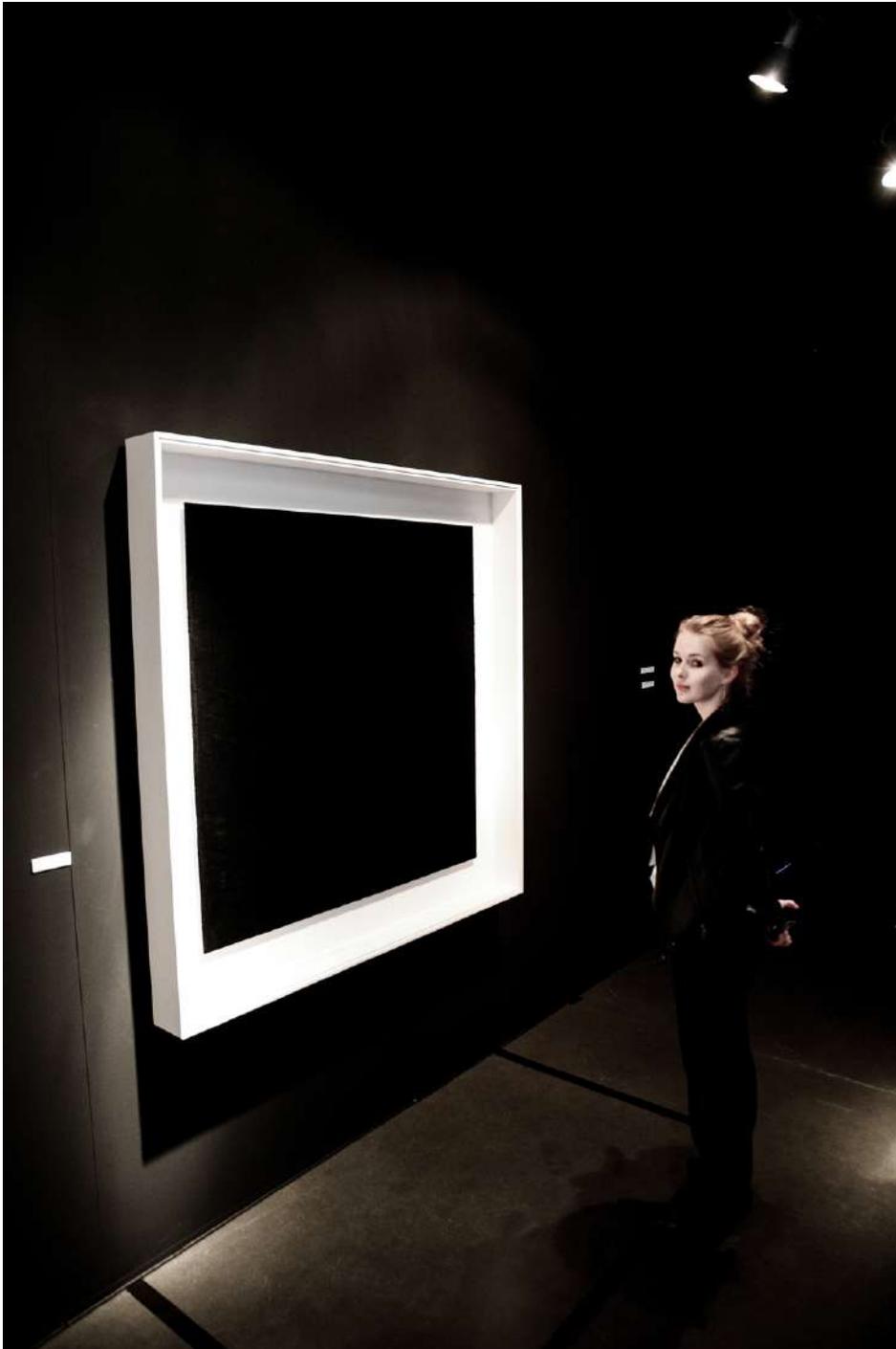


Imagen 85

NANOblick-Sqr#1

Frederik De Wilde

2014

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

1500 × 1500 cm × 15 cm

De Wilde, Frederik. *NANOblick-Sqr#1*

Imagen obtenida en <https://www.laboiteverte.fr/tableau-noir-du-monde/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 86

NASAbIck-Crcl#1

Frederik De Wilde

2014

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

28 cm alto × 5 cm de ancho × 17 cm de profundidad y ø 10,7cm

De Wilde, Frederik. *NASAbIck-Crcl#1* – “*Touching the VOID*”

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/nasabIck-crcl1/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 87

NASAbck-Crcl#1

Frederik De Wilde

2014

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

28 cm alto × 5 cm de ancho × 17 cm de profundidad y ø 10,7 cm

De Wilde, Frederik. *NASAbck-Crcl#1* – “*Touching the VOID*”

Imagen obtenida en <https://frederik-de-wilde.com/project/nasabck-crcl1/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 88

NASAbck-Crcl#1

Frederik De Wilde

2014

Nanotubos de carbono depositados sobre aluminio

28 cm alto × 5 cm de ancho × 17 cm de profundidad y ø 10,7 cm

De Wilde, Frederik. *NASAbck-Crcl#1* – “*Touching the VOID*”

Imagen obtenida en https://www.carrollfletcher.com/exhibitions/35/installation_shots/installation_shots820/

[Consultado abril, 2021].



Imagen 89

Black Iron Ursa

Jason Chase

2017

Singularity Black sobre fierro y madero

Chase, Jason. *Black Iron Ursa*

Imagen obtenida en <https://www.instagram.com/p/B9MeVNoFHga/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 90

Black Iron Ursa

Jason Chase

2017

Singularity Black sobre fierro y madera

Chase, Jason. *Black Iron Ursa*

Imagen obtenida en <https://www.jasonchase.com/singularity-black-art> [Consultado abril, 2021].



Imagen 91

Black Iron Ursa

Jason Chase

2017

Singularity Black sobre fierro y madera

Chase, Jason. *Black Iron Ursa*

Imagen obtenida en <https://www.instagram.com/p/BlhYwd7AWcZ/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 92

The man on the Moon

Guerric de Crombrugghe y Frederik De Wilde

2016

Fotografía y render 3D

de Crombrugghe, Guerric y De Wilde, Frederik. “Artistic Approaches to Design and Manufacturing Techniques Dedicated to Space Applications” en *Leonardo*. MIT Press: 2019. 236.

https://doi.org/10.1162/leon_a_01751 [Consultado abril, 2021].

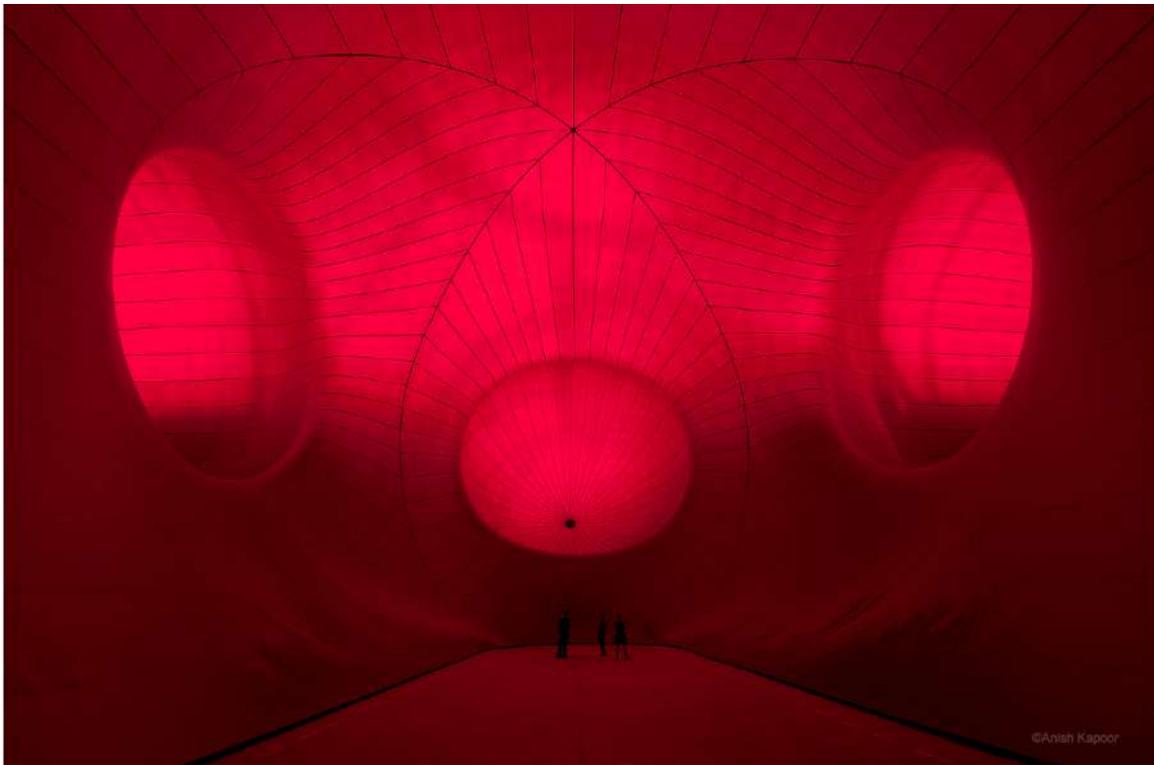


Imagen 93

Leviathan

Anish Kapoor

Año: 2011

PVC

120 × 35 m

s/a, "Leviathan", *Anish Kapoor*, 2011

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/684/leviathan> [Consultado mayo, 2016].



Imagen 94

Leviathan

Anish Kapoor

Año: 2011

PVC

120 × 35 m

s/a, "Leviathan", *Anish Kapoor*, 2011

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/684/leviathan> [Consultado mayo, 2016].



Imagen 95

My red homeland

Anish Kapoor

2003

Cera y pintura de aceite, brazo y motor de acero

1200 cm ø

s/a, "Anish Kapoor", *Guggenheim Bilbao*

Imagen obtenida en <http://www.guggenheim-bilbao.es/exposiciones/anish-kapoor/>, [Consultado mayo, 2016].



Imagen 96

My red homeland

Anish Kapoor

2003

Cera y pintura de aceite, brazo y motor de acero

1200 cm ø

s/a, "Anish Kapoor", *Guggenheim Bilbao*

Imagen obtenida en <http://www.guggenheim-bilbao.es/exposiciones/anish-kapoor/>, [Consultado mayo, 2016].



Imagen 97
Svayambh
Anish Kapoor
2007

Cera y pintura de aceite.

s/a, "Anish Kapoor retrospective at the Royal Academy", *The Telegraph*

Imagen obtenida en <http://www.telegraph.co.uk/culture/culturepicturegalleries/6218813/Anish-Kapoor-retrospective-at-the-Royal-Academy.html?image=1> [Consultado mayo, 2016].



Imagen 98

Svayambh

Anish Kapoor

2007

Cera y pintura de aceite.

s/a, "Anish Kapoor retrospective at the Royal Academy", *The Telegraph*

Imagen obtenida en <http://www.telegraph.co.uk/culture/culturepicturegalleries/6218813/Anish-Kapoor-retrospective-at-the-Royal-Academy.html?image=1> [Consultado mayo, 2016].



Imagen 99

Void

Anish Kapoor

1989

Fibra de vidrio y pigmento

200 × 200 × 100 cm

Kapoor, Anish. *Void*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/67/void> [Consultado julio, 2020].



Imagen 100

Void

Anish Kapoor

1989

Fibra de vidrio y pigmento

200 × 200 × 100 cm

Kapoor, Anish. *Void*

Imagen obtenida en <https://i.pinimg.com/originals/bb/a2/62/bba262ef98887ecc6dfa94ffa952e4d9.jpg>

[Consultado julio, 2020].



Imagen 101

Al borde el mundo II

Anish Kapoor

1998

Fibra de vidrio y pigmento

800 cm ø

Kapoor, Anish. *Al borde el mundo II*

Imagen obtenida en <https://hyperallergic.com/wp-content/uploads/2017/11/everything-art-once-kapoor-lisson-homepage.jpg> [Consultado julio, 2020].



Imagen 102

Al borde el mundo II

Anish Kapoor

1998

Fibra de vidrio y pigmento

800 cm ø

Kapoor, Anish. *Al borde el mundo II*

Imagen obtenida en <https://hyperallergic.com/wp-content/uploads/2017/11/everything-art-once-kapoor-lisson-homepage.jpg> [Consultado julio, 2020].

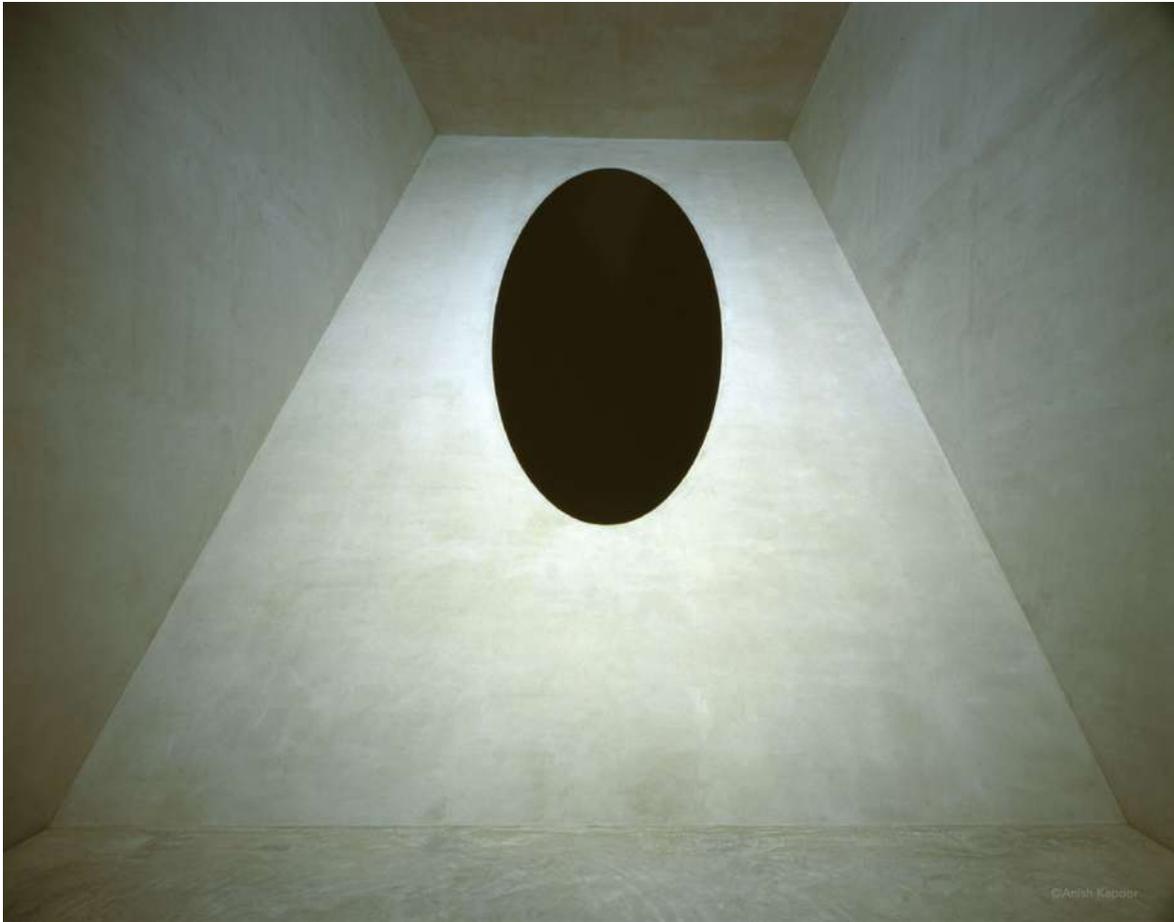


Imagen 103

El origen del mundo

Anish Kapoor

2004

Concreto y pigmento

Kapoor, Anish. *El origen del mundo*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/80/origine-du-monde> [Consultado julio, 2020].



Imagen 104

El origen del mundo

Anish Kapoor

2004

Concreto y pigmento

Kapoor, Anish. *El origen del mundo*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/80/origine-du-monde> [Consultado julio, 2020].



Imagen 105

Descenso al limbo

Anish Kapoor

2018 Concreto y pigmento

600 × 600 × 600 cm

Kapoor, Anish. *Descenso al limbo*

Imagen obtenida en <https://www.dezeen.com/2018/08/20/anish-kapoor-art-accident-descent-into-limbo-serralves-museum/> [Consultado julio, 2020].



Imagen 106

Descenso al limbo

Anish Kapoor

2018

Concreto y pigmento

600 × 600 × 600 cm

Kapoor, Anish. *Descenso al limbo*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/75/descent-into-limbo> [Consultado julio, 2020].



Imagen 107

Descenso al limbo

Anish Kapoor

2018

Concreto y pigmento

600 × 600 × 600 cm

Kapoor, Anish. *Descenso al limbo*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/75/descent-into-limbo> [Consultado julio, 2020].



Imagen 108
Descenso al limbo
Anish Kapoor
2018

Concreto y pigmento
600 × 600 × 600 cm

Kapoor, Anish. *Descenso al limbo*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/75/descent-into-limbo> [Consultado julio, 2020].



Imagen 109

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Kapoor, Anish. *Pabellón del vacío VI*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/6296/void-pavilion-v> [Consultado julio, 2020].



Imagen 110

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Kapoor, Anish. *Pabellón del vacío VI*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/6296/void-pavilion-v> [Consultado julio, 2020].

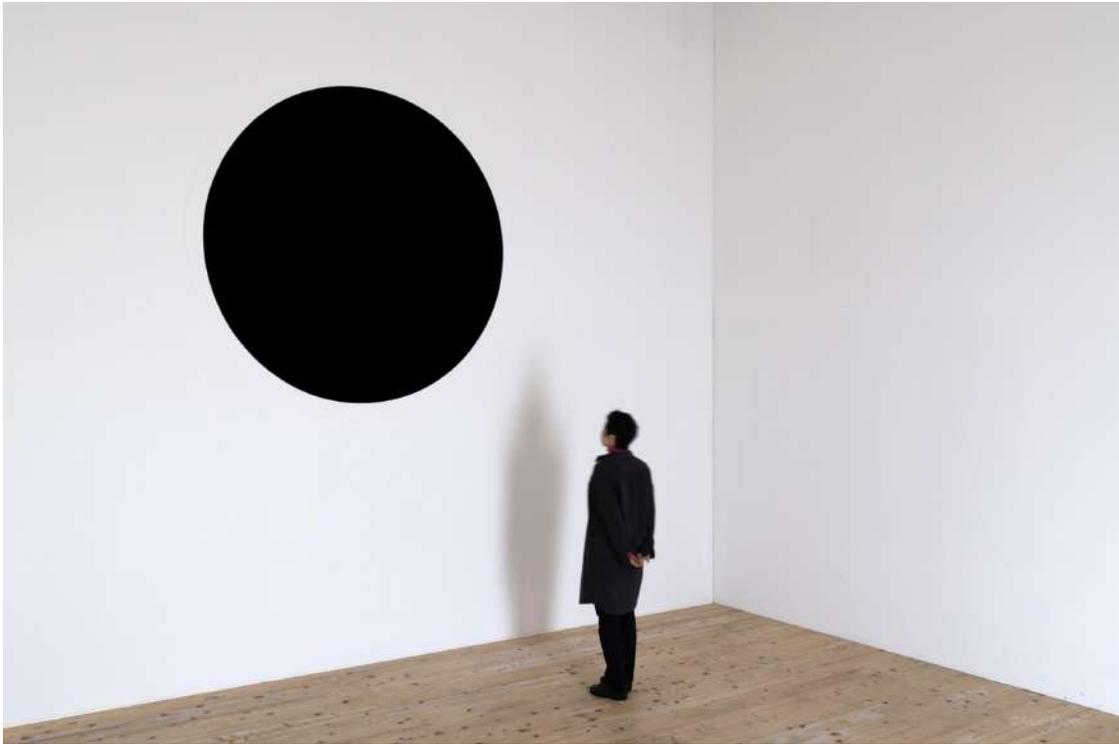


Imagen 111

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Kapoor, Anish. *Pabellón del vacío VI*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/6296/void-pavilion-v> [Consultado julio, 2020].



Imagen 112

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Kapoor, Anish. *Pabellón del vacío VI*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/6296/void-pavilion-v> [Consultado julio, 2020].



Imagen 113

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

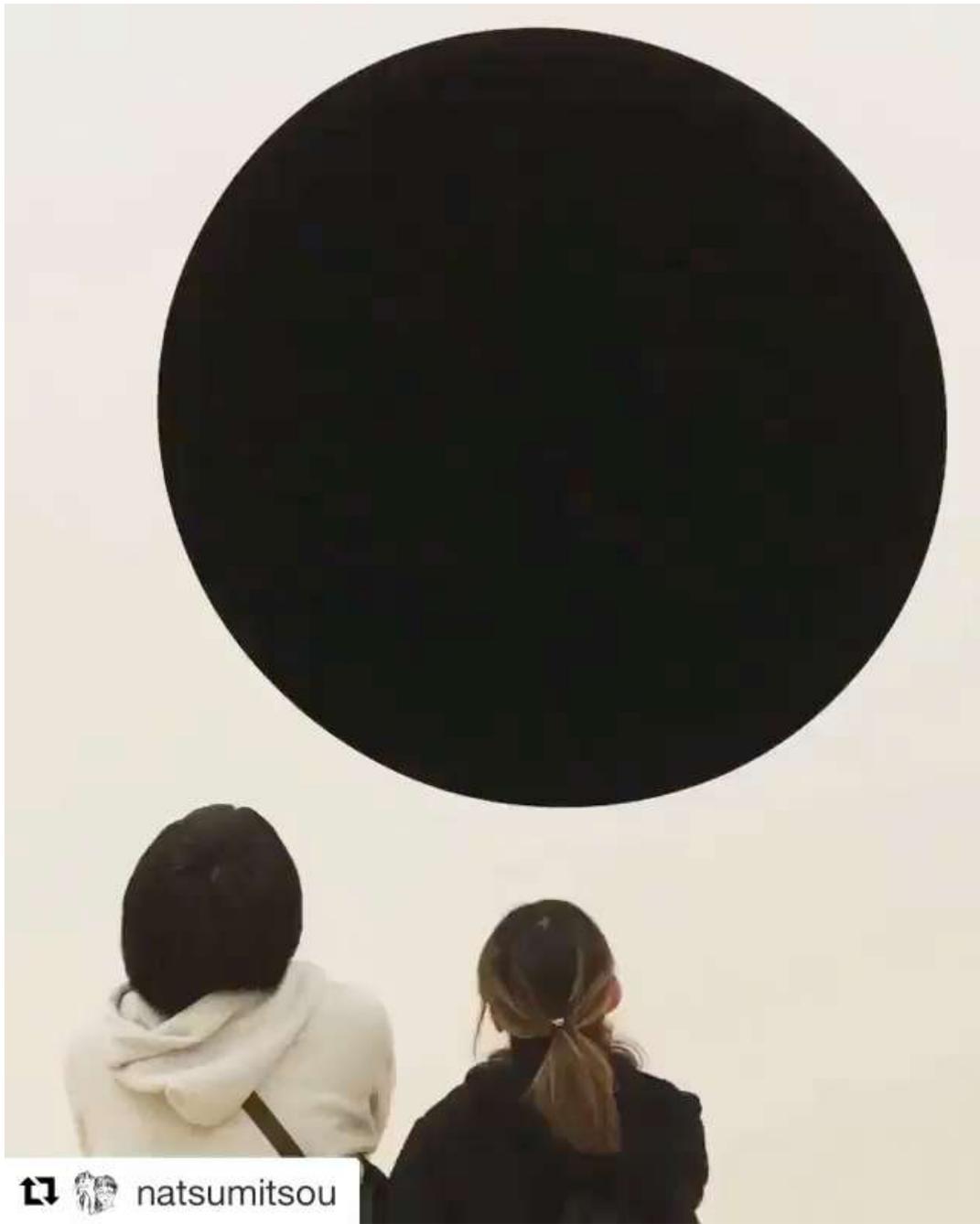
2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Kapoor, Anish. *Pabellón del vacío VI*

Imagen obtenida en <http://anishkapoor.com/6296/void-pavilion-v> [Consultado julio, 2020].



Video 1

Pabellón del vacío VI

Anish Kapoor

2018

Madera, concreto y pigmento

600 × 600 × 1200 cm

Hayashi, Natsumi.

Video consultado en https://www.instagram.com/p/BquabMugOPo/?utm_source=ig_web_copy_link
[Consultado julio, 2020].

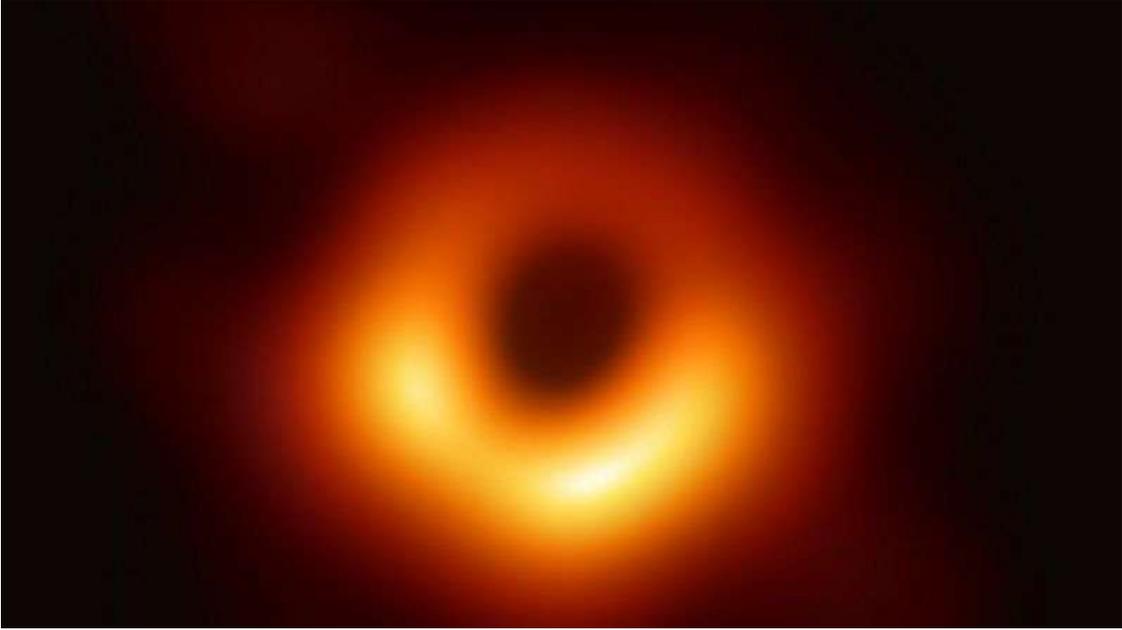


Imagen 114

M87 en la galaxia Messier 87

Event Horizon Telescope

2019

Fotografía utilizando ondas de radio de 1,3 mm.

EHT Collaboration, *M87*

Imagen obtenida en <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56517869>, [Consultado abril, 2021].

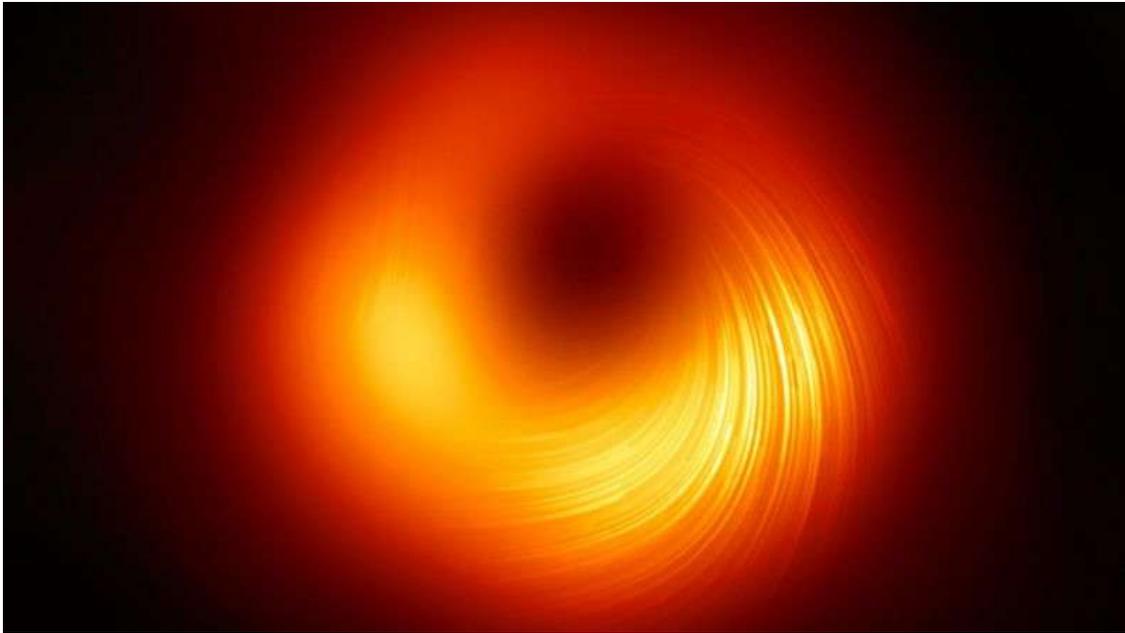


Imagen 115

M87 en la galaxia Messier 87

Event Horizon Telescope

2021

Fotografía en luz polarizada.

EHT Collaboration, *M87*

Imagen obtenida en <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56517869> [Consultado abril, 2021].



Imagen 116

The Blackest Little Black Dress

Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

Chase, Jason. *The Blackest Little Black Dress*

Imagen obtenida en <https://www.instagram.com/p/BkWgLCEArBU/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 117

The Blackest Little Black Dress

Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

Chase, Jason. *The Blackest Little Black Dress*

Imagen obtenida en <https://www.instagram.com/p/B73pY0WIUEk/> [Consultado abril, 2021].



Imagen 118

The Blackest Little Black Dress

Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

Chase, Jason. *The Blackest Little Black Dress*

Imagen obtenida en <https://www.wbur.org/artery/2019/10/24/singularity-black-nanolab> [Consultado abril, 2021].



Imagen 119

The Blackest Little Black Dress

Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

Hull, James. *The Blackest Little Black Dress*

Imagen obtenida en <http://www.bu.edu/articles/2018/jason-chase-singularity-black-paint> [Consultado abril, 2021].



Video 2

The Blackest Little Black Dress

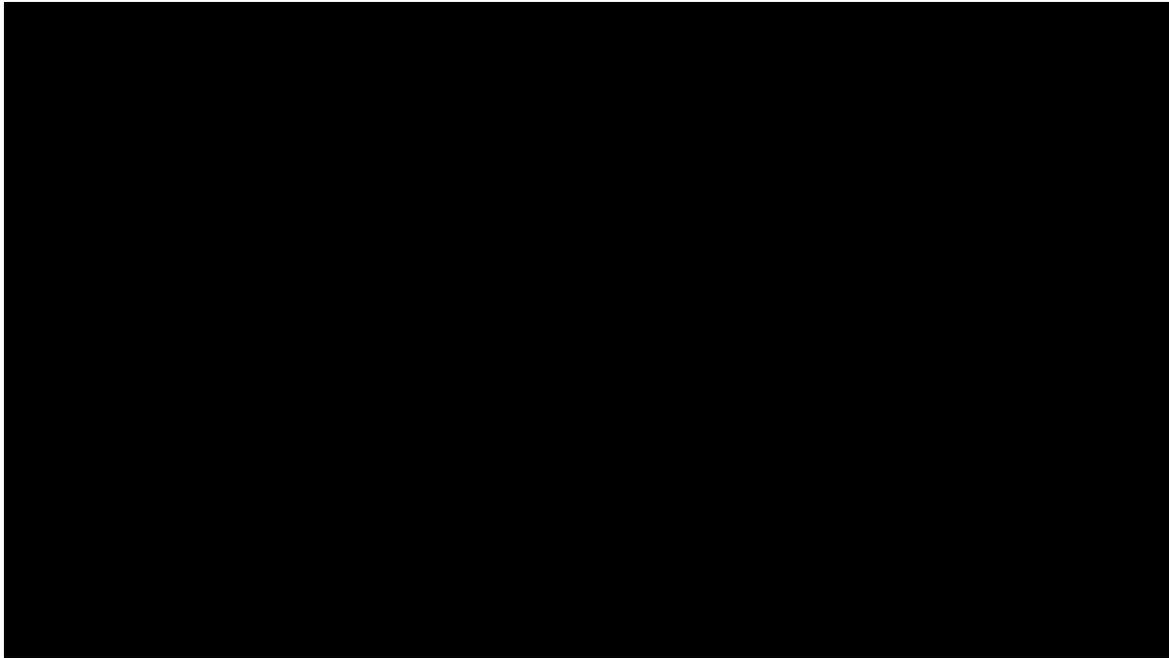
Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

Chase, Jason. *The Blackest Little Black Dress*

Video consultado en https://www.instagram.com/p/BgP_QFmj5Be/ [Consultado abril, 2021].



Video 3

The Blackest Little Black Dress

Jason Chase

2018

Singularity Black sobre tela

LeMay, Jack. *Blackest Little Black Dress on Earth*

Video consultado en <https://vimeo.com/276092974> [Consultado abril, 2021].



Video 4

The Invisible Man

Jason Chase

2018

Singularity Black e impresión 3D.

Chase, Jason. *The Invisible Man*

Video consultado en <https://www.youtube.com/watch?v=AOKZxax2Ngc> [Consultado abril, 2021].



Imagen 120
Triadisches Ballett
Oskar Schlemmer
1922

Imagen obtenida en <https://proyectoidis.org/ballet-triadico/> Consultado julio, 2021].



Imagen 121
Triadisches Ballett
Oskar Schlemmer
1922

Atelier Grill, Bauhaus-Archiv Berlin

Imagen obtenida en https://hyperallergic.com/322396/the-long-shadow-of-artificial-darkness-on-modern-culture/?utm_medium=email&utm_campaign=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture&utm_content=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture+CID_9a29a3e0d6d09704b426ff8555aa06e4&utm_source=HyperallergicNewsletter Consultado julio, 2021].



Imagen 122

Triadisches Ballett

Oskar Schlemmer

1922

Atelier Grill, Bauhaus-Archiv Berlin

Imagen obtenida en https://hyperallergic.com/322396/the-long-shadow-of-artificial-darkness-on-modern-culture/?utm_medium=email&utm_campaign=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture&utm_content=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture+CID_9a29a3e0d6d09704b426ff8555aa06e4&utm_source=HyperallergicNewsletter Consultado julio, 2021].



Imagen 123

Triadisches Ballett

Oskar Schlemmer

1922

Atelier Grill, Bauhaus-Archiv Berlin

Imagen obtenida en https://hyperallergic.com/322396/the-long-shadow-of-artificial-darkness-on-modern-culture/?utm_medium=email&utm_campaign=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture&utm_content=The+Long+Shadow+of+Artificial+Darkness+on+Modern+Culture+CID_9a29a3e0d6d09704b426ff8555aa06e4&utm_source=HyperallergicNewsletter [Consultado julio, 2021].



Imagen 124 y 125

VL Flock Sheet.

KoPro

2021

Imagen obtenida en <https://www.ko-pro.black/flocksheets/> [Consultado julio, 2021].



Imagen 126 y video 5

Photographer Uses World's Blackest Material as a Backdrop (a la izquierda Pro Black Backdrop, a la derecha VL Flock Sheet).

Mathieu Stern

TTArtisan 50mm, f 0.95, ISO 125, 1/50 s.

Imagen 124 obtenida en <https://petapixel.com/2021/04/27/photographer-uses-worlds-blackest-material-as-a-backdrop/> [Consultado abril, 2021].

Video 2 <https://www.youtube.com/watch?v=5y2NRtmpZbc> [Consultado abril, 2021].



Imagen 127

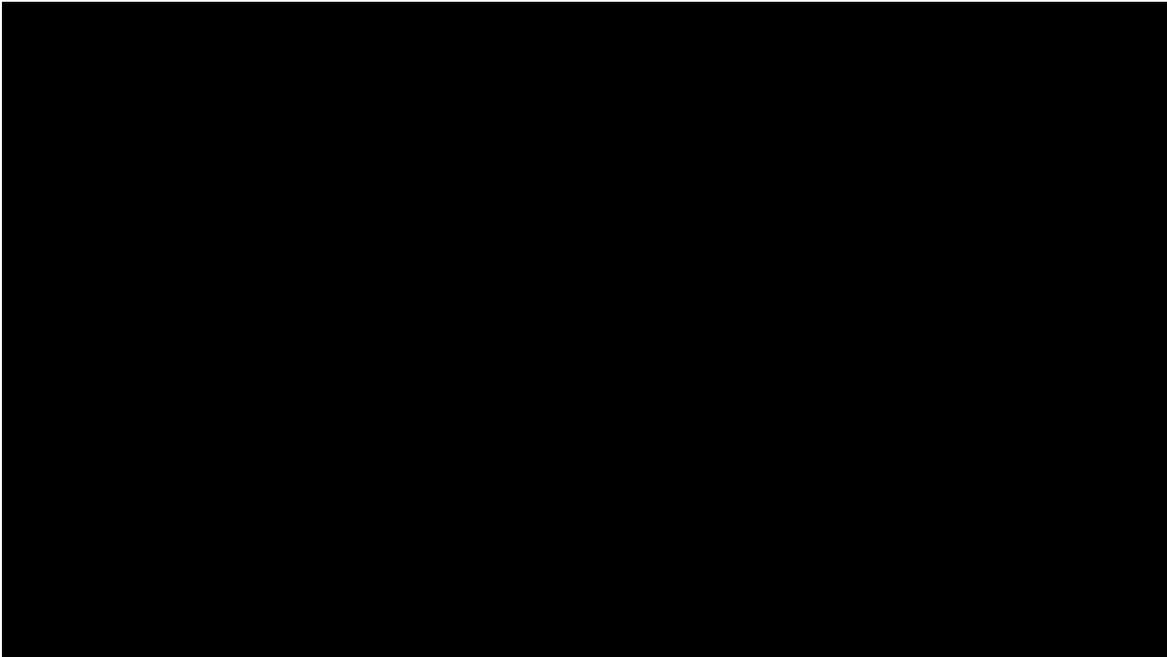
Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021].



Video 6

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Video obtenido en <https://www.youtube.com/watch?v=l9v15HZPD5A> [Consultado agosto, 2021].



Imagen 128

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021].



Imagen 129

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/hyundai-pavilion-asif-khan-viste-un-pabellon-con-el-material-mas-oscurο-del-mundo/> [Consultado agosto, 2021].

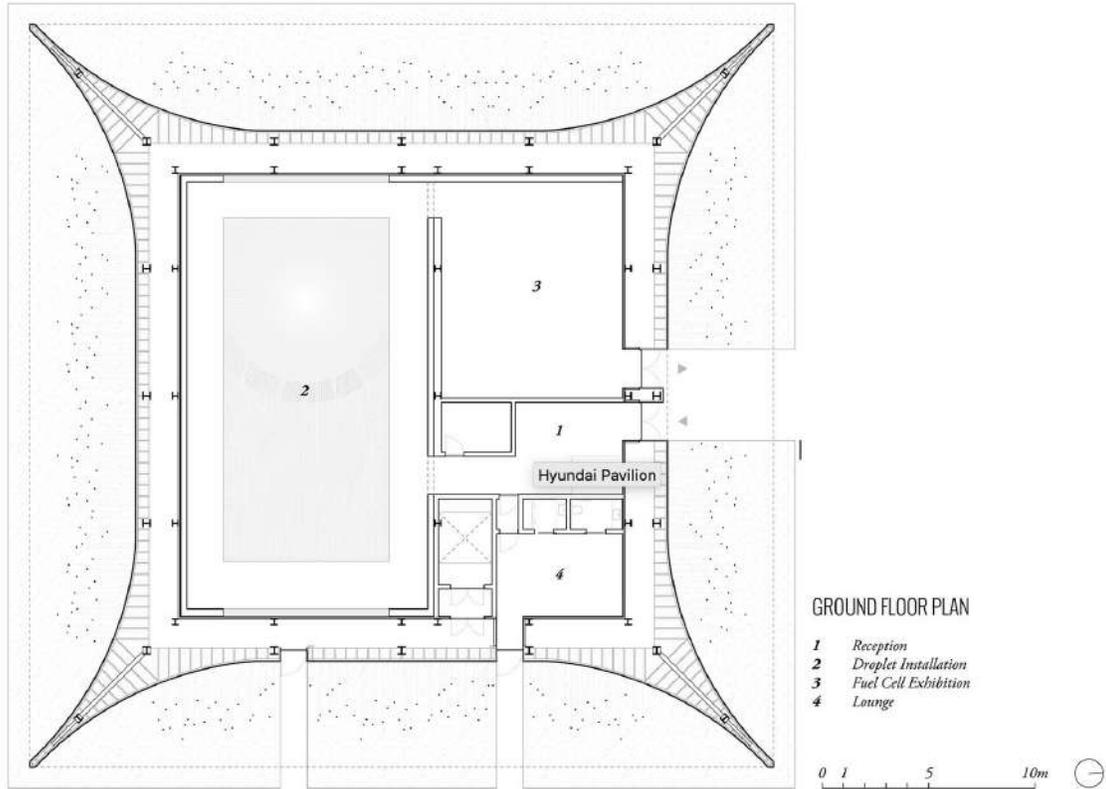


Imagen 130

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021].



Imagen 131
Vantablack VBx2
Instituto de Investigaciones Estéticas, Ciudad Universitaria
Agosto de 2021
Mercedes Alicia Hinojosa Méndez

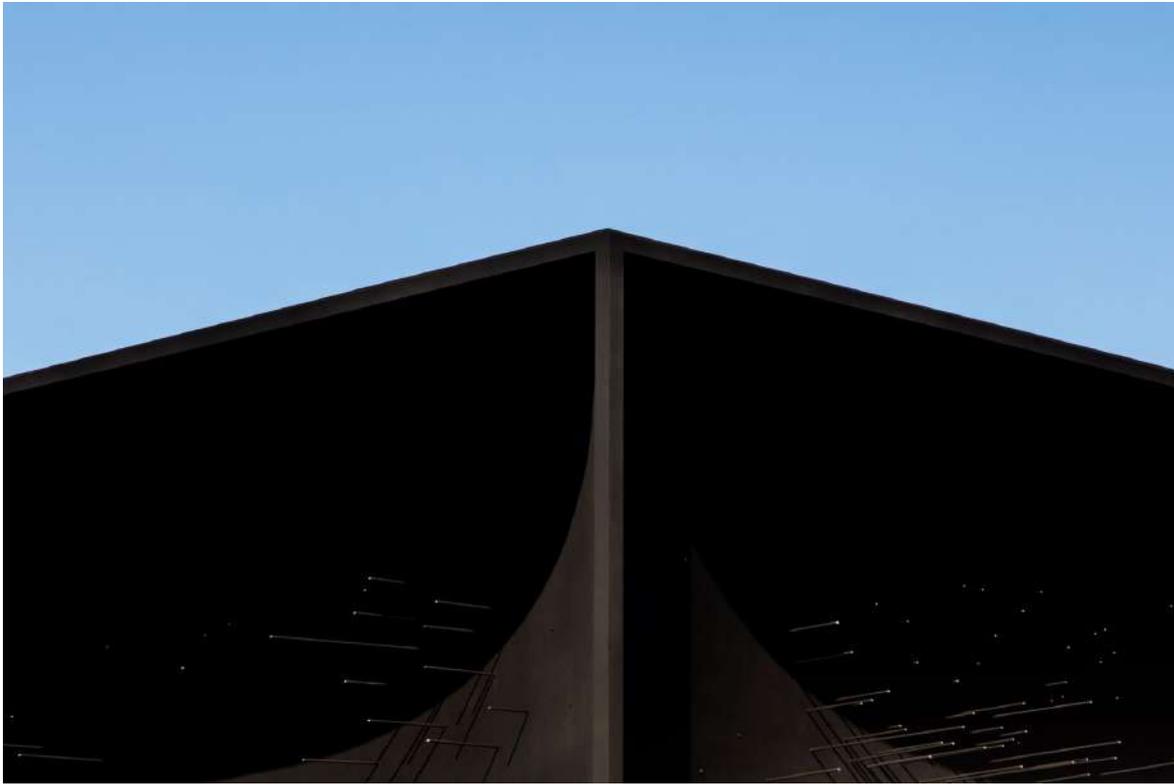


Imagen 132

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021].



Imagen 133

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021].

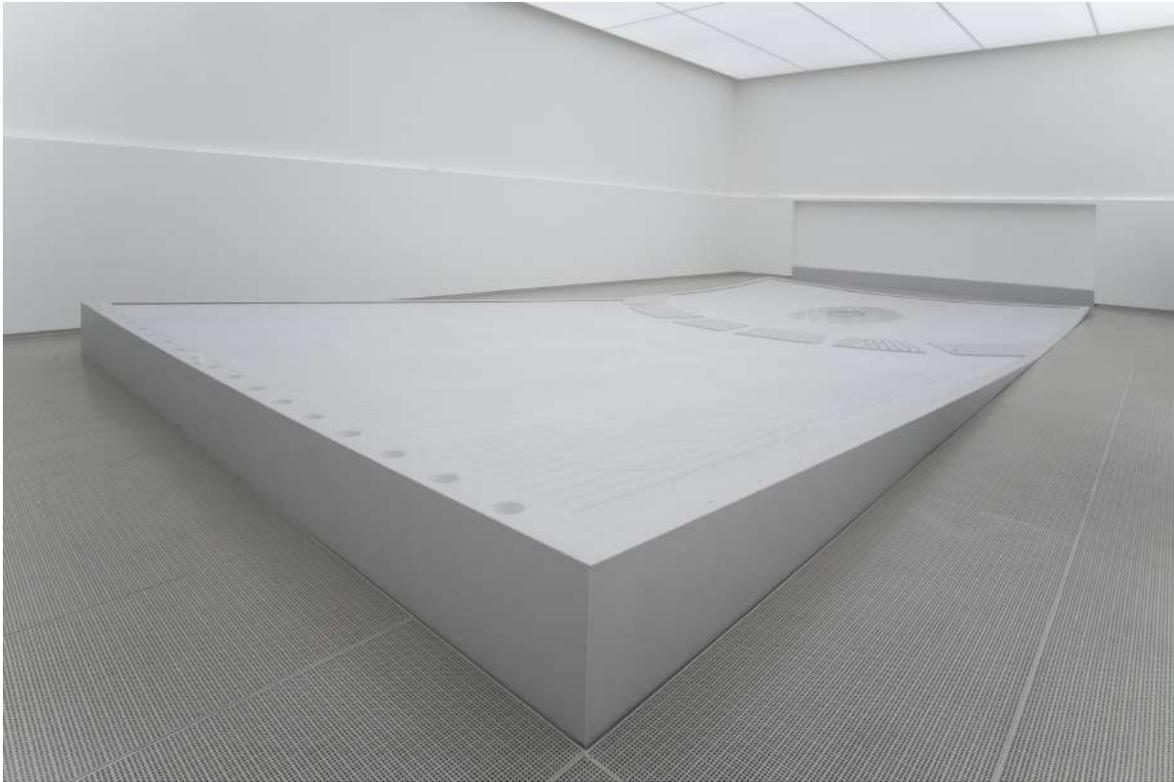


Imagen 134

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pyeongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://stefanhelling.com/projects/hyundai-olympic-pavilion> [Consultado agosto, 2021].

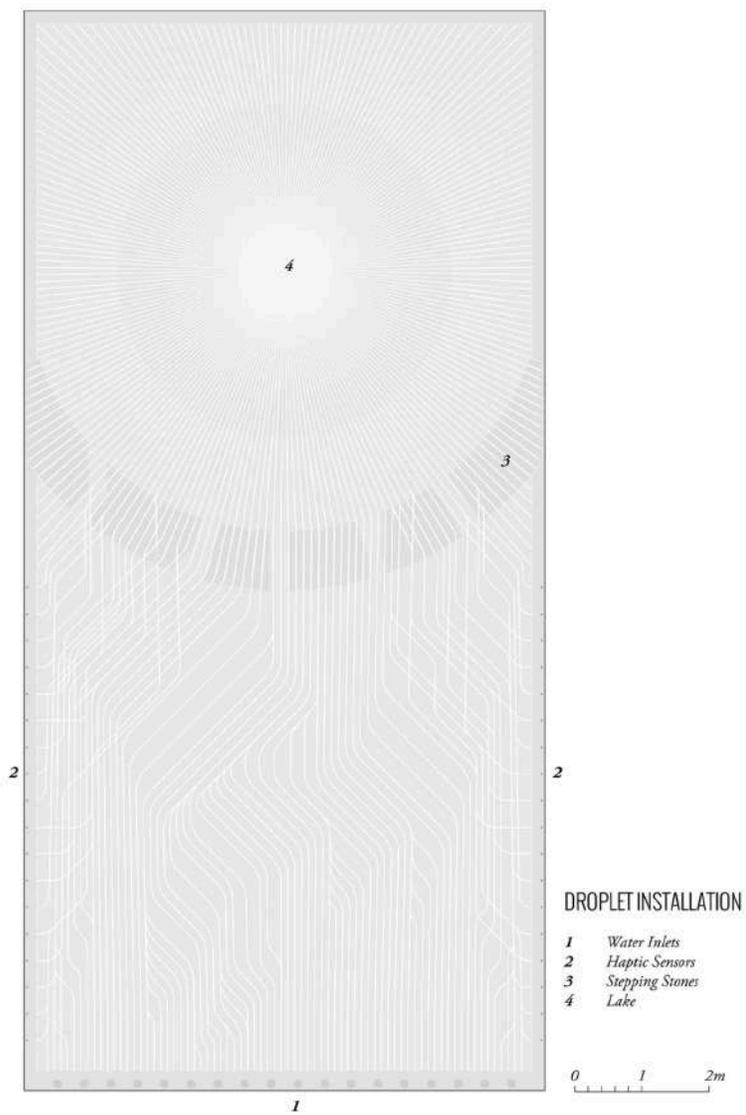


Imagen 135

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 136

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 137

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 138

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021]

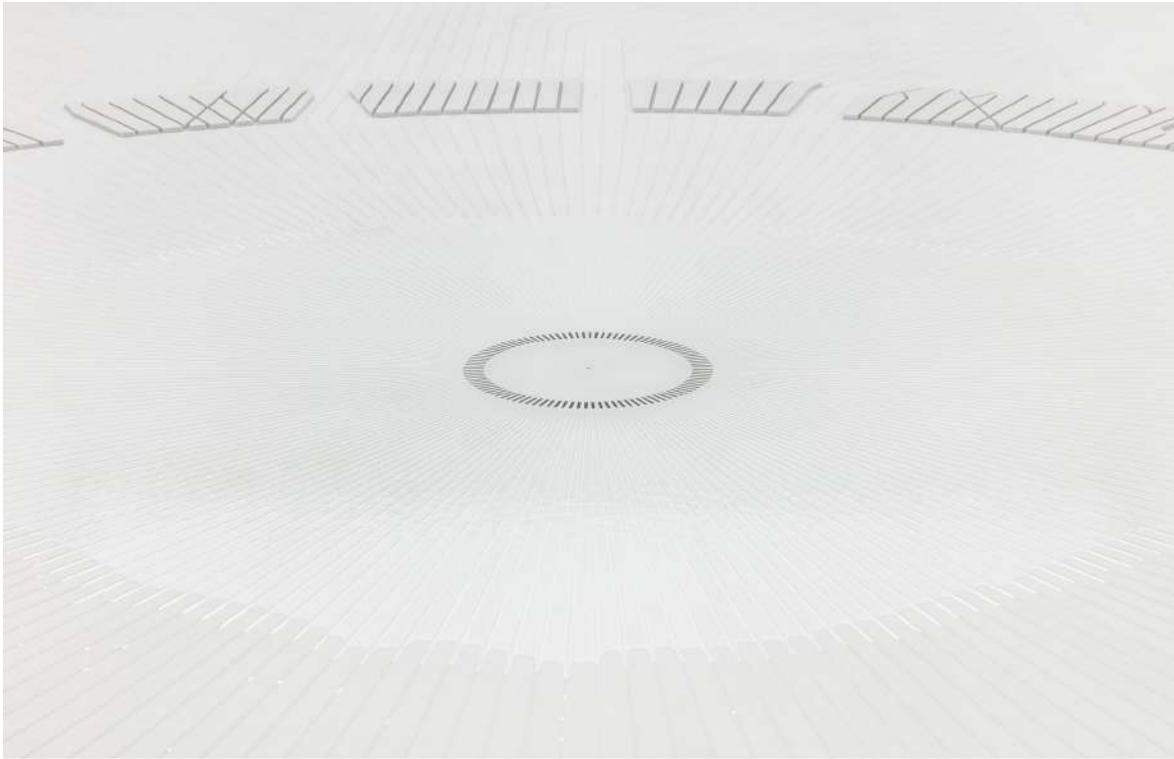


Imagen 139

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <http://www.asif-khan.com/project/hyundai-pavilion/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 140

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 141

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 142

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 143

Hyundai Pavilion

Asif Khan

2018

Parque Olímpico, Pieongchang, Corea del Sur.

Imagen obtenida en <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/> [Consultado agosto, 2021]



Imágenes 144 y 145

The VBX6

BMW

septiembre de 2019

Mercedes Alicia Hinojosa Méndez

Imagen obtenida en <https://www.bmw.com/en/design/the-bmw-X6-vantablack-car.html> [Consultado agosto, 2021]



Imagen 146

The VBX6

BMW

septiembre de 2019

Mercedes Alicia Hinojosa Méndez

Imagen obtenida en <https://www.bmw.com/en/design/the-bmw-X6-vantablack-car.html> [Consultado agosto, 2021]



Imágenes 147

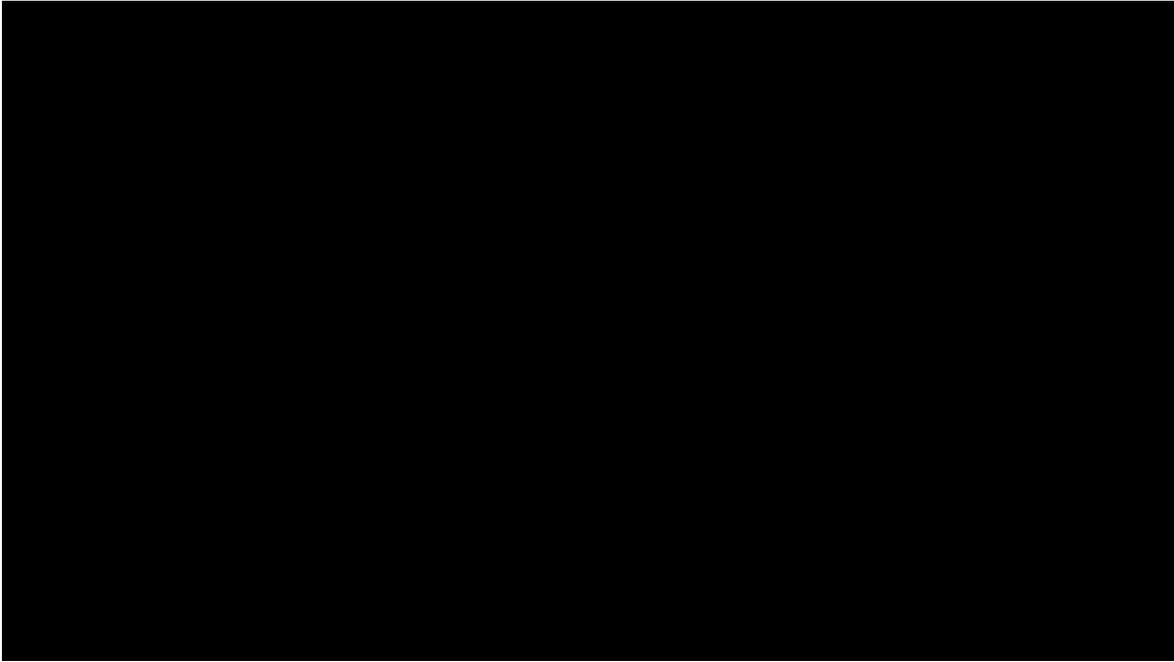
The VBX6

BMW

septiembre de 2019

Mercedes Alicia Hinojosa Méndez

Imagen obtenida en <https://www.bmw.com/en/design/the-bmw-X6-vantablack-car.html> [Consultado agosto, 2021]



Video 7

The all-new BMW X6 Series in Vantablack

BMW

2019

Salón Internacional del Automóvil en Frankfurt, Alemania

Video obtenido en <https://www.youtube.com/watch?v=ozq9dI1aZ94> [Consultado agosto, 2021].



Imagen 148

The story of Coachella 2019 – in photos

Gesaffelstein

Festival de Música y Artes de Coachella Valley

Indio, California.

2019

Imagen obtenida en <https://www.nme.com/photos/story-coachella-2019-photos-2476332> [consultado septiembre, 2021].

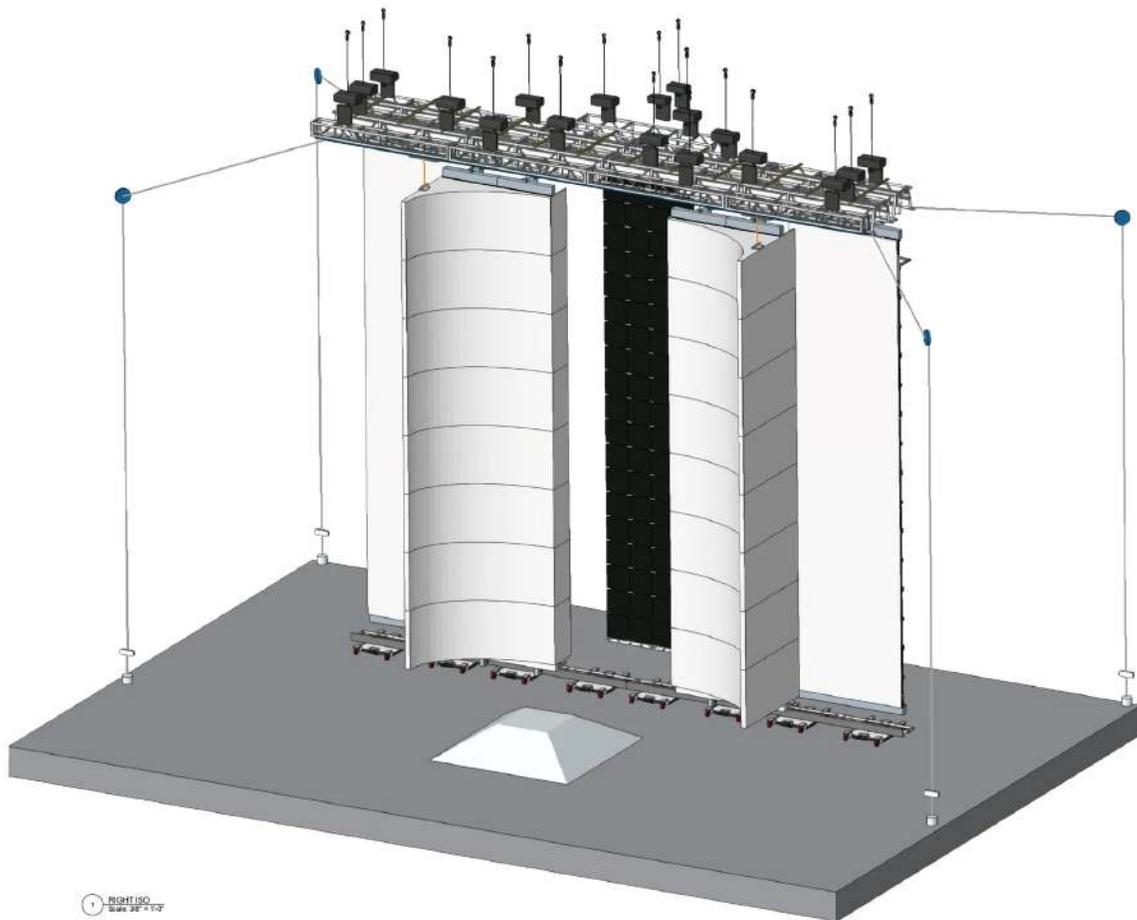


Imagen 149

How Gesaffelstein's Coachella set tricked minds with the world's blackest black. The prince of darkness now performs against the darkest darkness.

Frazer Harrison

Abril, 2019.

Imagen obtenida en <https://www.theverge.com/2019/4/24/18512555/gesaffelstein-coachella-performance-vantablack-monolith> [consultada septiembre de 2021].



Imagen 150
BALMAIN X GESAFFELSTEIN
2019

Imagen obtenida en <https://www.balmain.com/mx/balmain/balmain-x-gesaffelstein> [consultada septiembre de 2021].



Imagen 151 y 152
BALMAIN X GESAFFELSTEIN
2019

Imagen obtenida en <https://www.balmain.com/mx/balmain/balmain-x-gesaffelstein> [consultada septiembre de 2021].

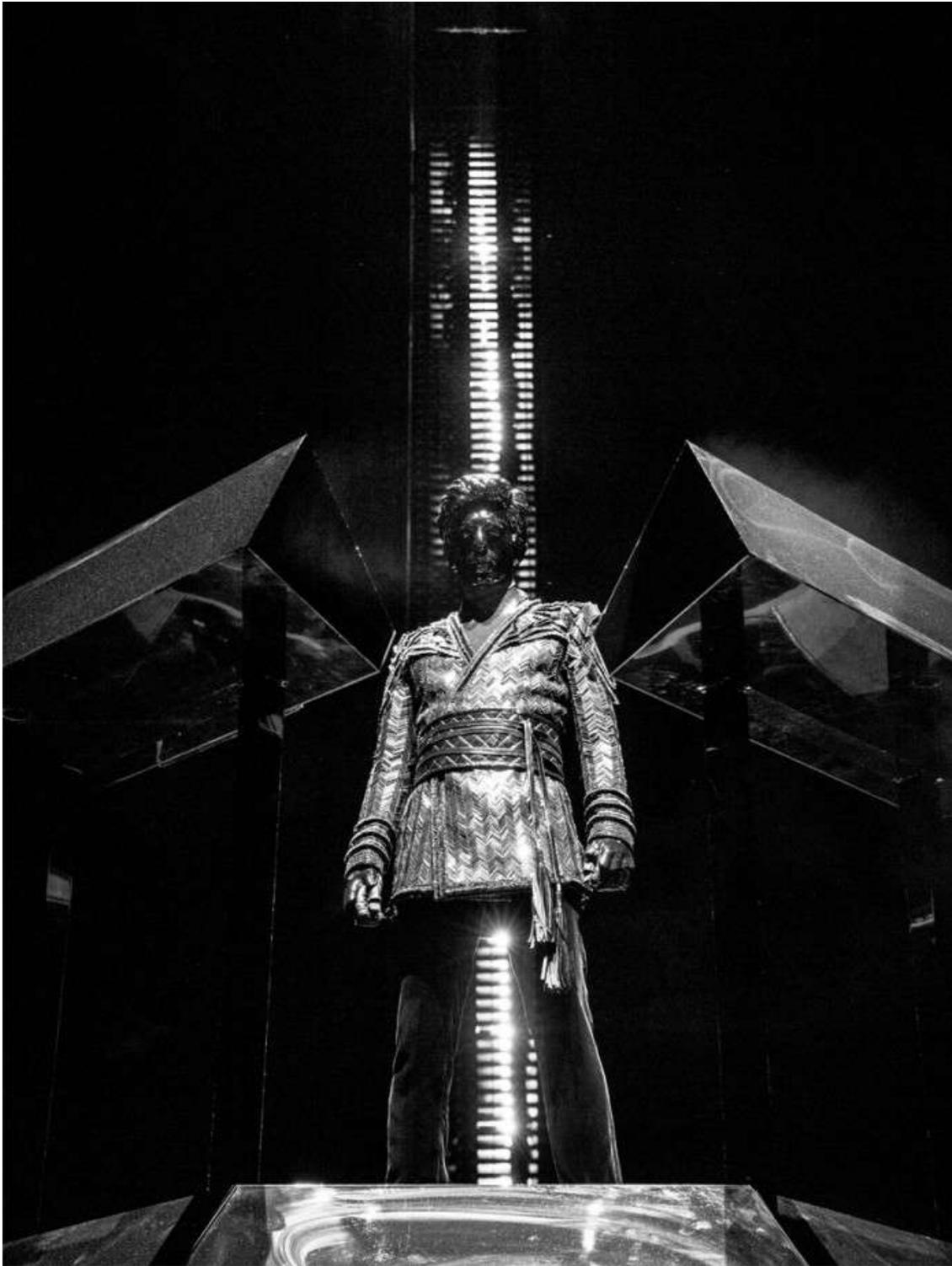


Imagen 153
BALMAIN X GESAFFELSTEIN
2019

Imagen obtenida en <https://www.balmain.com/mx/balmain/balmain-x-gesaffelstein> [consultada septiembre de 2021].



Imagen 154

“Activision’s Call of Duty: Black Ops 4. An immersive experience to launch video game” en *Hill+Knowlton Strategies*.

Imagen obtenida en: <https://ng.hkstrategies.com/case-study/making-the-biggest-entertainment-launch-of-the-year/> [consultada en agosto de 2021]



Imagen 155

“Introducing The H. Moser & Cie Venturer Vantablack Black Hands (Live Pics & Pricing).”

James Stacey

Imagen obtenida en: <https://www.hodinkee.com/articles/the-h-moser-and-cie-venturer-vantablack-black-hands-introducing> [consultada en enero de 2022]



Imagen 156

“Introducing the “Blackest Black” Wristwatch for under US\$500”

Cheryl Chia

Imagen obtenida en:

<https://watchesbysjx.com/2018/10/chronotechna-blackest-black-watch.html> [consultada en enero de 2022]

ANEXOS

Fichas de análisis con técnicas de microscopía de materiales negros

Créditos de imágenes fotográficas (espectro visible, radiación UV, reflectografía infrarroja)

Eumelia Hernández, Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, 2021.

Créditos de las micrografías (Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida)

Elsa Arroyo, Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, 2021.

Créditos del análisis por MEB-EDX

Sandra Zetina, Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, 2021.

Graphite Powder Silver

Fórmula C
 Código 47700
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas



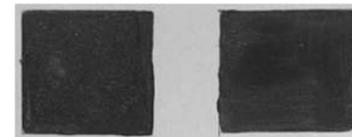
Espectro visible



Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño > 71 μm
 Densidad 2.26 g/cm³ (20°C)
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O < 0.001 g/l (20°C)
 Temperatura de fusión 3,550 ° C
 Temperatura de ebullición 3,750 ° C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

La gruesa granulometría del grafito impide la creación de una solución homogénea con el acrílico que sea capaz de absorber y recubrir todos los granos negros. En la imagen visible se distingue la textura granular de la película pictórica, así como las concentraciones del material en las regiones correspondientes al final de la aplicación con brocha. El grafito en solución acrílica no es capaz de formar una película pictórica fluida y cubriente. Cuando se mezcla con el blanco de titanio, opera un cambio en las propiedades reológicas de la pintura debido a que el tamaño de partícula del pigmento blanco es mucho menor al del grafito, provocando que este último se deposite en la superficie del soporte mientras que los granos gruesos y de color negro se mantienen arriba en el medio. El polvo de óxido titanio contribuye a mejorar la capacidad de la suspensión de formar una película fluida que cubre toda el área de la probeta. No se obtiene una pintura oscura, sino una superficie lustrosa, metálica e irregular.

B. Imagen UV

Ambas pinturas se muestran opacas y sin fluorescencia, el grafito absorbe esta longitud de onda. En la imagen izquierda se observan algunas huellas del pincel que corresponden a la presencia del aglutinante.

C. Reflectograma

El grafito al ser un material con base de carbono se observa opaco al ser analizado con la reflectografía infrarroja, sin embargo, la saturación del negro no alcanza la que registramos en otros pigmentos cuyo tamaño de partícula es menor y su cristalinidad más homogénea como ocurre, por ejemplo, con el negro espinela.

Descripción

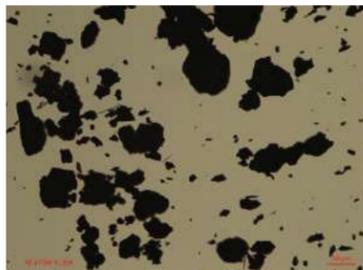
El grafito es un alótropo de carbono formado de manera natural que, debido a su dureza se exfolia con facilidad. El grafito está formado por láminas horizontales de moléculas de carbono, este material no es un conductor de calor por su estabilidad a las altas temperaturas. El grafito sintético se fabrica a partir de antracita y coque de petróleo. (David González Fernández, "Obtención de materiales grafiticos a partir de antracitas", España: Universidad de Oviedo, 2003. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=209924>)

Micrografías

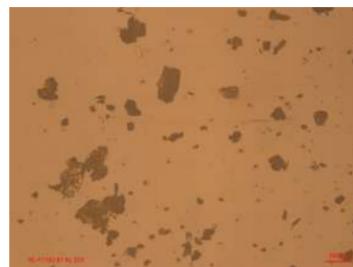
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



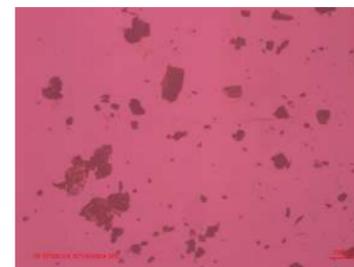
1. TL | 5X



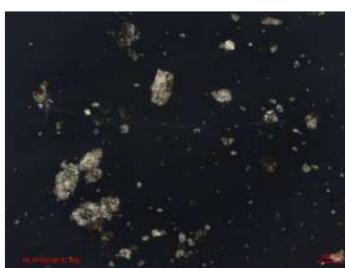
2. TL | 20X



3. BF RL | 10X



4. DIC RL Lambda | 10X



5. DF RL | 10X

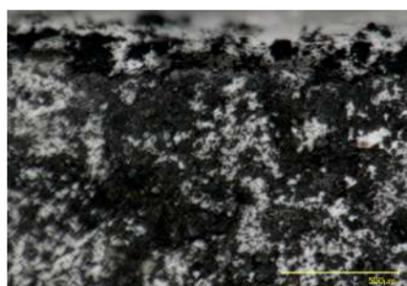
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Euhedral
 Sistema Hexagonal
 cristalino
 Textura Rugosa
 Color Gris metálico
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Tras moler el pigmento es posible obtener cristales aislados; sin embargo, también pueden observarse bloques gruesos.
 Impurezas o mezclas No

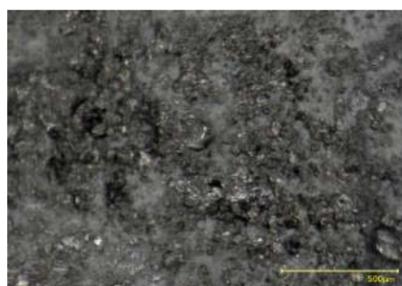
Análisis por técnicas de microscopía



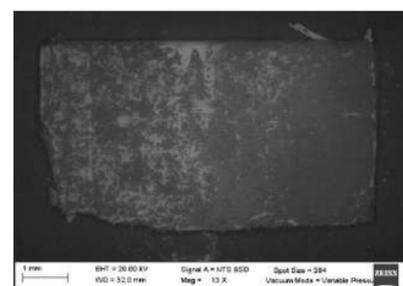
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



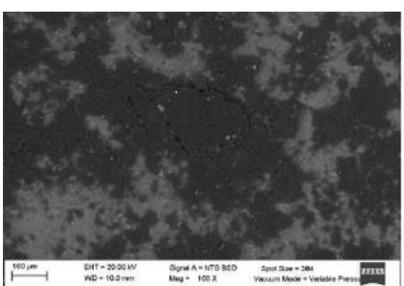
7. M. Keyence 47700 | 200 X



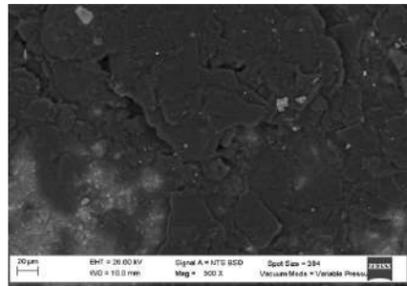
8. M. Keyence 47700+46200 | 200 X



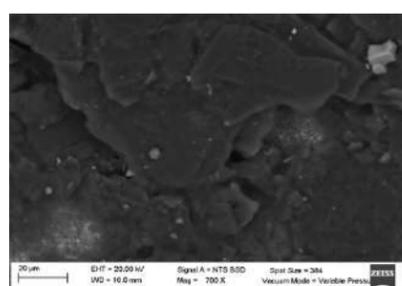
9. MEB Muestra general | 13 X



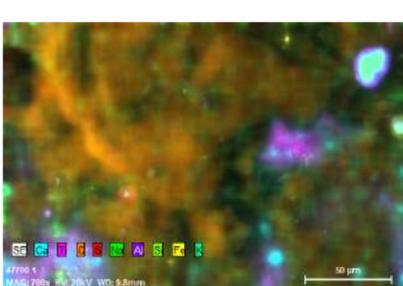
10. MEB 47700 | 100 X



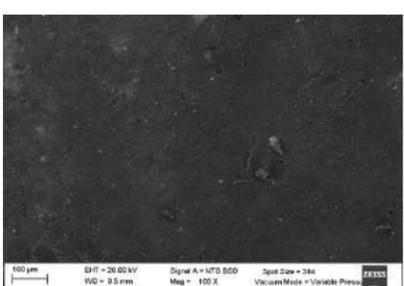
11. MEB 47700 | 300 X



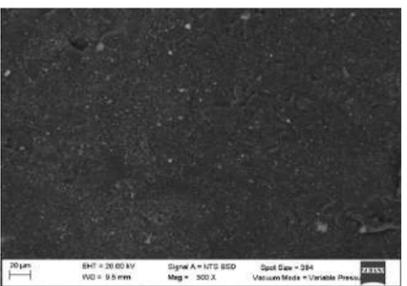
12. MEB 47700 | 700 X



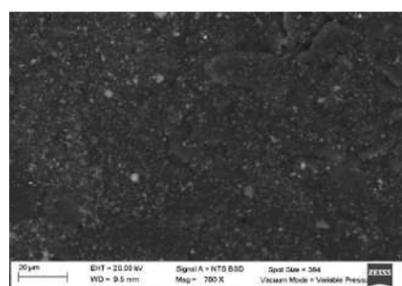
13. MEB Mapeo 47700 | 700 X



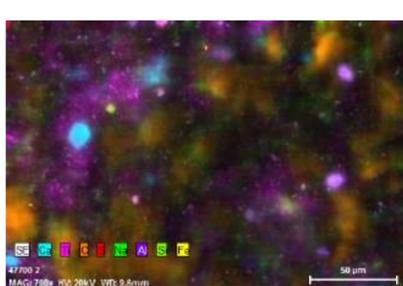
14. MEB 47700+46200 | 100 X



15. MEB 47700+46200 | 300 X

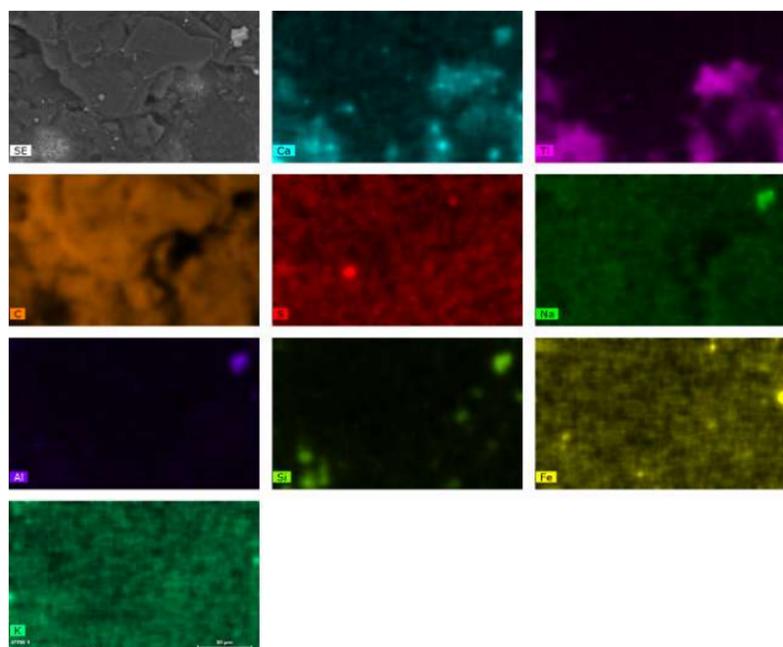


16. MEB 47700+46200 | 700 X

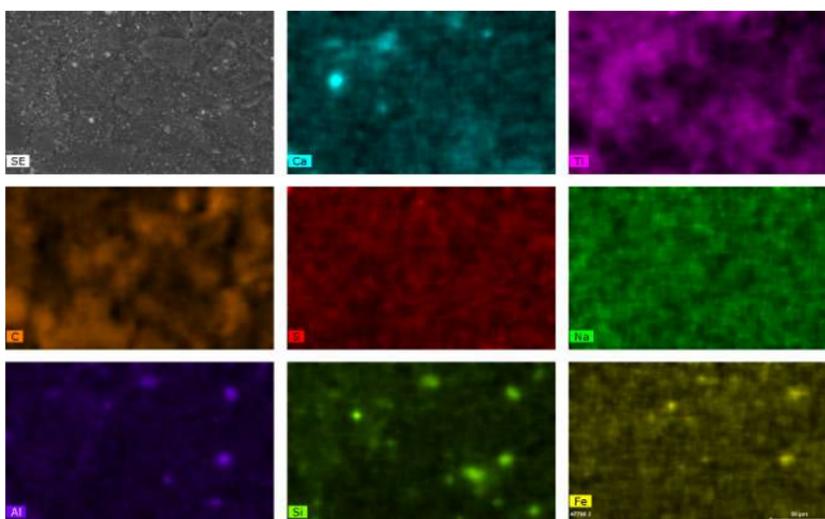


17. MEB Mapeo 47700+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47700)

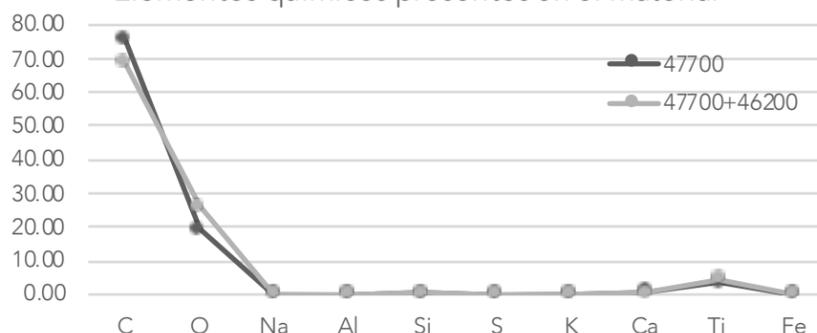


Mapeo químico elemental (47700+46200)



	47700	47700+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	75.47	68.51
O	19.32	26.05
Na	0.12	0.00
Al	0.20	0.20
Si	0.42	0.34
S	0.12	0.13
K	0.00	0.00
Ca	0.75	0.31
Ti	3.46	4.46
Fe	0.13	0.00

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

En las imágenes obtenidas a través del análisis por MEB-EDX podemos observar la distribución de las hojuelas hexagonales del grafito, una sobre otra de manera horizontal, dicha disposición de las partículas corresponde también al mecanismo por el que las hojuelas de grafito se exfolian (imágenes 10-12). En la pintura hecha con grafito y acrílico se observan regiones conglomeradas de material. En las imágenes 13 y 17 se observa presencia importante de C, seguida por O. Hay presencia de trazas de otros elementos como Na, Al, Si, S, Ca, Fe y Ti. En la imagen 13, el Ti no pertenece al sistema 47700+Primal AC 35, sino a la preparación de la madera con Vinimex Vivid B1; por su parte, en la imagen 17 el Ti se observa dentro del sistema 47700+46200+Primal AC 35 y en regiones más amplias de la imagen.

Shungit

Fórmula C
 Código 12040
 Marca Kremer Pigmente

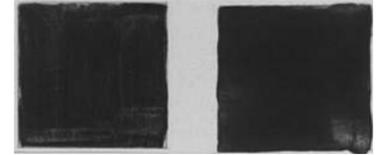
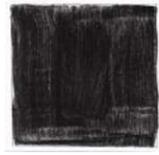
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño < 80 μ
 Densidad 3.51 g/cm³
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C
 Peso atómico 12.0107(g/mol)

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Es un pigmento con un tamaño de partícula grueso que no se fragmenta fácilmente durante el proceso de molienda. Al aplicarse en el sistema de la pintura, es posible percibir en la superficie los granos del pigmento que no fueron totalmente embebidos por el aglutinante. No se forma una película uniforme, quedan marcadas las huellas de las pinceladas. Debido a que la reunión de dos granulometrías mejora las propiedades del sistema de la pintura, con las partículas del titanio relleno los espacios entre las de Shungit.

B. Imagen UV

Ante la radiación ultravioleta, el Shungit no es un material que presente fluorescencia. A la izquierda observamos un material de un negro más intenso y uniforme; a la derecha, la mezcla hecha con blanco de titanio se observa opaca, pero con una ligera reflexión de la luz en el rango azul, debido a la presencia del titanio.

C. Imagen RIR

Los reflectogramas infrarrojos nos permiten mirar más claramente la sintaxis del pincel y corroborar la propiedad de absorción de la luz de los pigmentos con base de carbono que aparecen totalmente opacos bajo el infrarrojo.

Descripción

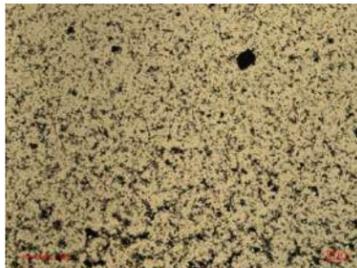
Shungit es un mineral compuesto en 98% por el carbono presente en las rocas de carbón formadas a partir de las algas marinas hace 600 millones de años. Su textura es áspera. El tamaño de partícula de este material es variable de gruesa a muy fina por lo que es difícil registrar la morfología bajo el microscopio óptico.

Micrografías

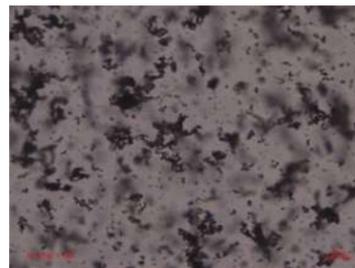
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



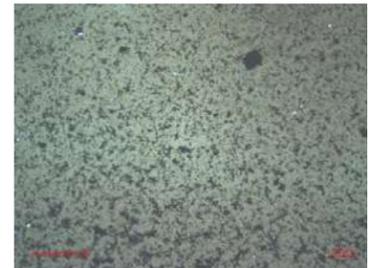
1. TL | 5X



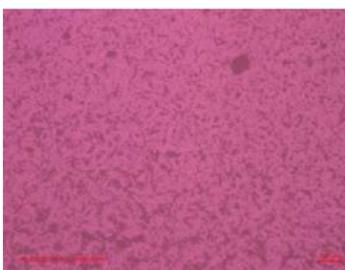
2. TL | 10X



3. TL | 50X



4. DIC RL | 10X



5. DIC RL Lambda | 10X

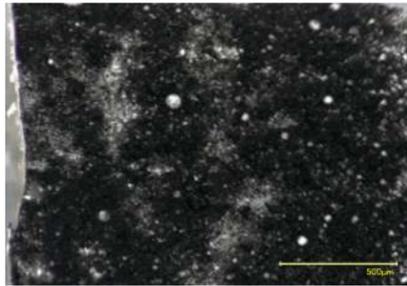
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Amorfa
 Sistema cristalino Ninguno
 Textura Conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo
 Color Negro (tiene algunos destellos brillantes)
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas de este pigmento tienen forma de astillas y escamas irregulares, forman conglomerados y tiras organizadas en forma de espiral.
 Impurezas o mezclas ×

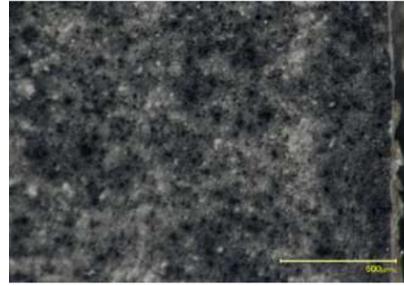
Análisis por técnicas de microscopía



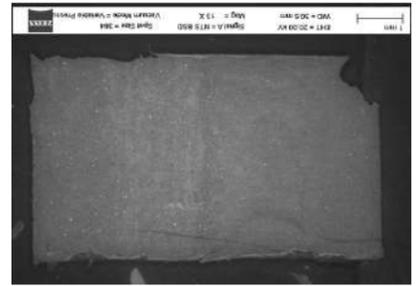
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



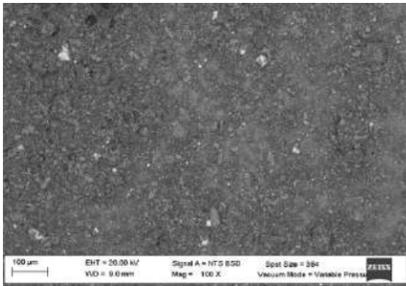
7. M. Keyence 12040 | 200 X



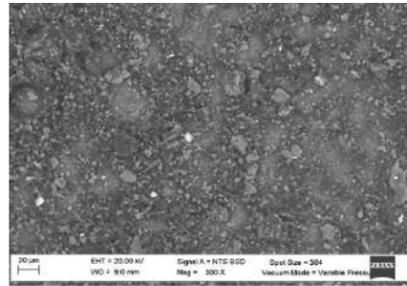
8. M. Keyence 12040+46200 | 200 X



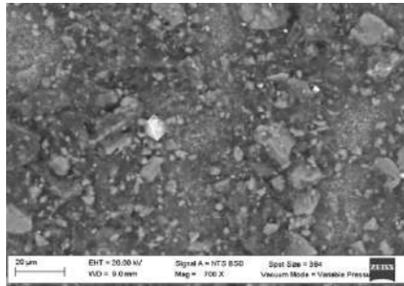
9. MEB Muestra general | 13 X



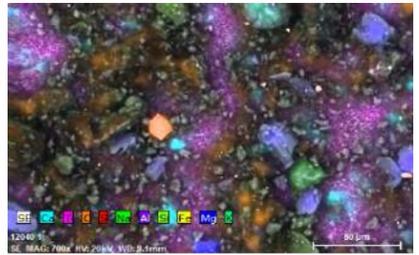
10. MEB 12040 | 100 X



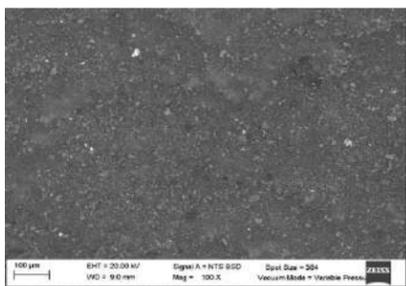
11. MEB 12040 | 300 X



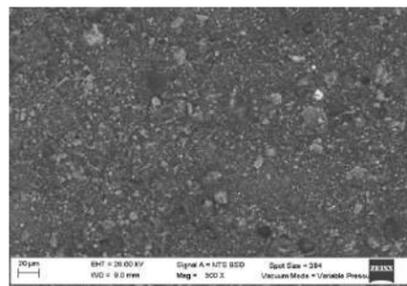
12. MEB 12040 | 700 X



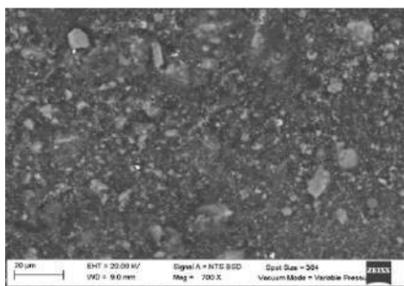
13. MEB Mapeo 12040 | 700 X



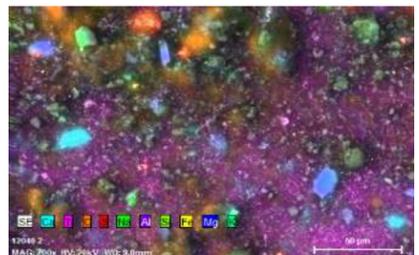
14. MEB 12040+46200 | 100 X



15. MEB 12040+46200 | 300 X

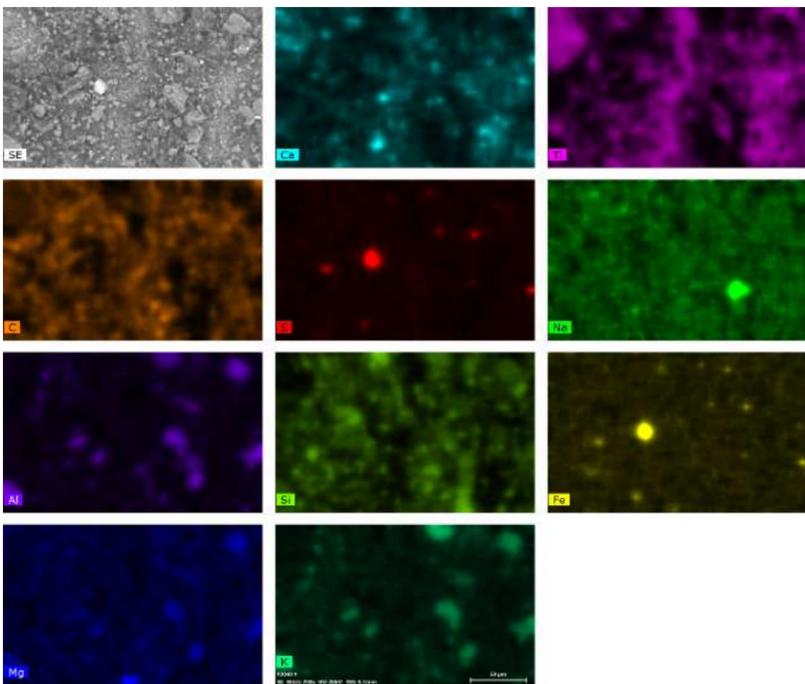


16. MEB 12040+46200 | 700 X

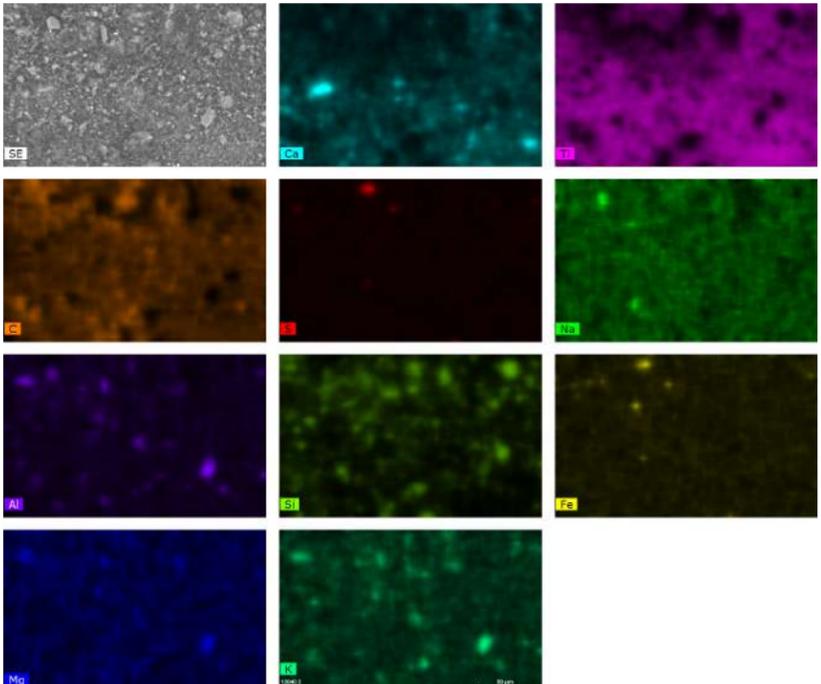


17. MEB Mapeo 12040+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (12040)



Mapeo químico elemental (12040+46200)

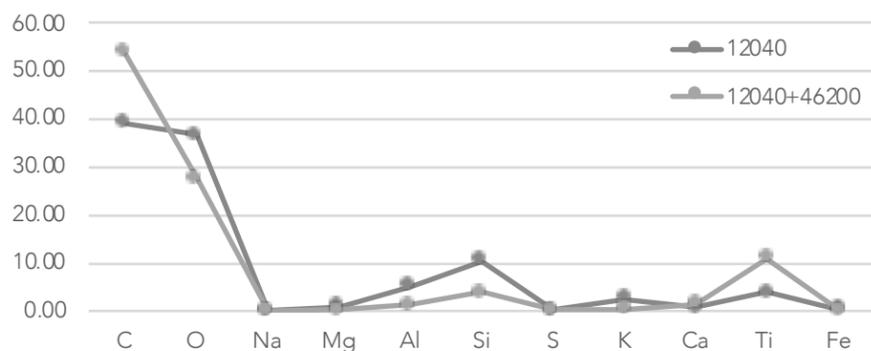


	12040	12040+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	39.00	53.77
O	36.55	27.56
Na	0.09	0.00
Mg	0.83	0.14
Al	5.24	1.14
Si	10.51	3.90
S	0.20	0.19
K	2.56	0.46
Ca	0.76	1.55
Ti	3.81	11.07
Fe	0.39	0.17

Observaciones

En Shungit hay una presencia de aproximadamente 50% de C, en la pintura hecha únicamente pigmento (12040) y Primal AC 35 observamos una presencia disminuida de C en comparación con la pintura hecha de 12040 y 46200 (óxido de Ti). Además de O, los análisis químicos demostraron altos contenidos de Si, Al y S que pueden estar asociados con otros compuestos agregados como cargas al material. La cuantificación en porcentaje en peso del Ti está impactada por el tipo de pintura usada en la base de preparación de las probetas. En este caso también observamos Mg, aunque un porcentaje muy bajo. Los otros elementos químicos asociados con este pigmento son el Al y el Ca, al igual que trazas de sodio, Mg, S, K y Fe.

Elementos químicos presentes en el material



Van Dyck Brown

Fórmula C
 Código 41000
 Marca Kremer Pigmente

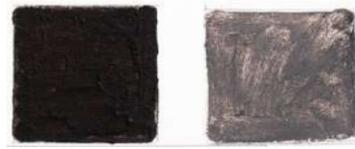
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño >40 µm
 Densidad 1.52 g/cm³ (20°C)
 Índice de refracción (n) 1.62-1.69
 Toxicidad No
 Dureza No
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de autoignición > 100°C
 Temperatura de descomposición > 300°C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Este material presenta una granulometría que es visible a simple vista, para obtener un resultado cubriente se colocaron varias capas de pintura en empastes, en dichos empastes es posible ver el pigmento. La polaridad de las partículas impidió que se disolvieran en el acrílico. Van Dyck no fue afectado por el blanco de titanio en polaridad ni opacidad, pero sí en el matiz.

B. Imagen UV

El tamaño de la partícula y su forma influyen en la capacidad de absorción en la región ultravioleta. Es un pigmento semiopaco que no alcanza a cubrir la superficie blanca de la preparación del soporte, por lo tanto, tiene una ligera tonalidad blanquecina. En la probeta correspondiente a la mezcla con el blanco de titanio, las partículas finas de este material complementan el sistema de la pintura y se distribuyen en la capa de color, produciendo una superficie más homogénea que absorbe parcialmente la luz UV.

C. Imagen RIR

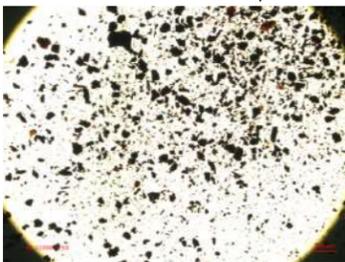
Visto a través de la reflectografía infrarroja, este material permite apreciar los empastes y las capas pictóricas que se colocaron sobre la imprimatura para obtener el resultado opaco que se muestra en el espectro visible. El gris formado de blanco de titanio y café Van Dyck es un material semitranslúcido. Comparativamente con otras probetas, no es uniforme.

Descripción

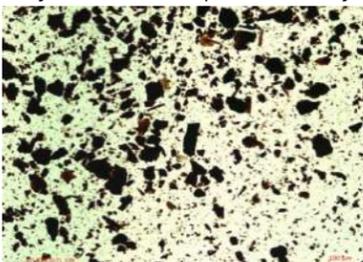
Natural Brown 8 o Van Dyck Brown es un pigmento marrón hecho a partir de la turba, un material con base de carbono. Como se muestra en las imágenes, sus partículas son gruesas en apariencia uniformes, pero al tacto son ásperas. Las imágenes muestran algunas partículas (impurezas) con birrefringencia que podrían corresponder al óxido de hierro que suele añadirse al pigmento en la actualidad.

Micrografías

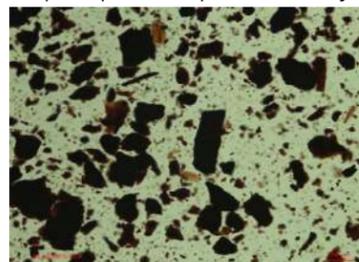
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



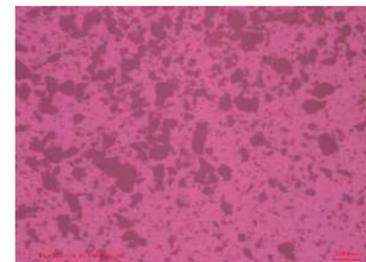
1. TL | 5X



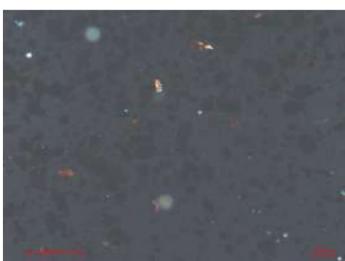
2. TL | 10X



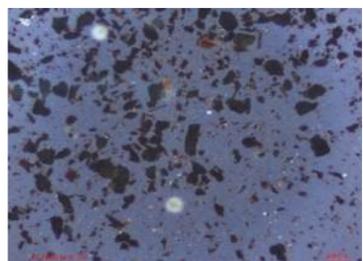
3. TL | 20X



4. DIC RL Lambda | 10X



6. DIC RL | 10X



5. BF RL | 10X

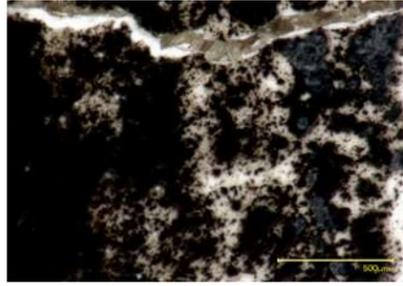
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Subhedral
 Sistema cristalino Ninguno
 Textura Uniforme y lisa
 Color Marrón oscuro mate y rojizo
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas logran aislarse entre sí, también se observan grupos de partículas, generalmente esos grupos están compuestos por las partículas de mayor tamaño.
 Impurezas o mezclas ✓

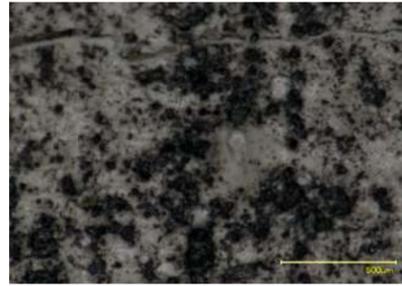
Análisis por técnicas de microscopía



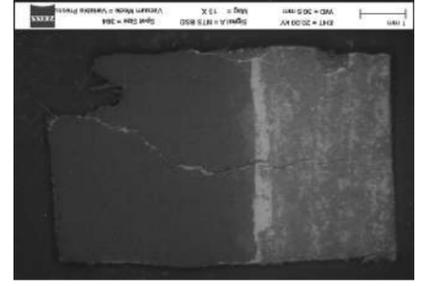
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



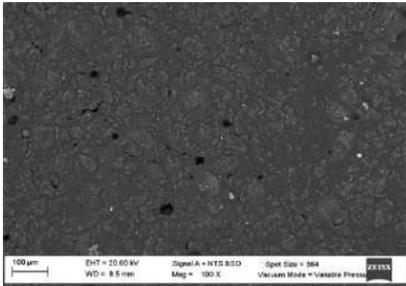
7. M. Keyence 41000 | 200 X



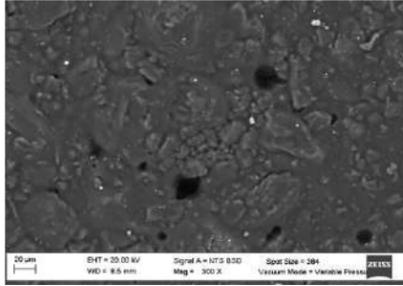
8. M. Keyence 12040+46200 | 200 X



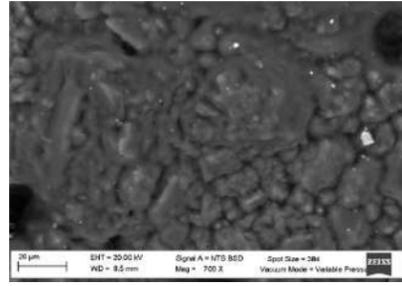
9. MEB Muestra general | 13 X



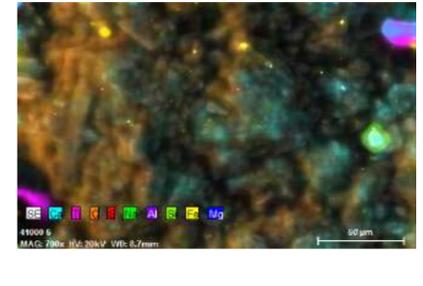
10. MEB 41000 | 100 X



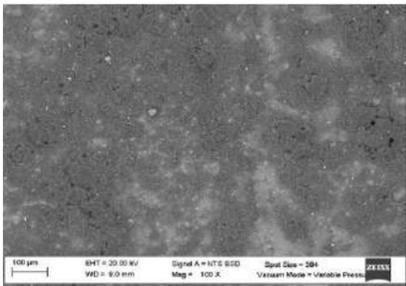
11. MEB 41000 | 300 X



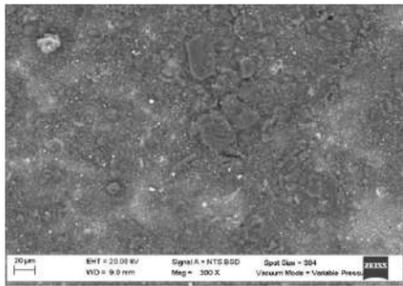
12. MEB 41000 | 700 X



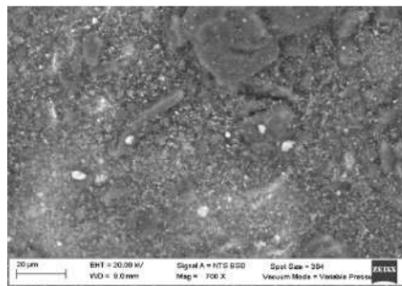
13. MEB Mapeo 41000 | 700 X



14. MEB 41000+46200 | 100 X



15. MEB 41000+46200 | 300 X

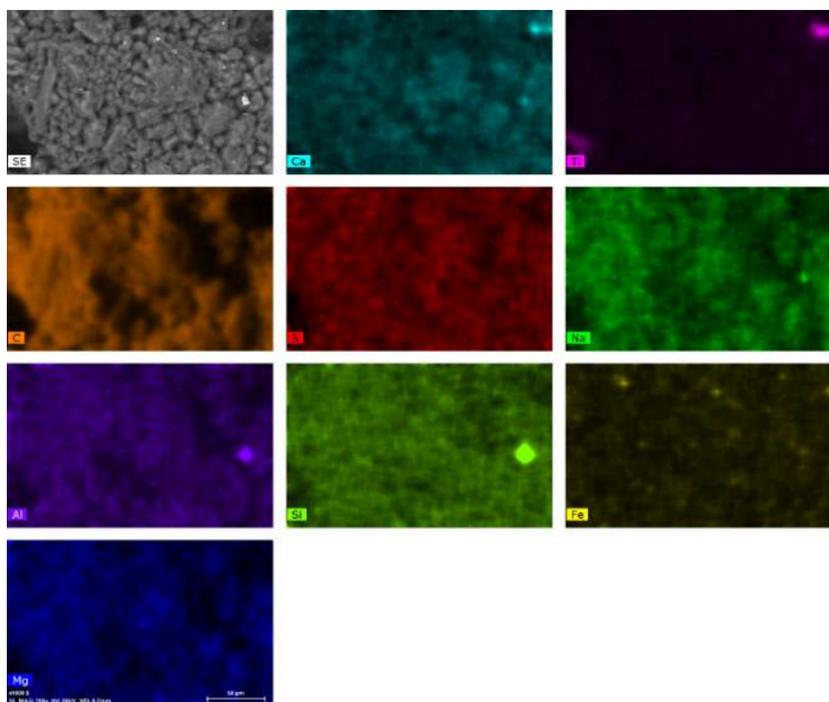


16. MEB 41000+46200 | 700 X

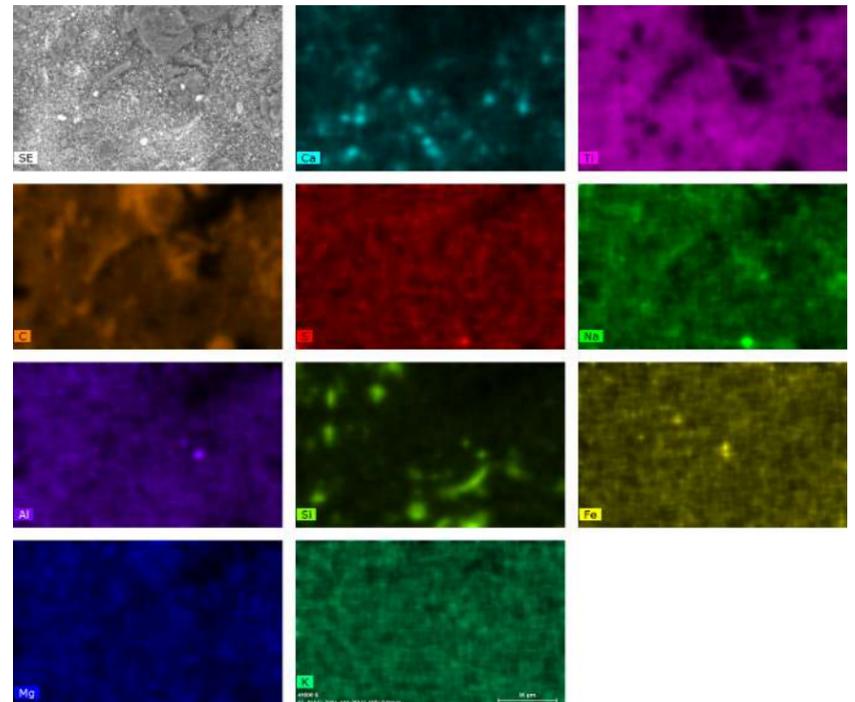


17. MEB Mapeo 12040+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (41000)



Mapeo químico elemental (41000+46200)

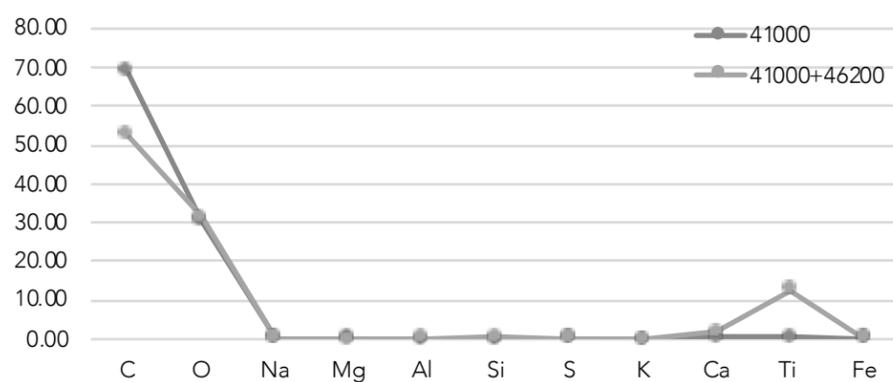


	41000	41000+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	68.78	52.46
O	30.40	31.34
Na	0.14	0.13
Mg	0.12	0.00
Al	0.00	0.29
Si	0.00	0.62
S	0.28	0.12
K	0.00	0.00
Ca	0.49	1.96
Ti	0.43	12.73
Fe	0.34	0.24

Observaciones

Este material fabricado de la turba presenta un alto porcentaje de C y O; sin embargo, la preparación gris hecha de marrón Van Dyck y blanco de titanio tiene un 16.32% menos de C y un 0.94% más de O. Como era de esperarse, el análisis químico de la muestra gris identificó una mayor presencia de Ti. El Ti identificado (en la columna 41000) corresponde a la preparación de la madera. Además, se identificaron trazas de algunos elementos en menos de 1%, se considera que dichas trazas son descartables.

Elementos químicos presentes en el material



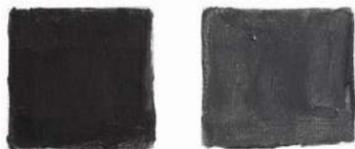
Bone Black

Código 47100
 Fórmula C
 Marca Kremer Pigmente

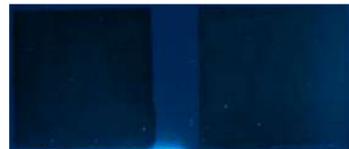
Imágenes fotográficas



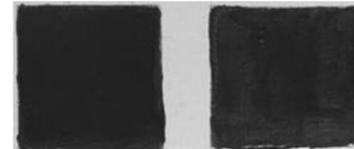
Espectro visible



Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño 50 – 300µm
 Densidad 2.29
 Índice de refracción (n) 1.65-1.70
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C
 Temperatura de carbonización 400-800° C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

El negro de huesos es uno de los pigmentos más opacos, en este caso, resulta imposible distinguir la granulometría debido a que, mezclado con el acrílico formó una película que a simple vista parece completamente uniforme; sin embargo, en las imágenes del MEB pudimos darnos cuenta de que hay una reacción química entre el pigmento y el medio que produce una fuerte contracción de este último, formando patrones circulares que se distribuyen de manera homogénea por toda la capa de color. La mezcla con el blanco de titanio potencia esta reacción, provocando un patrón de lagunas más abiertas. Al mezclarse con blanco de titanio se obtuvo un gris medio opaco y uniforme.

B. Imagen UV

Observamos que ambos materiales son opacos, la pintura hecha únicamente de negro de huesos se aprecia más oscura. Ni la pintura negra, ni la gris presentan fluorescencia.

C. Imagen RIR

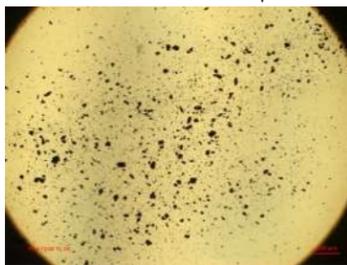
La reflectografía infrarroja nos permite verificar que la aplicación del material fue uniforme, en ninguno de los casos se observan las pinceladas, ni empastes. Con esta técnica tanto la pintura hecha de negro de huesos como la gris (negro de huesos y blanco de titanio) se observan opacas, no muestran gran diferencia en cuanto al matiz entre el gris y el negro.

Descripción

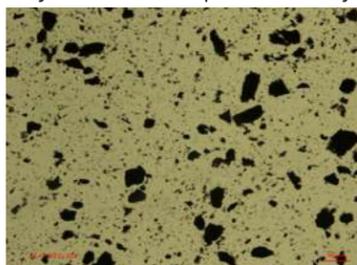
Pigmento negro 9 o negro de hueso es un pigmento hecho por la carbonización de huesos de origen animal, la sustancia obtenida por ese método proporciona un negro opaco y uniforme; contiene un 10% de carbono y 84% de hidroxiapatita de calcio con menores cantidades de fosfato de magnesio y carbonato de calcio. En las imágenes obtenidas no se observa birrefringencia ni un sistema cristalino, la mayoría de las partículas se muestran subredondeadas, otras —la minoría— se observan angulares. En la microscopía de polarización se observa que algunas de las astillas elongadas son translúcidas.

Micrografías

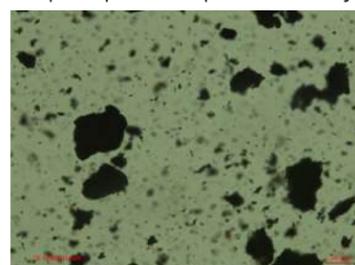
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 20X



3. BF RL | 10X



4. DF RL | 10X



5. DIC RL | 10X



6. DIC RL Lambda | 10X



7. UV DAPI | 20X

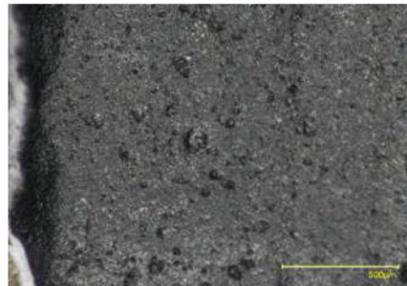
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral
 Sistema Ninguno
 cristalino
 Textura Lisa con bordes lisos
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas se dispersan entre sí, se muestra la variedad de tamaños de partículas presentes en este pigmento.
 Impurezas o mezclas ×

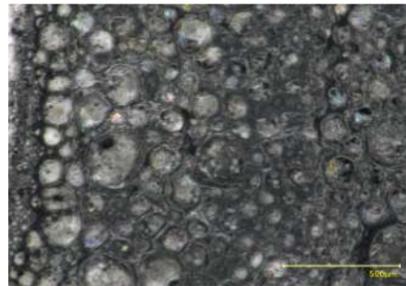
Análisis por técnicas de microscopía



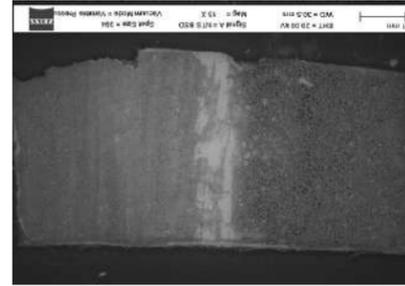
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



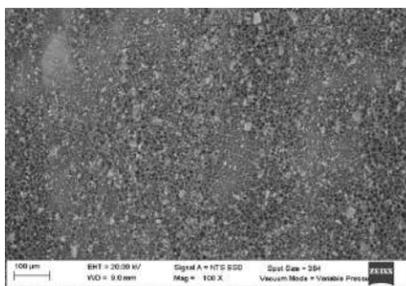
7. M. Keyence 47100 | 200 X



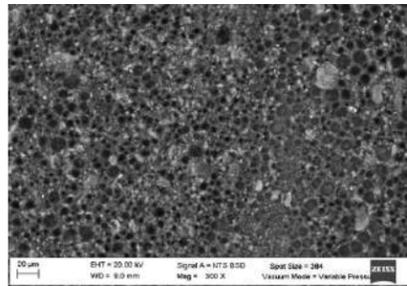
8. M. Keyence 47700+46200 | 200 X



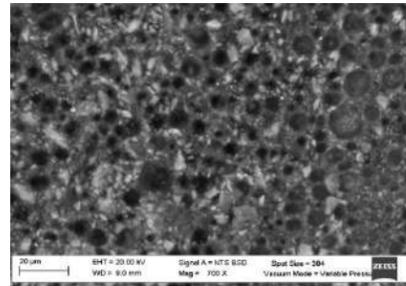
9. MEB Muestra general | 13 X



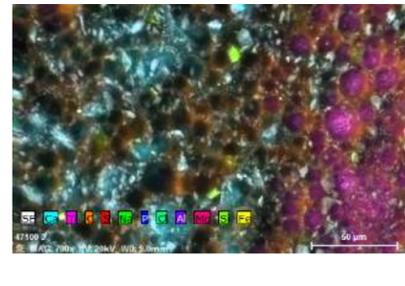
10. MEB 47100 | 100 X



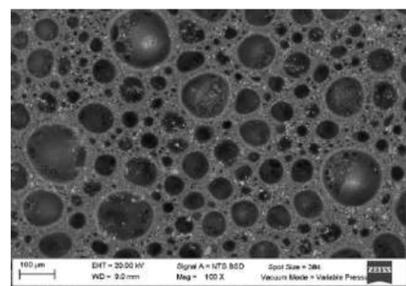
11. MEB 47100 | 300 X



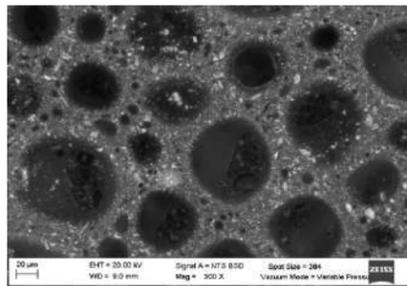
12. MEB 47100 | 700 X



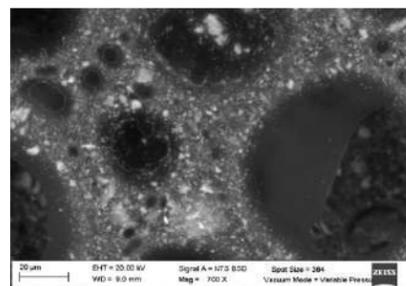
13. MEB Mapeo 47100 | 700 X



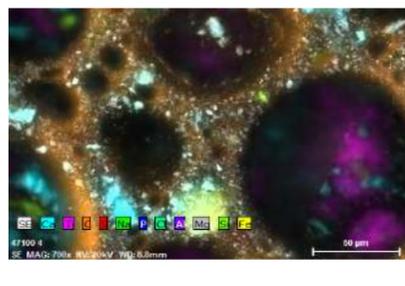
14. MEB 47100+46200 | 100 X



15. MEB 47100+46200 | 300 X

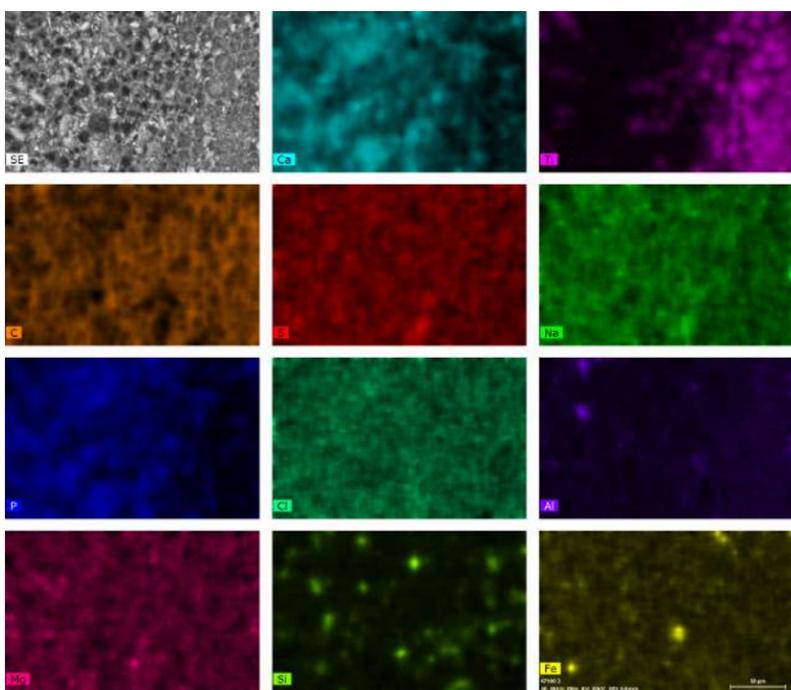


16. MEB47100+46200 | 700 X

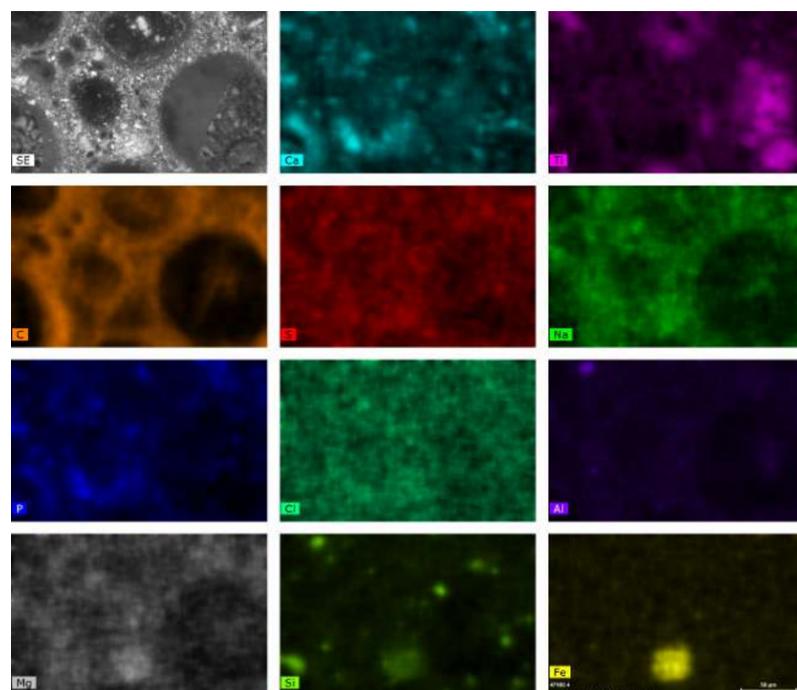


17. MEB Mapeo 47100+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47100)



Mapeo químico elemental (47100+46200)

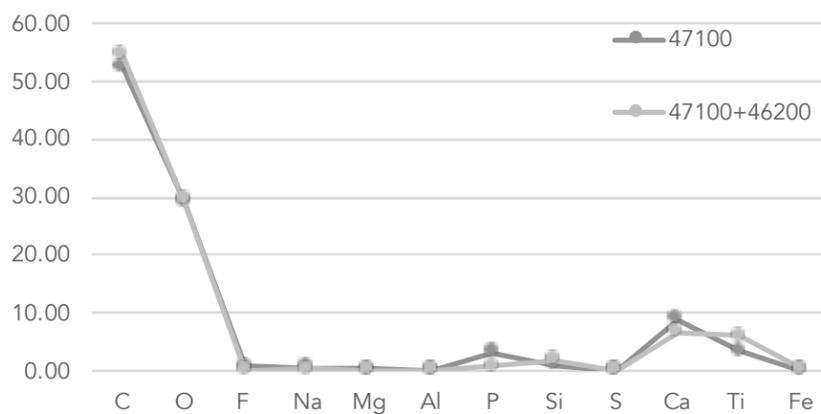


	47100	47100+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	52.46	54.51
O	29.27	29.47
F	0.72	0.00
Na	0.56	0.26
Mg	0.25	0.00
Al	0.19	0.00
P	3.13	0.67
Si	0.99	1.88
S	0.16	0.10
Ca	8.90	6.66
Ti	3.37	6.04
Fe	0.00	0.42

Observaciones

El análisis químico elemental por MEB EDX permitió confirmar la composición de hidroxiapatita de Ca de este material carbónico, acompañado por contenidos de Mg y S atribuibles al fosfato de Mg que también caracteriza este tipo de negros que se obtienen por la calcinación de huesos de animales.

Elementos químicos presentes en el material



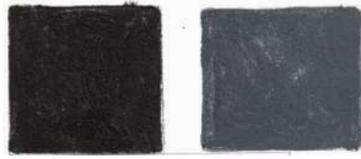
Charcoal powder

Fórmula C
Código 47800
Marca Kremer Pigmente

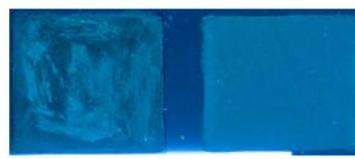
Imágenes fotográficas



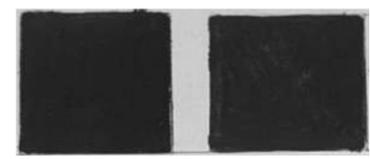
Espectro visible



Radiación ultravioleta
IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño
Densidad 1.8-3.5
Índice de refracción (n) 2.4168
Toxicidad No
Dureza 1.0-2.0 Mohs
Solubilidad en H₂O No
Temperatura de ignición: > 140°C
Temperatura de fusión 3,550°C
Temperatura de ebullición 4,825°C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

El polvo de carbón es un material opaco; no obstante, la granulometría del pigmento se observa incluso luego de añadir el aglutinante. En luz visible es posible observar los granos del pigmento adheridos por el acrílico, pero no embebidos. Este comportamiento del pigmento mejoró cuando se le añadió el blanco de titanio; permitiendo obtener una capa pictórica más suave, aunque no del todo uniforme como se muestra en las zonas translúcidas marcadas por las cerdas del pincel.

B. Imagen UV

Por medio de la exposición a radiación ultravioleta es posible apreciar las pinceladas y la irregularidad en la aplicación del material. Este pigmento, no forma una película uniforme, en el cuadrado izquierdo es posible apreciar los empastes y las capas pictóricas que nos permitieron obtener una película opaca, además de la abundante presencia de aglutinante en esta pintura. A la derecha, observamos cómo el blanco de titanio mejoró los problemas de miscibilidad del polvo de carbón. Como hemos descrito en fichas anteriores, en realidad el medio acrílico tiene una ligera capacidad de reflejar la luz, no es propiamente fluorescencia, pero sí un comportamiento blanco lechoso bajo esta longitud de onda.

C. Imagen RIR

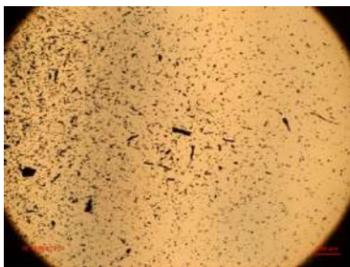
La reflectografía infrarroja nos permite observar la opacidad del polvo de carbón y de la pintura elaborada con polvo de carbón y blanco de titanio. La diferencia entre el matiz gris y el negro de ambas muestras no es visible a través de esta técnica, ambas se aprecian negras y únicamente muestra zonas translúcidas la del lado derecho, zonas que corresponden a una menor cantidad de material aplicado sobre la preparación.

Descripción

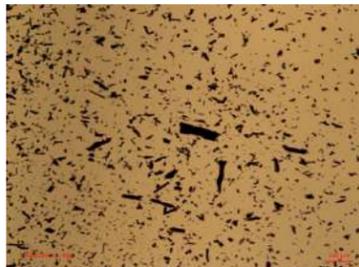
El polvo de carbón vegetal no es carbono puro, en general la presencia de carbono en este material es del 81 a 83%; sin embargo, el resto corresponde al hidrogeno, oxígeno y cenizas. Este material es el resultado de la combustión de la madera. En las micrografías se observan las formas características de las astillas carbonizadas, inclusive las partículas más pequeñas tienen esta forma de plumas elongadas y algunas fragmentadas.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



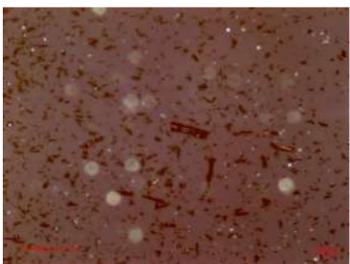
2. TL | 10X



3. TL | 20X



4. DF RL | 10X



5. DIC RL | 10X



6. DIC RL Lambda | 10X

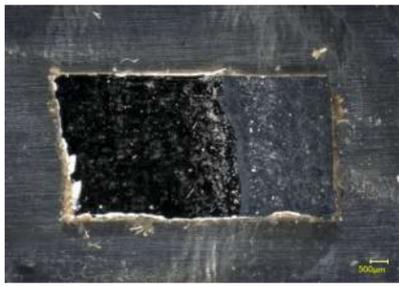


7. DF RL | 20X

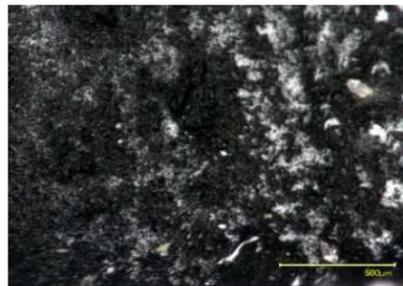
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Subhedral
Sistema Triclínico + partículas amorfas angulares
cristalino
Textura Con relieves dados por la constitución de fibras orientadas que se observan en el material.
Color Negro
Brillo ✓
Opacidad ×
Birrefringencia ✓
Isotropía ×
Anisotropía ✓
Distribución Las partículas se encuentran aisladas, es posible ver su morfología, tamaños, relieves y en algunos casos ángulos.
Impurezas o mezclas No

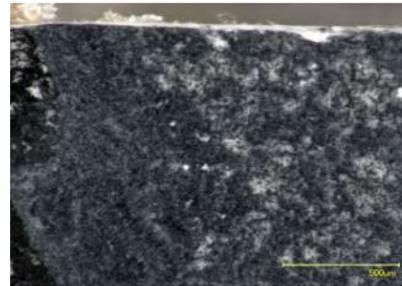
Análisis por técnicas de microscopía



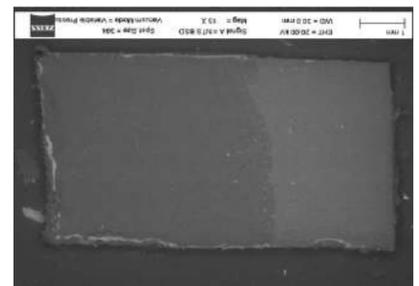
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



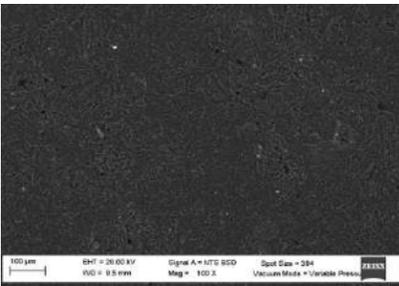
7. M. Keyence 47800 | 200 X



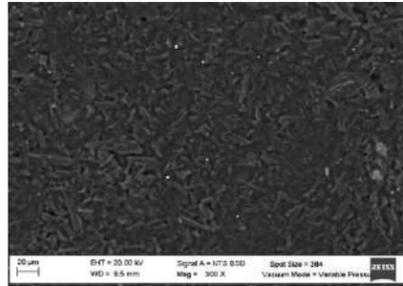
8. M. Keyence 47800+46200 | 200 X



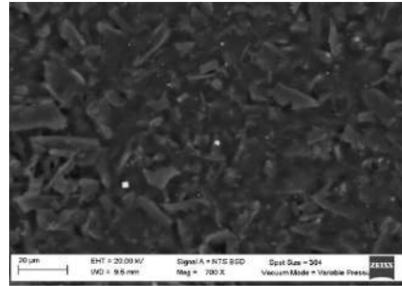
9. MEB Muestra general | 13 X



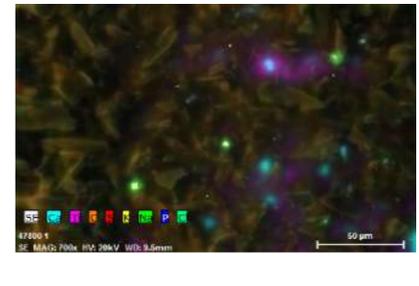
10. MEB 47800 | 100 X



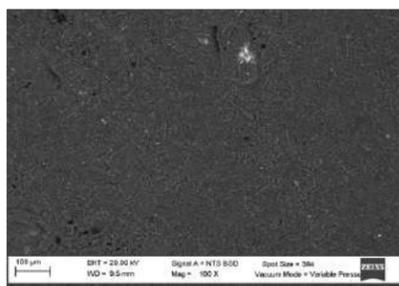
11. MEB 47800 | 300 X



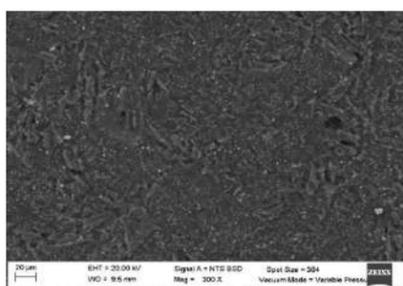
12. MEB 47800 | 700 X



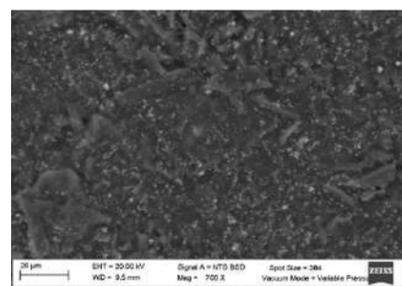
13. MEB Mapeo 47800 | 700 X



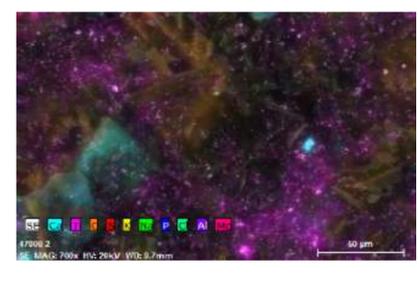
14. MEB 47800 +46200 | 100 X



15. MEB 47800 +46200 | 300 X

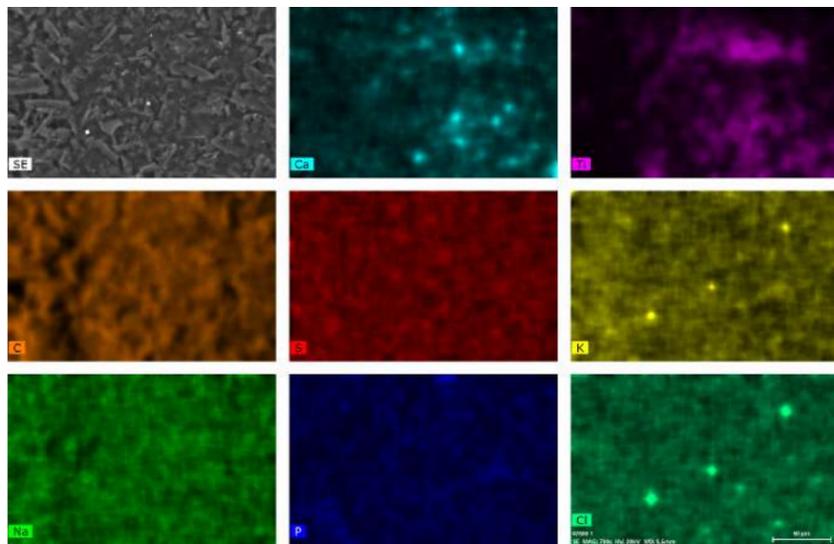


16. MEB 47800 +46200 | 700 X

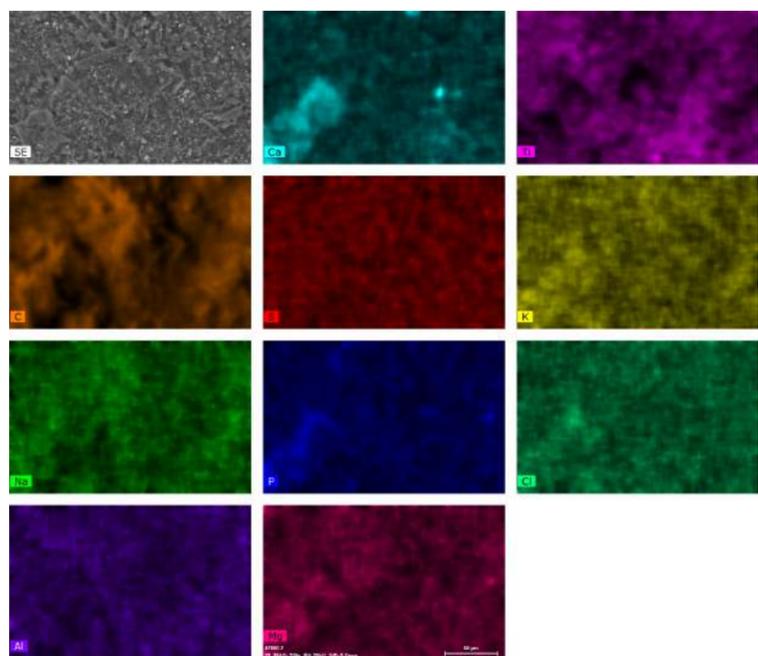


17. MEB Mapeo 47800 +46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47800)



Mapeo químico elemental (47800+46200)

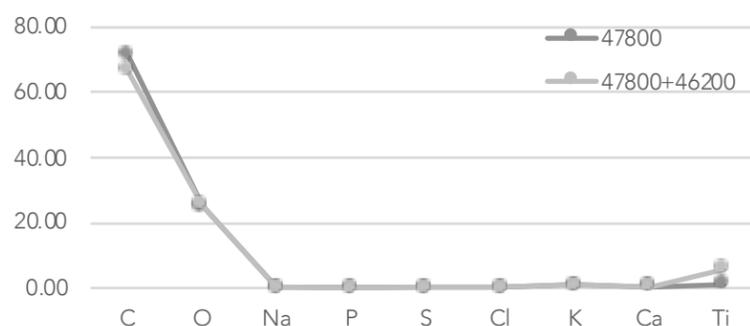


	47800	47800+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	71.56	66.60
O	25.07	25.48
Na	0.22	0.13
P	0.11	0.00
S	0.22	0.17
Cl	0.13	0.08
K	0.97	0.74
Ca	0.54	0.45
Ti	1.18	6.02
Al	0.00	0.11
Si	0.00	0.17

Observaciones

El polvo de carbón vegetal es un pigmento con 71.56% de C, la muestra realizada con Ti tiene un 4.96% menos de C. Por su parte, el sistema conformado por 47800 y Primal AC 35, a diferencia de 47800+46200, presenta 0.11 de P. Sin embargo, en 47800+46200 observamos un 0.11 y 0.17% de Al y Si respectivamente, mientras que ambos elementos químicos no fueron identificados en el primer sistema. En el caso del Ti, en la segunda muestra hecha con blanco de titanio se identificó un 4.84% más de Ti que en 47800; el 1.18% de Ti identificado en la muestra 47800 corresponde al Ti presente en la preparación Vinimex Vivid B1. Se identificaron trazas de algunos elementos en menos de 1%, se considera que dichas trazas son descartables.

Elementos químicos presentes en el material



Cherry Black

Fórmula C
 Código 12020
 Marca Kremer Pigmente

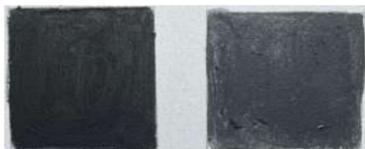
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño
 Densidad 3.51 g/cm³
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Debido a la granulometría del pigmento es posible apreciar en la textura de la pintura algunos granos del pigmento, dicha textura le brinda una apariencia aterciopelada a la muestra. Observamos que este material, así como el gris obtenido por negro de cereza y el blanco de titanio son pinturas opacas, aunque no del todo uniformes ya que nos permiten distinguir capas pictóricas y empastes.

B. Imagen UV

Las muestras expuestas a la radiación ultravioleta nos permiten observar la opacidad de este pigmento hecho con base en la carbonización de semillas de cereza, ninguno de los materiales presenta fluorescencia; sin embargo, la muestra gris (12010+46200) se observa de un matiz más claro, que no solo corresponde a la adición del blanco de titanio, sino a la abundante presencia del aglutinante, razón por la que en este caso, los granos de pigmento no son visibles.

C. Imagen RIR

Las dos muestras bajo la reflectografía infrarroja se observan opacas, mientras que en la muestra de la izquierda no es posible distinguir las pinceladas (como ocurre en el espectro visible), en la muestra de la derecha (12020+46200) sí es posible observarlas, las zonas más opacas muestran mayores concentraciones de material y las que se observan semiopacas menor cantidad de pintura, zonas que también se observan en luz visible.

Descripción

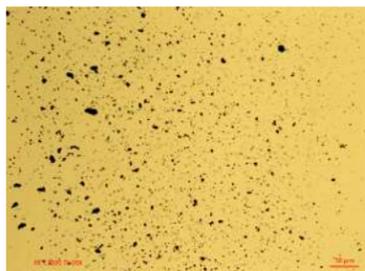
Pigmento negro de subtono azul elaborado a partir de la carbonización de semillas de cerezas. Aunque las partículas de este pigmento son finas, el pigmento no se diluye en el medio, como otros pigmentos negros con base de carbono es un material hidrófobo. Este material está compuesto por dos morfologías de partículas unas angulares de bordes redondeados y otras son escamas delgadas.

Micrografías

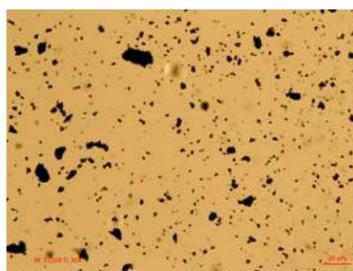
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 10X



2. TL | 20X



3. TL | 50X



4. DF RL | 50X



5. DIC RL Lambda | 50X

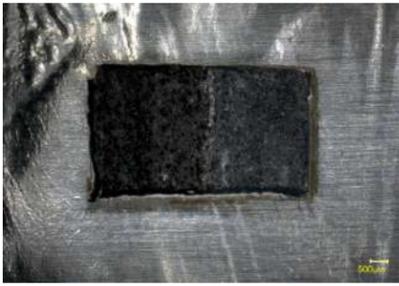


6. DIC RL | 50X

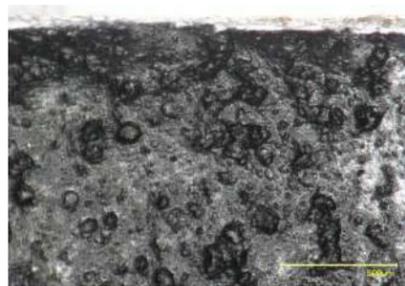
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral
 Sistema cristalino Ninguno
 Textura Lisa con bordes lisos
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución En su mayoría las partículas están aisladas, no obstante podemos observar conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo.
 Impurezas o mezclas No

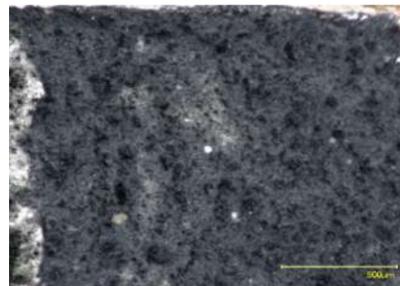
Análisis por técnicas de microscopía



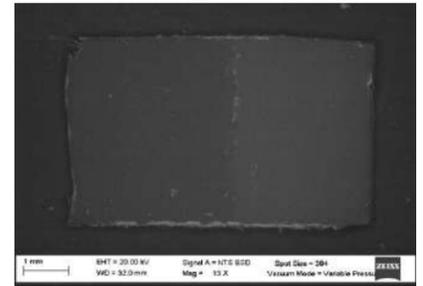
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



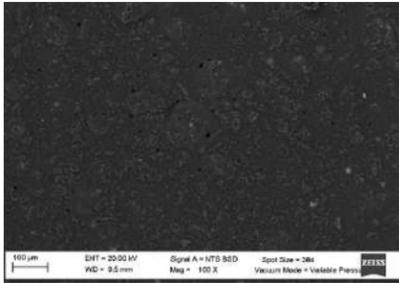
7. M. Keyence 12020 | 200 X



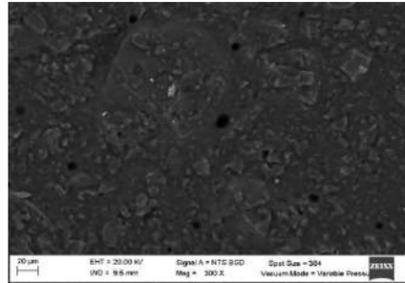
8. M. Keyence 12020+46200 | 200 X



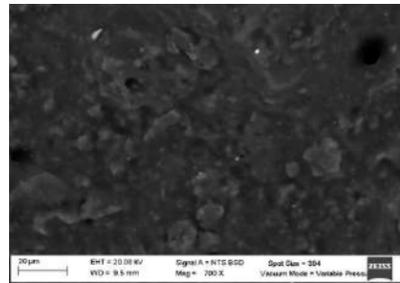
9. MEB Muestra general | 13 X



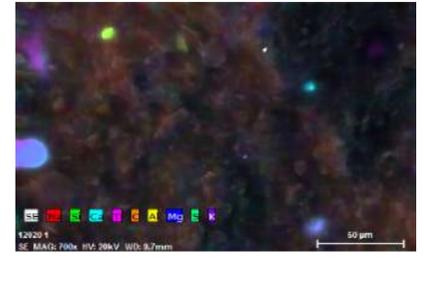
10. MEB 12020 | 100 X



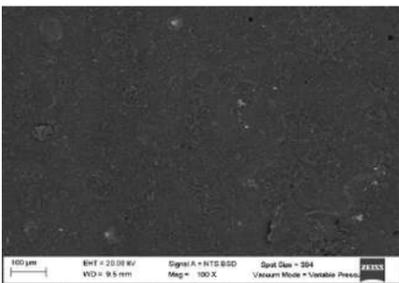
11. MEB 12020 | 300 X



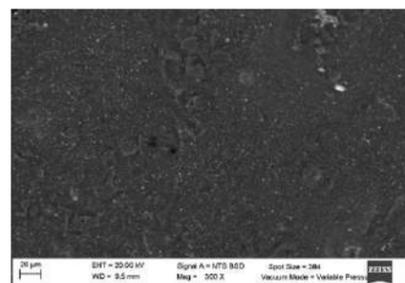
12. MEB 12020 | 700 X



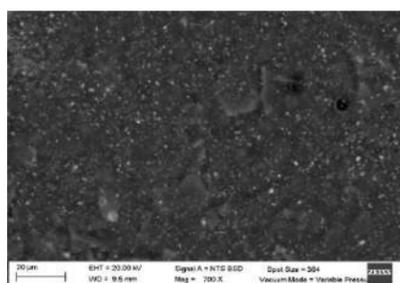
13. MEB Mapeo 12020 | 700 X



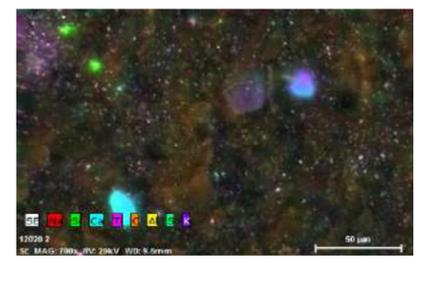
14. MEB 12020+46200 | 100 X



15. MEB 12020+46200 | 300 X

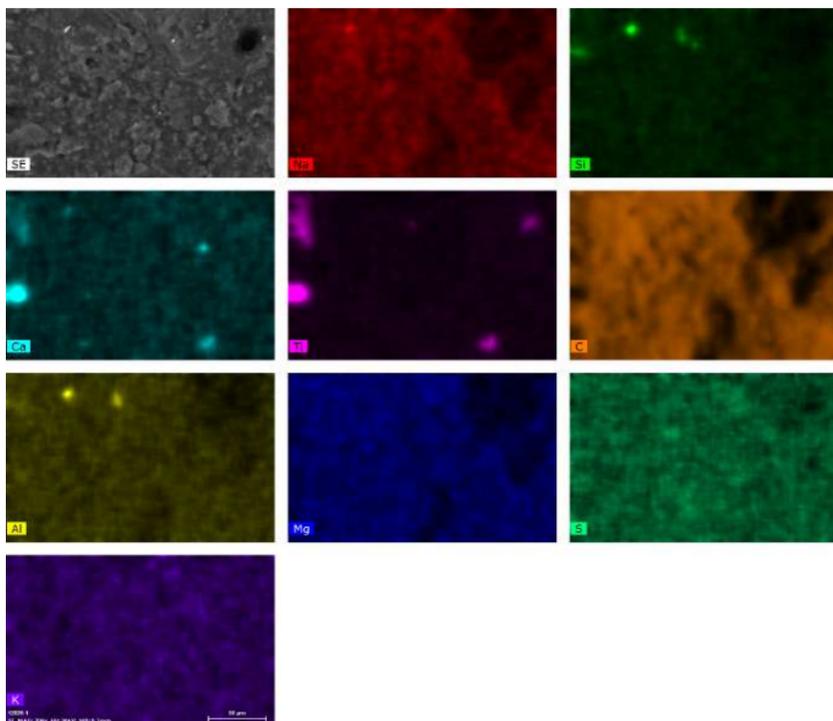


16. MEB 12020+46200 | 700 X

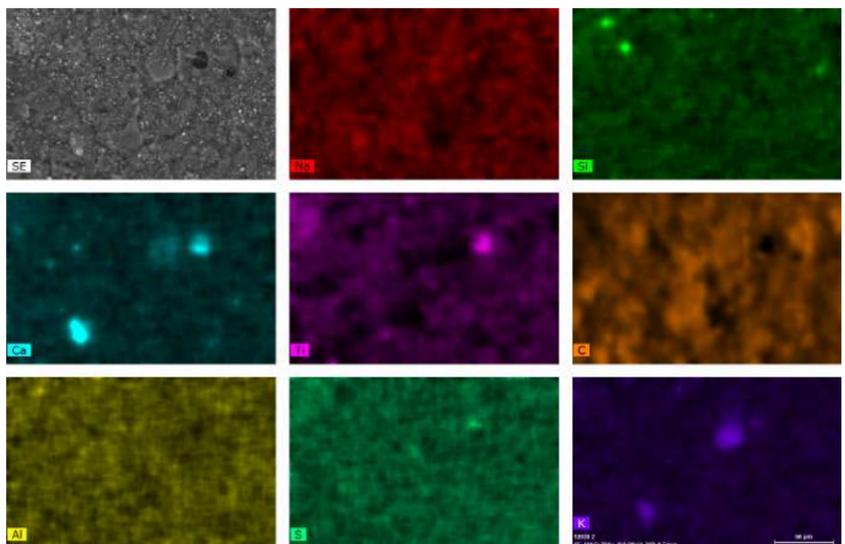


17. MEB Mapeo 12020+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (12020)



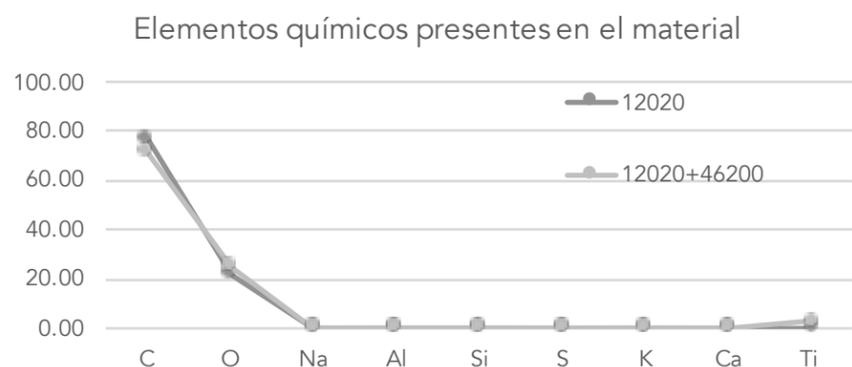
Mapeo químico elemental (12020+46200)



	12020	12020+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	77.16	71.40
O	21.70	24.89
Na	0.18	0.16
Al	0.00	0.10
Si	0.00	0.12
S	0.12	0.12
K	0.14	0.09
Ca	0.20	0.20
Ti	0.46	2.87

Observaciones

El negro cereza (Cherry black) es un pigmento con una base de C de aproximadamente 70%, en la primera muestra realizada con pigmento negro y Primal AC 35 se identificó una presencia del 77.16% de C, mientras que, en el sistema conformado por el pigmento negro, el blanco de titanio y acrílico presenta un 71.40% de C. El segundo elemento con mayor presencia es el O; sin embargo, este elemento se encuentra un 3.19% más en la muestra a la que se le añadió blanco de titanio, posiblemente este comportamiento corresponde a una reacción entre el Ti y el C. Se identificaron trazas de algunos elementos en menos de 1%, se considera que dichas trazas son descartables.



Grape Black

Fórmula C
 Código 12015
 Marca Kremer Pigmente

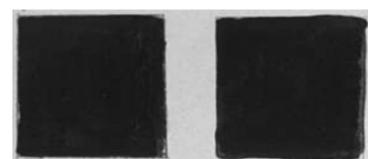
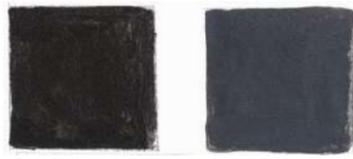
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño
 Densidad 3.51 g/cm³
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Observamos que Grape Black es un material opaco. Ni el acrílico Primal AC 35, ni el agua lograron disolver los granos del pigmento; por lo que no es un material que se haya podido aplicar de manera uniforme, se observan algunos empastes realizados para obtener una mejor opacidad. A la derecha, observamos que el gris obtenido por este pigmento y el blanco de titanio mejoró la calidad de la película colocada con el pincel sobre la madera, en este caso los granos del pigmento quedaron imbuidos del acrílico y el agua, se obtuvo un gris uniforme.

B. Imagen UV

En el caso de la pintura realizada con Grape Black, la radiación UV nos muestra un material opaco que no fluoresce. En el caso del sistema realizado con Grape Black (12015), blanco de titanio (46200) y acrílico Primal AC35 podemos observar que este material no presenta fluorescencia; sin embargo, en algunas zonas observamos distintas tonalidades de sombras y luces que corresponden a la cantidad de aglutinante. Observamos también el dibujo subyacente, que no se muestra ni en luz visible, ni en la reflectografía infrarroja.

C. Imagen RIR

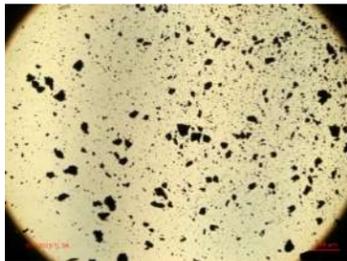
Las muestras vistas a través de la reflectografía infrarroja son completamente opacas y uniformes, de hecho, no presentan diferencias entre el matiz negro y gris que se aprecia en la imagen con luz visible. En este caso, por su opacidad no es posible distinguir las líneas subyacentes de los cuadrados, en especial del cuadrado ubicado a la derecha.

Descripción

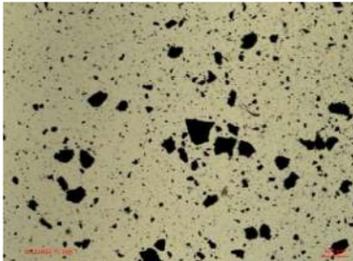
Material obtenido por la carbonización de semillas de uva. Bajo el microscopio se ven partículas de distintas granulometrías, de bordes angulosos, forman conglomerados que presentan brillo iridiscente en campo oscuro.

Micrografías

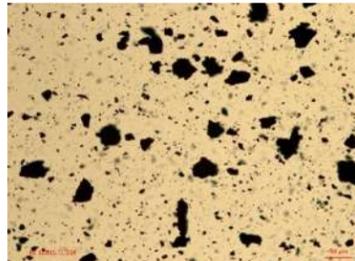
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



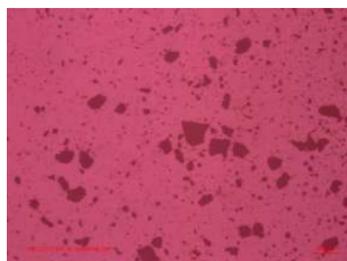
2. TL | 10X



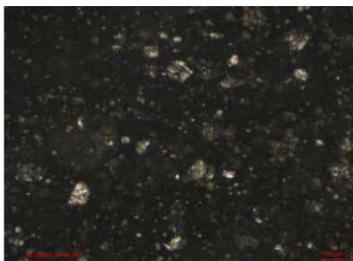
3. TL | 20X



4. DF RL | 10X



5. DIC RL Lambda | 10X



6. DF RL | 20X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

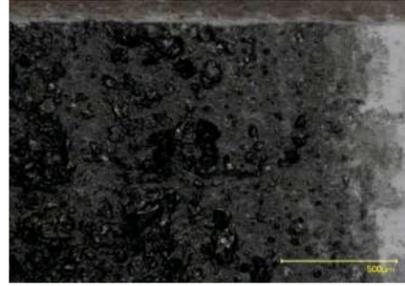
Cristalinidad Anhedral
 Sistema Ninguno
 cristalino
 Textura Rugosa con relieve
 Color Negro
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución En su mayoría las partículas están aisladas, no obstante podemos observar conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo.

Impurezas o mezclas No

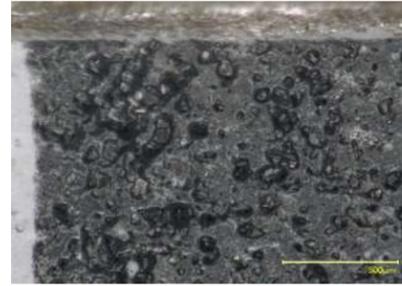
Análisis por técnicas de microscopía



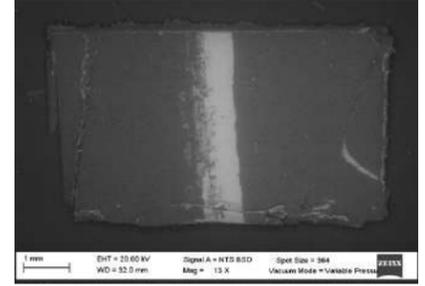
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



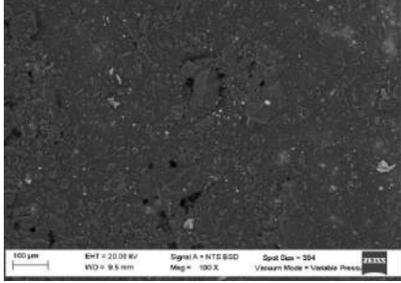
7. M. Keyence 12015 | 200 X



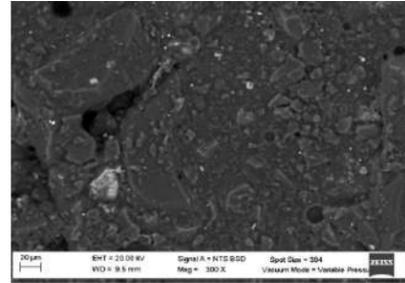
8. M. Keyence 12015+46200 | 200 X



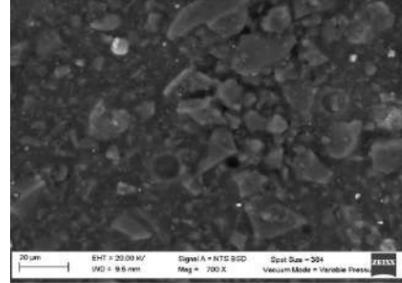
9. MEB | 13 X



10. MEB 12015 | 100 X



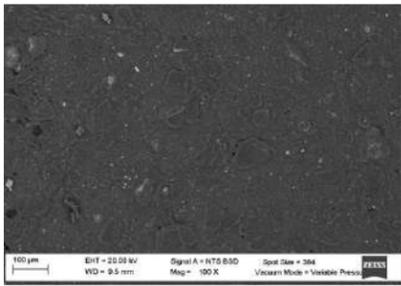
11. MEB 12015 | 300 X



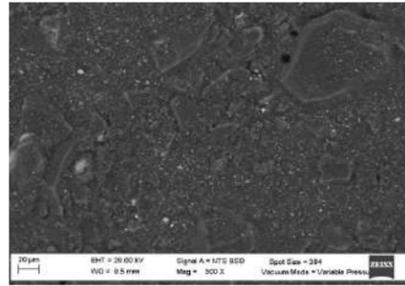
12. MEB 12015 | 700 X



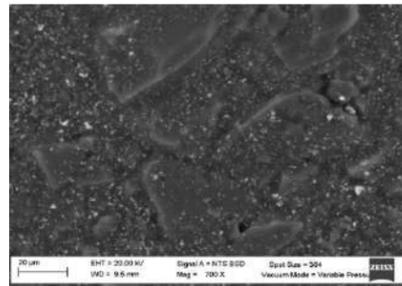
13. MEB Mapeo | 700 X



14. MEB 12015+46200 | 100 X



15. MEB 12015+46200 | 300 X

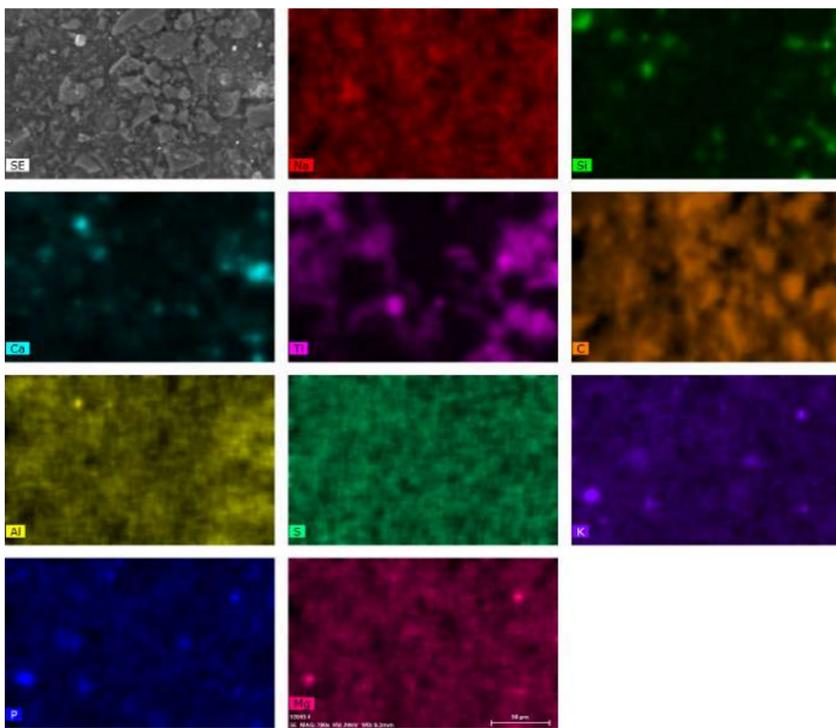


16. MEB 12015+46200 | 700 X

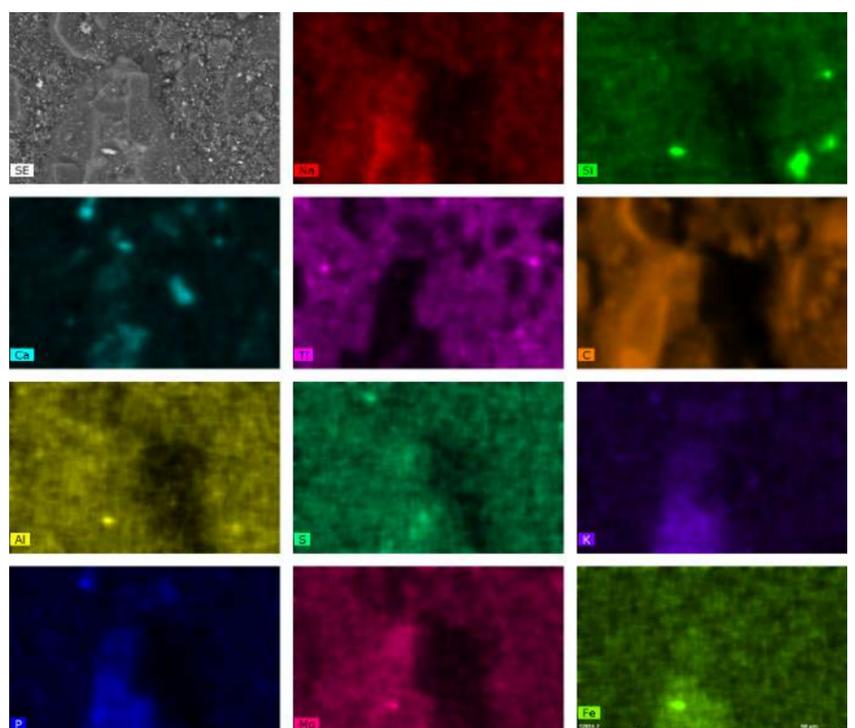


17. MEB Mapeo +46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (12015)

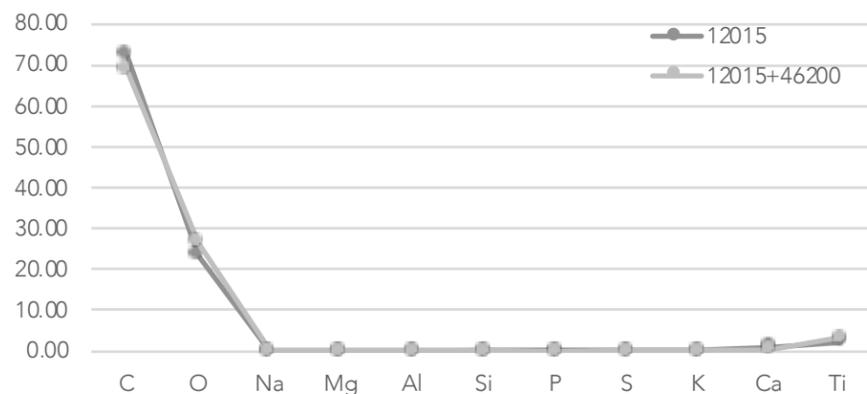


Mapeo químico elemental (12015+46200)



	12015	12015+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	72.42	68.82
O	23.33	26.55
Na	0.00	0.11
Mg	0.00	0.06
Al	0.00	0.09
Si	0.11	0.12
P	0.14	0.00
S	0.10	0.10
K	0.35	0.18
Ca	1.25	0.51
Ti	2.30	3.46

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

El análisis químico de Cherry Black (12015) revela una presencia importante de C, en el caso de la pintura negra con un 72.42%, mientras que en la pintura hecha de negro y blanco de titanio hay un 68.82%. El O es el segundo elemento con una presencia importante, que se incrementa en un 3.22% en la pintura gris. Se identificaron trazas de algunos elementos en menos de 1%, se considera que dichas trazas son descartables. La presencia del Ti en la muestra 12015 corresponde a la preparación de la madera; mientras que en el caso de la muestra gris corresponde tanto a la preparación como al Ti del pigmento blanco.

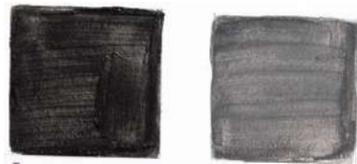
Ivory Black Ju

Código 47200
 Fórmula C
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas



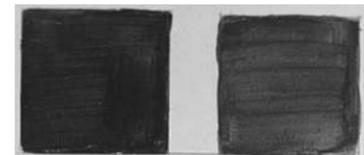
Espectro visible



Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño 10 μm
 Densidad 0.5 g/cm³
 Índice de refracción (n) 1.65-1.70
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O Sí
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Ivory Black Ju es un pigmento que, aunque opaco, no logra formar una película uniforme sobre la preparación de madera. En la imagen observamos las pinceladas, así como las capas pictóricas superpuestas. En la pintura gris (47200+46200), también observamos las pinceladas y las capas pictóricas, el gris medio obtenido por la mezcla de ambos materiales es opaco, pero no uniforme debido a la granulometría del pigmento.

B. Imagen UV

En la muestra gris obtenida por el pigmento Ivory Black Ju, el blanco de titanio (46200) y el acrílico Primal AC 35 observamos una diferencia en el matiz, en comparación con la pintura negra. En ninguno de los casos observamos fluorescencia. Bajo este tipo de radiación, observamos un material uniforme y opaco. Al igual que ocurre con el negro de huesos este material provoca una reacción química entre el pigmento y el medio que se traduce como una fuerte contracción de este último, formando patrones circulares que se distribuyen de manera homogénea por toda la capa de color. La mezcla con el blanco de titanio potencia esta reacción, provocando un patrón de lagunas más abiertas.

C. Imagen RIR

A través de la reflectografía infrarroja, es posible observar la opacidad del carbono y el titanio presentes en las muestras. El sistema conformado por Ivory Black Ju y el acrílico Primal AC 35 se observa opaco y uniforme, incluso más que en el espectro visible. En el caso del sistema conformado por Ivory Black Ju, blanco de titanio y Primal AC 35 observamos un material opaco; sin embargo, en este caso es posible apreciar las trayectorias del pincel, así como las capas pictóricas sobre la preparación.

Descripción

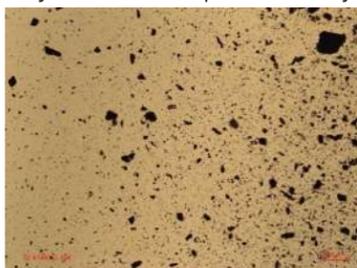
Ivory Black Ju está catalogado como un pigmento similar a Bone Black que por sus cualidades (saturación y opacidad) es denominado negro de marfil. Este negro es adecuado para ser trabajado con un medio oleoso o acuoso. Forma de astillas fragmentadas, algunas hojuelas de bordes subangulares con regiones traslúcidas según se aprecia en las micrografías con luz transmitida.

Micrografías

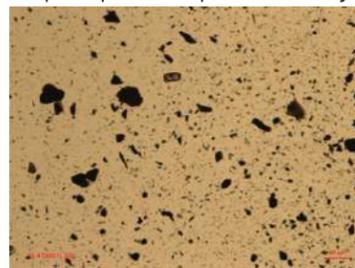
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 10X



3. TL | 20X



4. DIC RL | 20X



5. DF RL | 20X

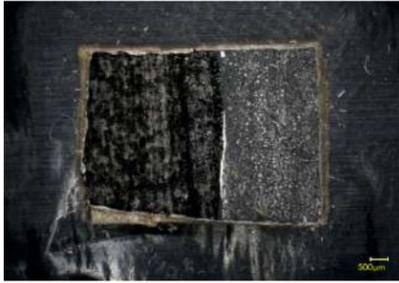


6. DIC RL Lambda | 10X

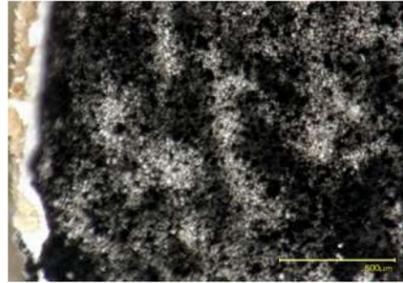
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhidral
 Sistema Ninguno
 cristalino
 Textura Lisa con bordes lisos
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas se dispersan entre sí, se observan algunas conglomeraciones de material.
 Impurezas o mezclas Sí

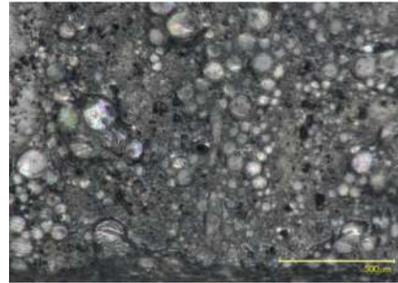
Análisis por técnicas de microscopía



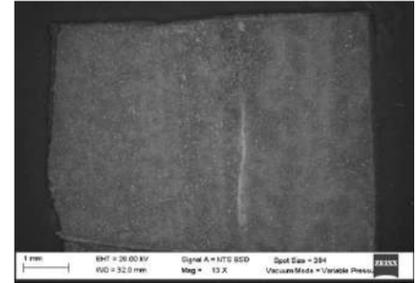
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



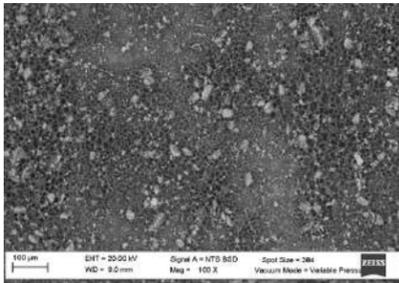
7. M. Keyence 47200 | 200 X



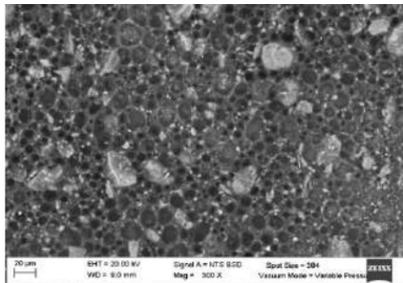
8. M. Keyence 47200+46200 | 200 X



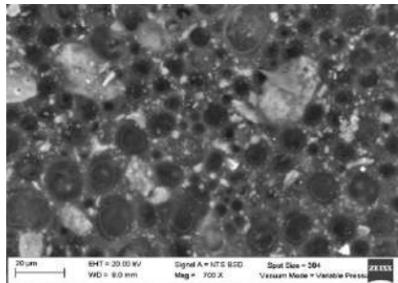
9. MEB Muestra general | 13 X



10. MEB 47200 | 100 X



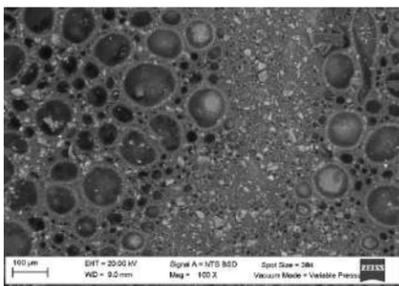
11. MEB 47200 | 300 X



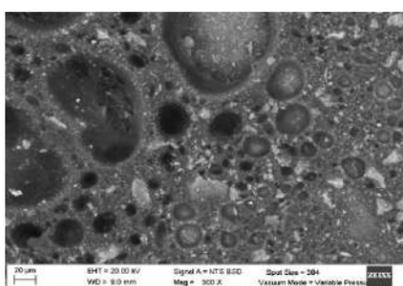
12. MEB 47200 | 700 X



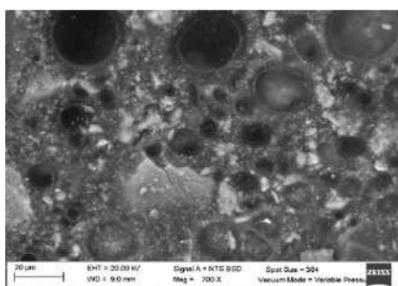
13. MEB Mapeo 47200 | 700 X



14. MEB 47200+46200 | 100 X



15. MEB 47200+46200 | 300 X

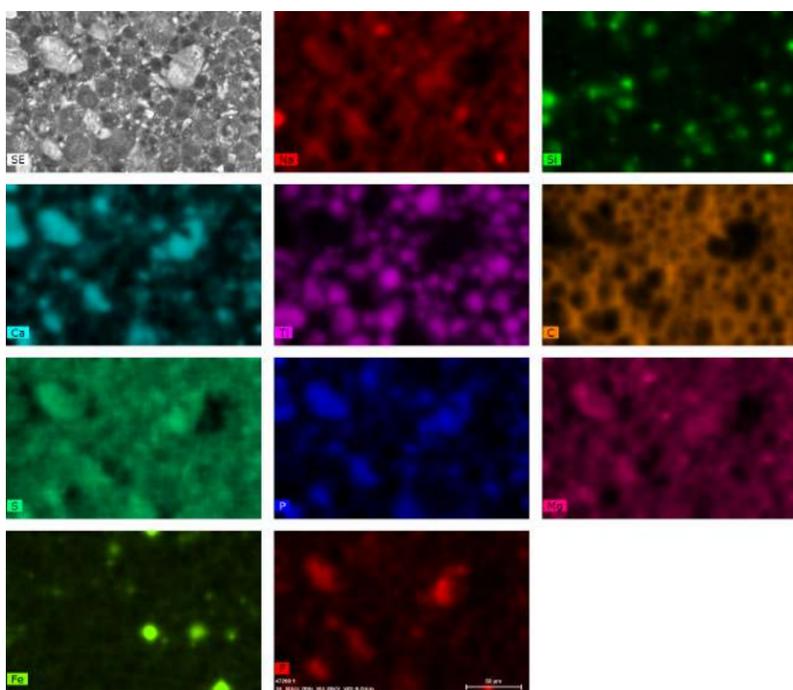


16. MEB 47200+46200 | 700 X

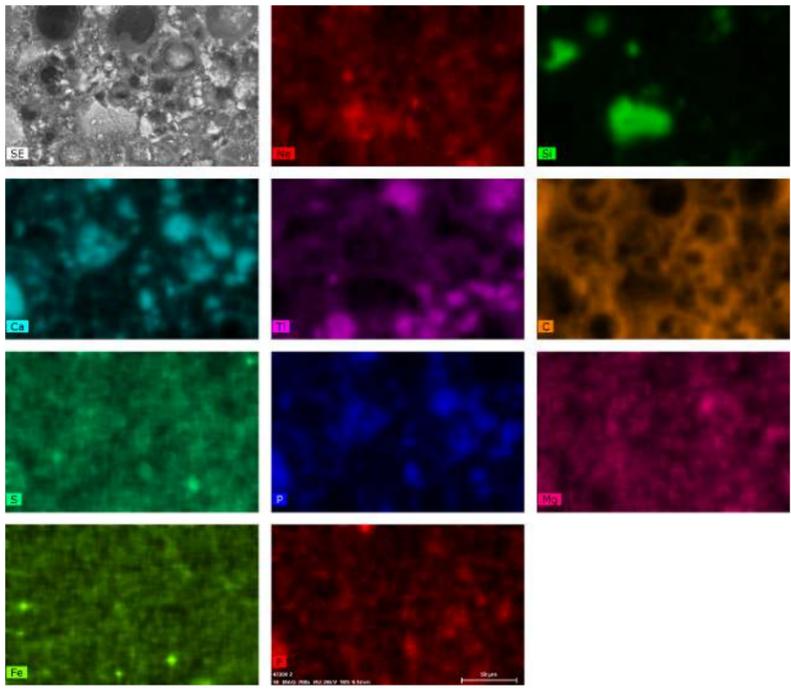


17. MEB Mapeo 47200+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47200)



Mapeo químico elemental (47200+46200)

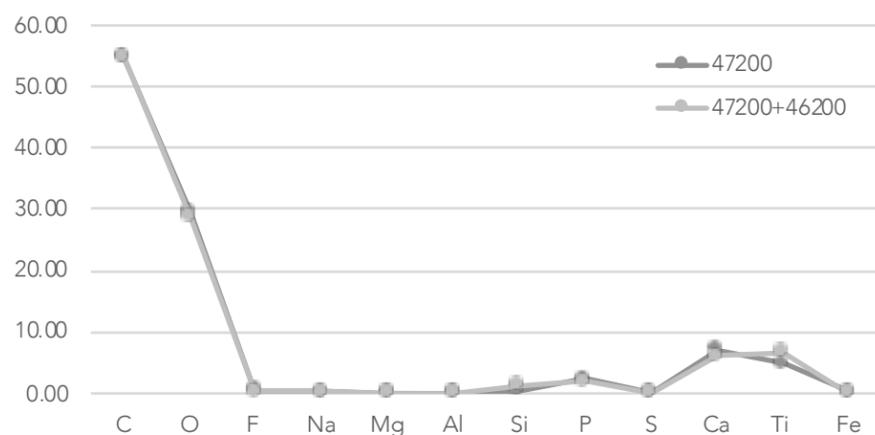


	47200	47200+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	54.77	54.86
O	29.36	28.72
F	0.39	0.19
Na	0.25	0.20
Mg	0.09	0.00
Al	0.12	0.12
Si	0.49	1.31
P	2.27	1.84
S	0.08	0.00
Ca	7.07	5.99
Ti	4.88	6.66
Fe	0.20	0.10

Observaciones

Bone Black (47200) es un material que presentó muy pocas variaciones en los elementos químicos identificados, así como un su porcentaje en peso, podemos ver que ambas pinturas (negra y gris) presentan un 54% de C, seguido por 29.36 y 28.72 % de O. En ambas muestras hay presencia de Ca menor a 10%. En 47200 tenemos un 2.27% de P, mientras que en la muestra gris (47200+46200) un 0.43% menos. En la muestra gris observamos un mayor porcentaje de Ti, 1.78% más que en la muestra negra. El análisis MEB demostró que este material además del C presenta altos contenidos de Ca, asociados con partículas de tamaño grande, patrón cristalino definido y morfología de bordes redondeados, parece una carga agregada al material.

Elementos químicos presentes en el material



Negro de marfil

Fórmula C
 Código 47150
 Marca Kremer Pigmente

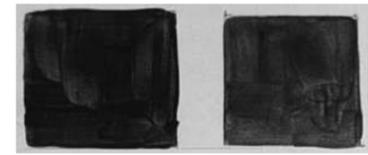
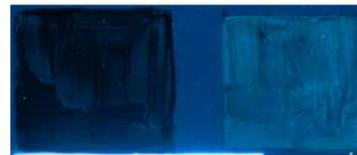
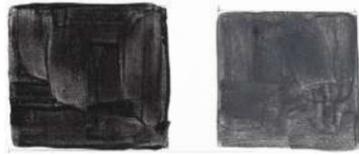
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño 10 μm
 Densidad 0.5 g/cm³
 Índice de refracción (n) 1.65-1.70
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O Sí
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

En el caso del negro de marfil observamos que el pigmento (47150) y el acrílico Primal AC 35 no formaron una película uniforme, aunque el material es opaco, no fue posible obtener un negro saturado. Pese a que los granos del pigmento no logran distinguirse en la pintura, la irregularidad de la película nos indica que los granos del pigmento no fueron molidos ni disueltos en el medio. Este comportamiento irregular del material permaneció incluso cuando se añadió blanco de titanio.

B. Imagen UV

La imagen obtenida, luego de exponer las muestras a radiación ultravioleta, muestra que el negro de marfil es un pigmento opaco que no presenta fluorescencia. En el cuadrado derecho, hecho con negro de marfil y blanco de titanio, observamos una mayor presencia de aglutinante y titanio, que brinda una apariencia más azulada. La muestra se observa semiopaca, dejando ver las trayectorias de las pinceladas y las capas pictóricas.

C. Imagen RIR

A través de la reflectografía infrarroja podemos ver la opacidad de ambas pinturas, tanto la hecha únicamente con pigmento negro (47150) como la hecha con negro y blanco de titanio. En este caso, es posible apreciar una ligera variación en cuanto a los matices entre el negro y el gris, aunque la diferencia es sutil. En el cuadrado izquierdo se aprecia la fuerte capacidad de absorción de esta longitud de onda, incluso más que en luz visible.

Descripción

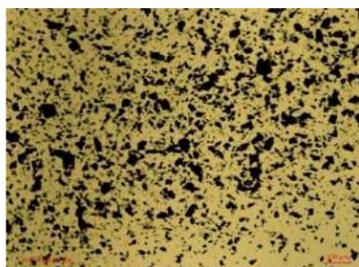
Pigmento negro preparado originalmente a partir de marfil carbonizado. El negro de marfil es un pigmento más denso que el polvo de carbón y puede ser trabajado en pinturas al óleo y acuarelas. En micrografías se aprecia la forma de las partículas como astillas elongadas de bordes rectos, angulares y textura lisa.

Micrografías

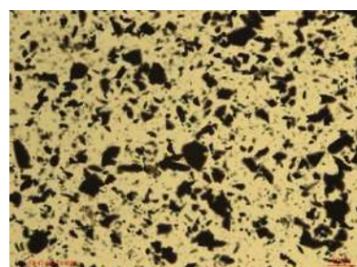
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 10X



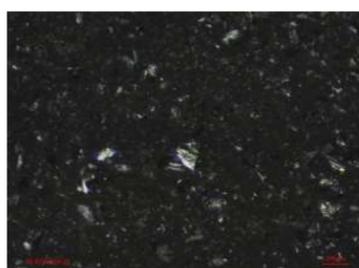
3. BF RL | 20X



4. DF RL | 20X



5. DIC RL Lambda | 20X



7. DF RL | 20X

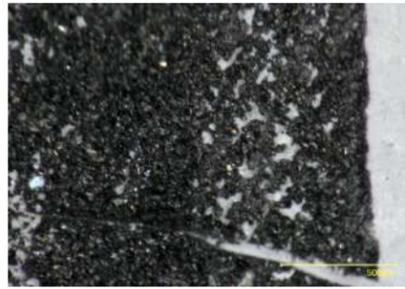
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral
 Sistema Ninguno cristalino
 Textura Lisas con bordes angulares y subangulares
 Color Negro
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas se dispersan entre sí, se muestra la variedad de tamaños de partículas presentes en este pigmento.
 Impurezas o mezclas No

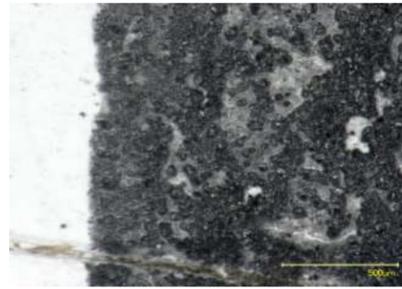
Análisis por técnicas de microscopía



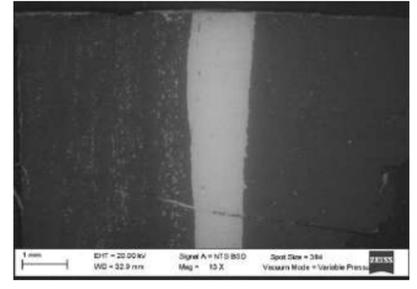
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



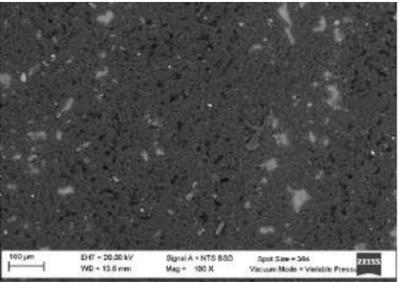
7. M. Keyence 47150 | 200 X



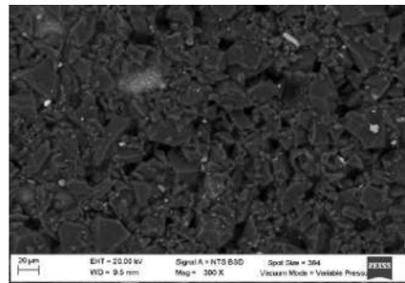
8. M. Keyence 47150+46200 | 200 X



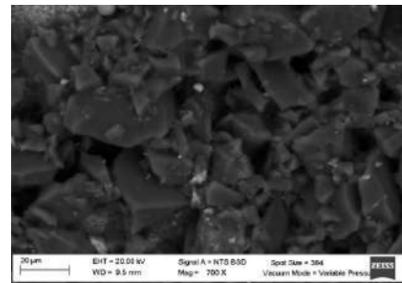
9. MEB Muestra general | 13 X



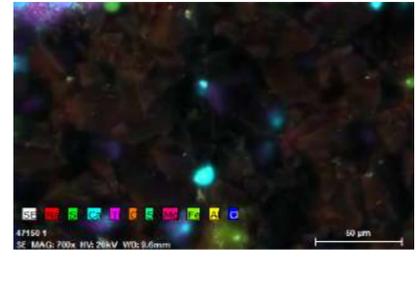
10. MEB 47150 | 100 X



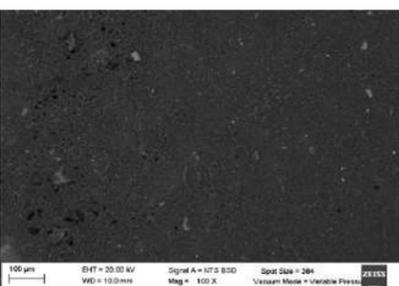
11. MEB 47150 | 300 X



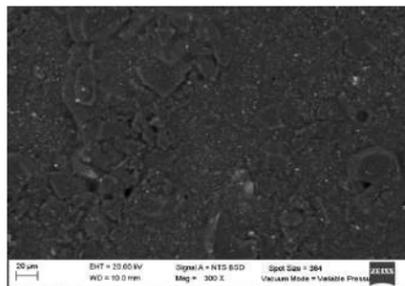
12. MEB 47150 | 700 X



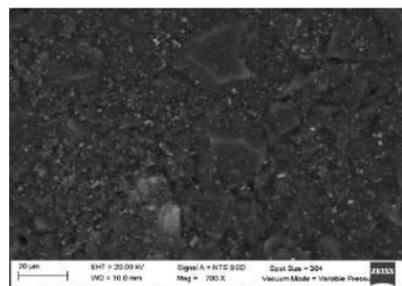
13. MEB Mapeo 47150 | 700 X



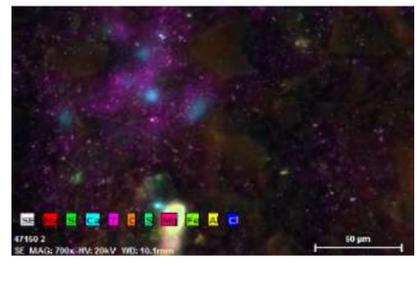
14. MEB 47150+46200 | 100 X



15. MEB 47150+46200 | 300 X

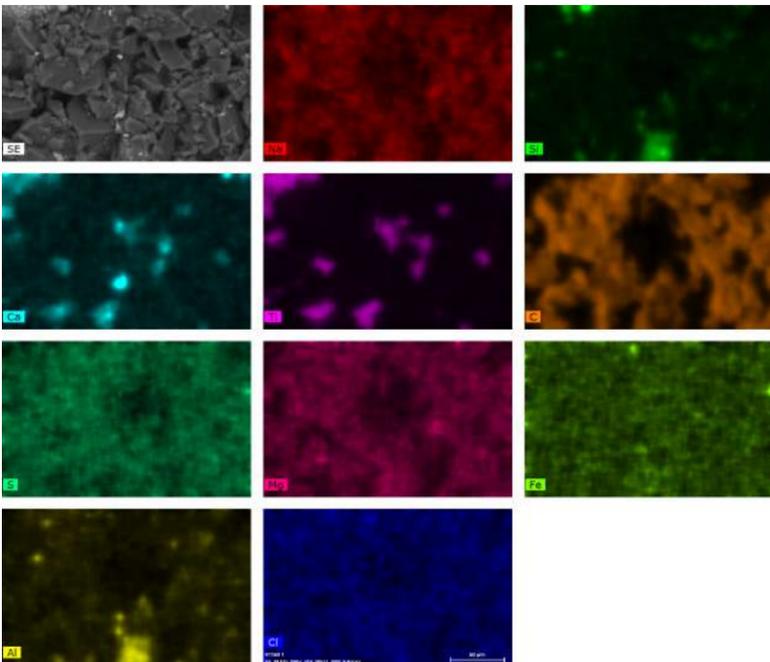


16. MEB 47150+46200 | 700 X

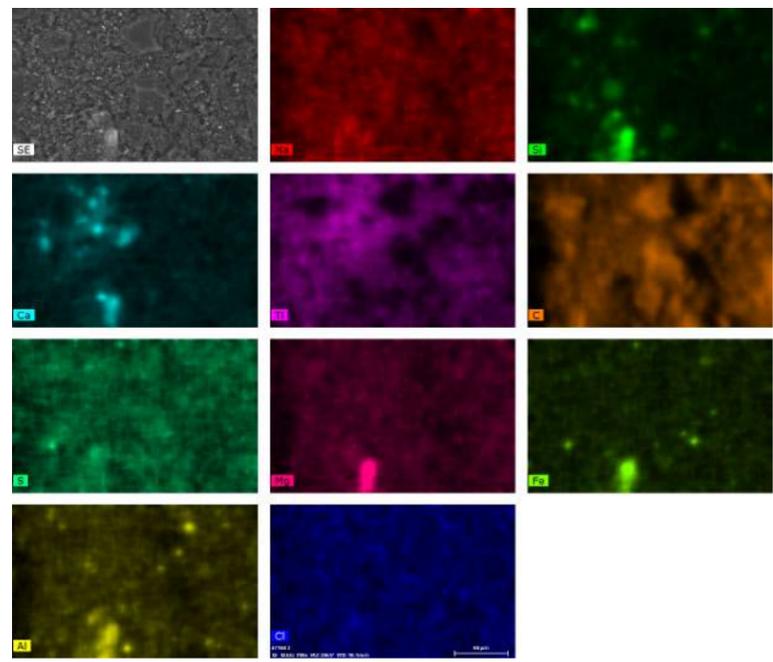


17. MEB Mapeo 47150+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47150)

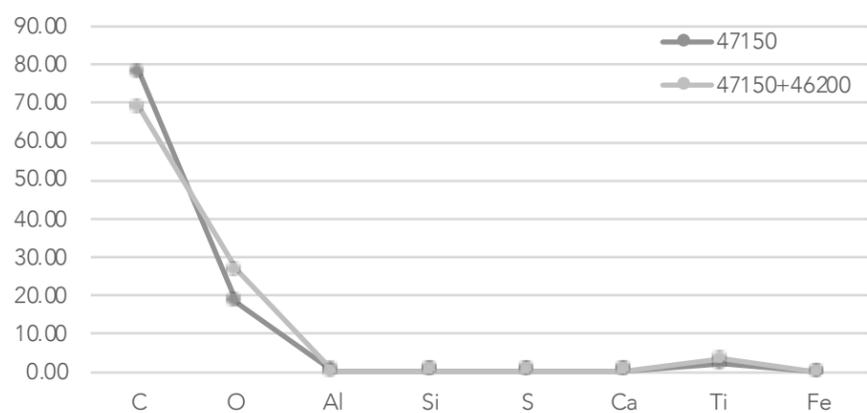


Mapeo químico elemental (47150+46200)



	47150	47150+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	78.10	68.92
O	18.32	26.48
Al	0.27	0.26
Si	0.29	0.34
S	0.45	0.30
Ca	0.48	0.32
Ti	2.02	3.38
Fe	0.09	0.00

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

Negro de marfil (47150) es un pigmento con un 78.10% de C y un 18.32% de O. En la muestra gris (47150+46200) observamos una disminución de C en un 9.18%. También se observó un incremento del 8.16% de O. En el caso del Ti, las cifras corresponden a la preparación de la muestra (Vinimex Vivid B1) o a la preparación de la muestra más el pigmento blanco añadido en el caso de la pintura gris. Se identificaron trazas de algunos elementos (Al, Si, S, Ca y Fe) en menos de 1%, se considera que dichas trazas son descartables.

Peach Black

Fórmula C
 Código 12010
 Marca Kremer Pigmente

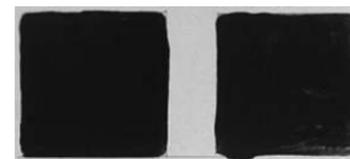
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño
 Densidad 3.51 g/cm³
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Este es uno de los pigmentos formados a partir del hollín que se produce durante la calcinación de maderas de árboles frutales, su tamaño de partícula es más fino que la longitud de onda de la luz azul por lo cual, es difícil observar la morfología de los granos individuales. Este pigmento tiene un excelente poder cubriente al absorber intensamente la luz visible. Al mezclarse con el acrílico genera una capa pictórica homogénea, con el pigmento bien distribuido en la suspensión, generando una superficie lisa y fluida incapaz de revelar la sintaxis del pincel.

B. Imagen UV

Contrario a lo que observamos en luz visible, las muestras expuestas a radiación ultravioleta sí nos permiten ver las pinceladas de pintura y las capas pictóricas. Ambas muestras son opacas, pero el cuadrado derecho se presenta con un matiz más claro respecto a lo que podemos apreciar en el cuadrado izquierdo. Ninguna muestra presenta fluorescencia; las zonas más claras en la muestra gris corresponden al aglutinante, así como al blanco de titanio.

C. Imagen RIR

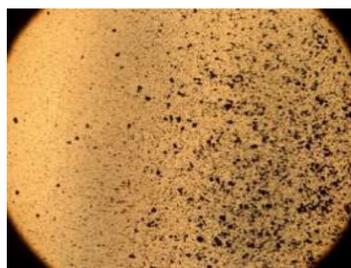
Las muestras de Peach Black vistas a través de la reflectografía infrarroja nos muestran un material opaco, con esta técnica no es posible ver las pinceladas. Peach Black al ser un material con base de carbono absorbe esta longitud de onda.

Descripción

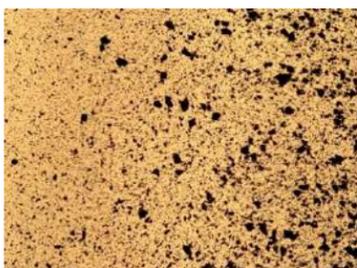
Pigmento negro con base de carbono obtenido por medio de la carbonización de semillas de durazno, durante el siglo XVII se usó especialmente en acuarela, al ser un negro de carbón vegetal su uso en óleo fue escaso pues retarda los tiempos de secado. En las imágenes se observan partículas angulares y elongadas, fragmentadas que forman conglomerados en la suspensión de resina.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



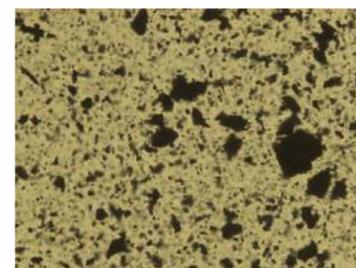
1. TL | 5X



2. TL | 10X



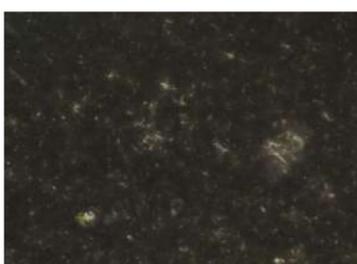
3. TL | 20X



4. DIC RL | 50X



5. DIC RL | 20X



6. DF RL | 50X

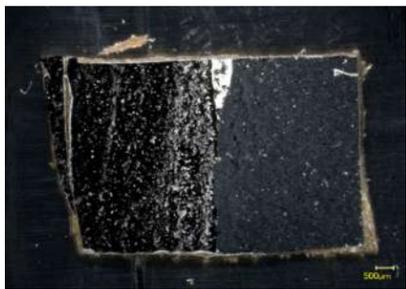


7. DIC RL Lambda | 20X

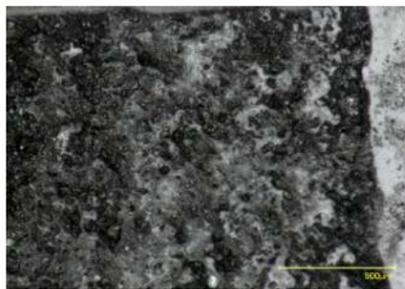
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral
 Sistema Ninguno
 cristalino
 Textura Relieve con bordes irregulares
 Color Negro
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Las partículas no se dispersan del todo, se observan conglomerados por agregados del mismo tipo.
 Impurezas o mezclas No

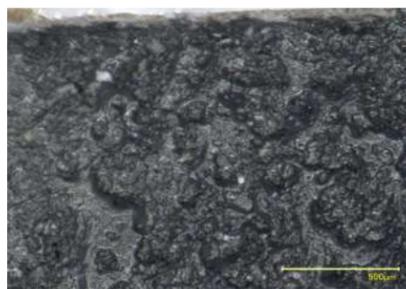
Análisis por técnicas de microscopía



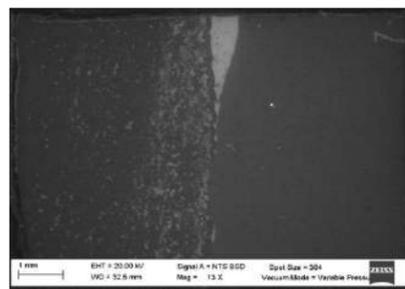
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



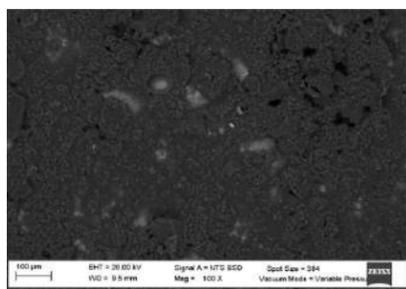
7. M. Keyence 12010 | 200 X



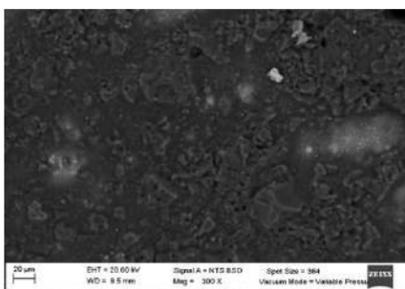
8. M. Keyence 12010+46200 | 200 X



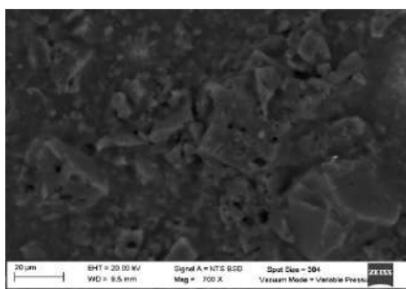
9. MEB Muestra general | 13 X



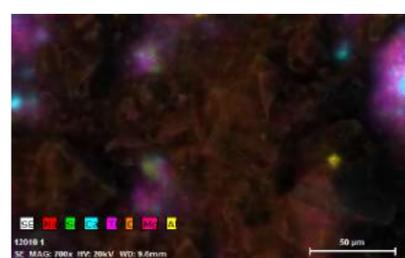
10. MEB 12010 | 100 X



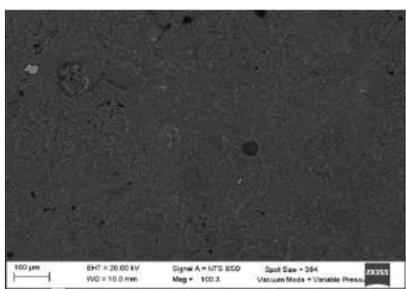
11. MEB 12010 | 300 X



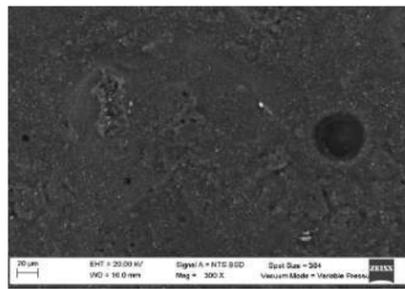
12. MEB 12010 | 700 X



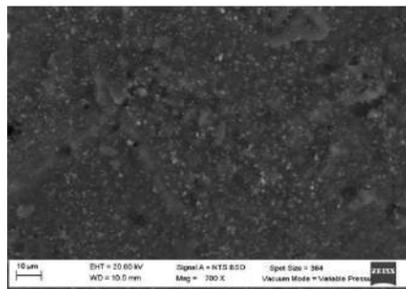
13. MEB Mapeo 12010 | 700 X



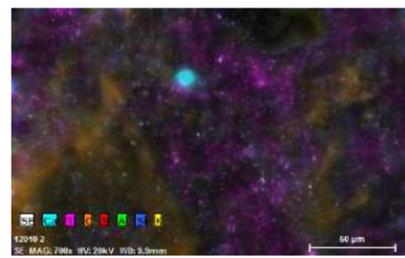
14. MEB 12010+46200 | 300 X



15. MEB 12010+46200 | 700 X

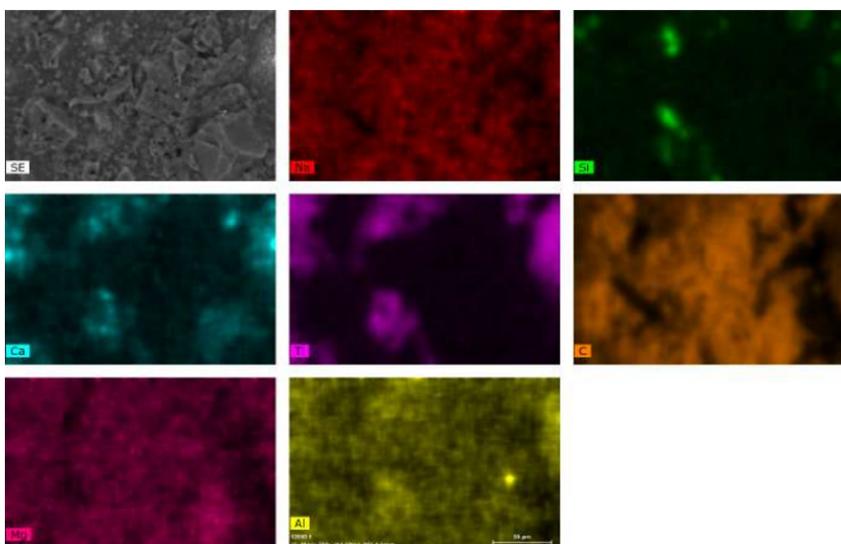


16. MEB 12010+46200 | 700 X

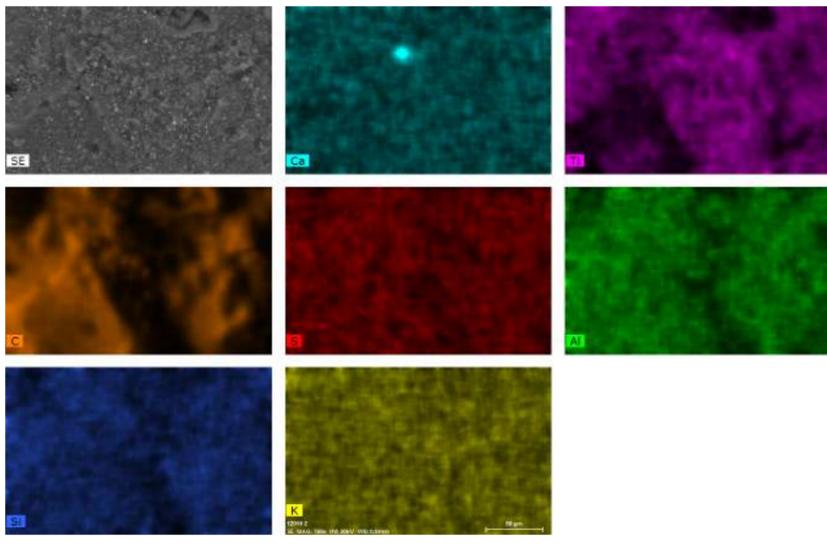


17. MEB Mapeo 12010+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (12010)

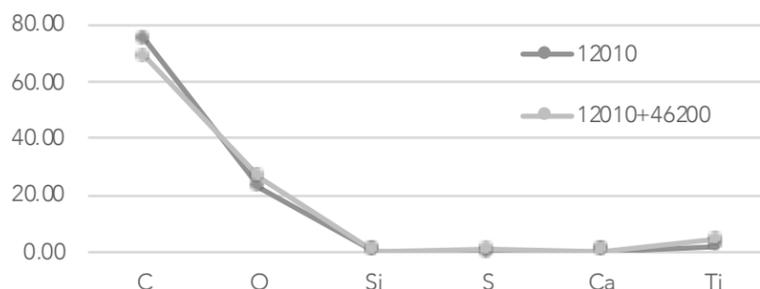


Mapeo químico elemental (12010+46200)



	12010	12010+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	74.86	68.89
O	22.52	26.17
Si	0.11	0.10
S	0.00	0.90
Ca	0.50	0.17
Ti	2.00	4.57

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

En Peach Black (12010) encontramos un porcentaje de 74.86% de C; en la pintura gris (12010+46200) la presencia de C se redujo en un 5.97%. Del mismo modo, en la muestra gris ubicada a la derecha de las imágenes 6 y 9, encontramos trazas de S en 0.90%, elemento que no fue detectado en la muestra negra hecha únicamente de Peach Black. El Ti detectado en la muestra 12010 corresponde a la preparación (Vinimex Vivid B1), la diferencia del 2.57% presentes en ambas muestras corresponde a la adición del blanco de titanio para la elaboración del gris.

Vine Black, German

Fórmula C
 Código 47000
 Marca Kremer Pigmente

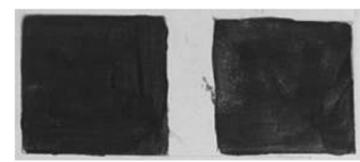
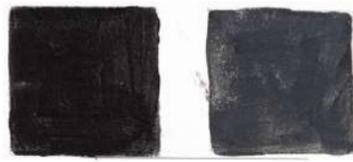
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño < 70 μm
 Densidad ca. 1,5 g/cm³
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza 1.0-2.0 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 3,500 °C
 Temperatura de ebullición 4,830 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Vine Black es un material opaco, pero trabajado con Primal AC 35 no forma una película uniforme sobre la preparación. En algunas zonas nos permite ver la concentración de material. En el sistema formado con acrílico, no es posible ver los granos del pigmento pese a tener tamaño grueso, la cual no se vio modificada cuando se añadió el polvo de distinta granulometría (fina), por lo que en ninguna de las muestras observamos pinturas uniformes, aunque sí opacas. Este pigmento no se disuelve en el medio y es incapaz de formar una película fluida y homogénea, pese a que el material en sí mismo tiene baja reflectancia en el espectro visible y buen poder cubriente.

B. Imagen UV

Nuestras muestras no presentan fluorescencia bajo la radiación ultravioleta, también es posible ver con claridad los empastes de pintura. El cuadrado derecho se observa un poco más claro, por la presencia de titanio, incluso en las zonas con mayor concentración de pintura.

C. Imagen RIR

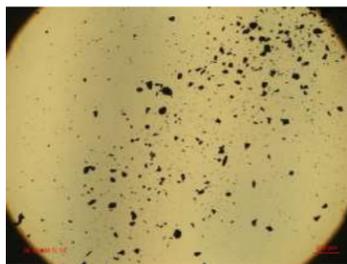
Los reflectogramas infrarrojos nos muestran que, en efecto, este pigmento negro está hecho con base en carbono, ambas muestras se aprecian opacas; es decir, que absorben la radiación infrarroja.

Descripción

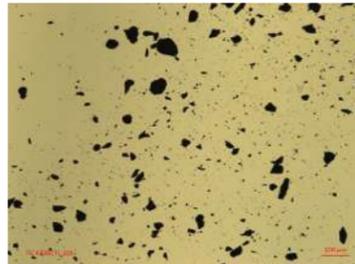
Vine Black o pigmento negro 8 es un material obtenido por la destilación en seco, óptimo para ser mezclado con barnices y con buen rendimiento a la luz. El negro de vid también es el modo no estandarizado para referirse a los pigmentos negros de humo obtenidos por distintas fuentes vegetales, fue sinónimo del negro de levadura.

Micrografías

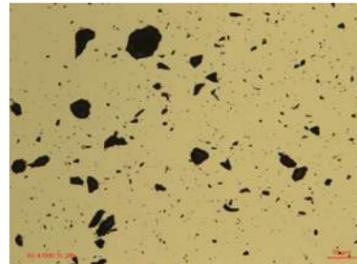
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



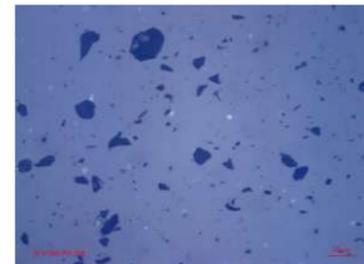
1. TL | 5X



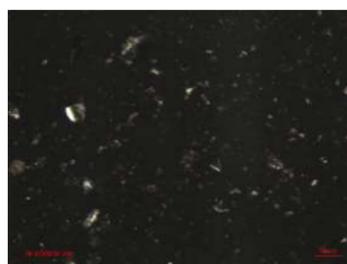
2. TL | 20X



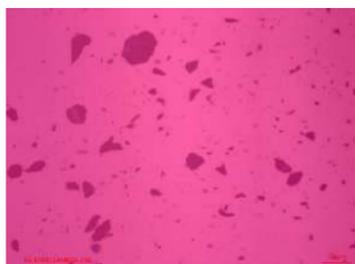
3. BF RL | 10X



4. DF RL | 20X



5. DF RL | 20X

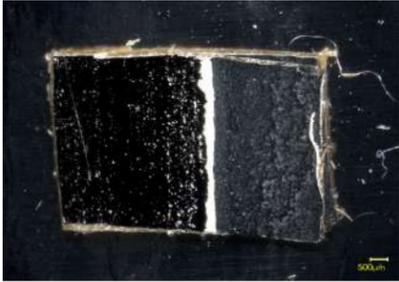


5. DIC RL Lambda | 20X

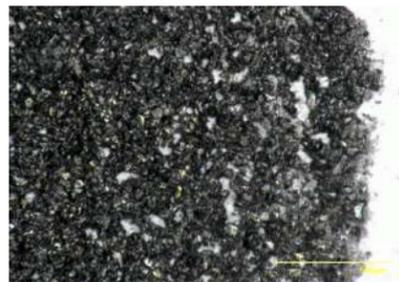
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Euhedral
 Sistema cristalino Hexagonal
 Textura Lisa
 Color Negro
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Las partículas se dispersan, no forman conglomerados. Las partículas tienen formas elongadas y de hojuelas, con bordes angulares y subangulares, fragmentadas; se mantienen aisladas.
 Impurezas o mezclas No

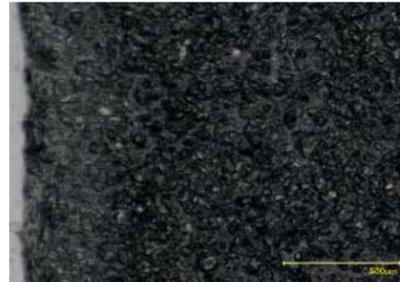
Análisis por técnicas de microscopía



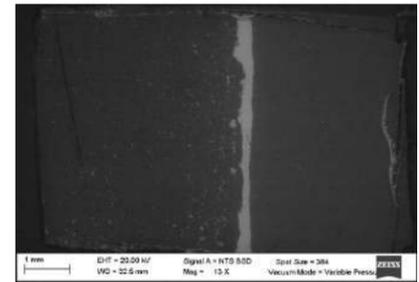
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



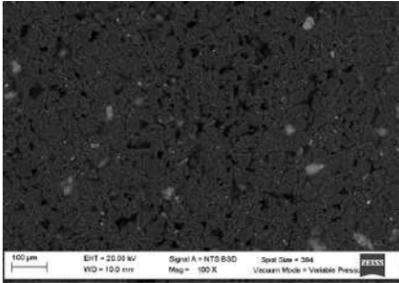
7. M. Keyence 47000 | 200 X



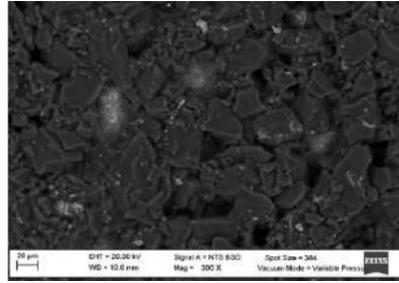
8. M. Keyence 47000+46200 | 200 X



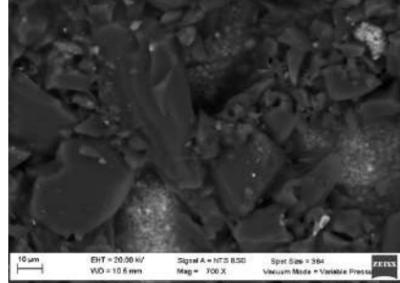
9. MEB | 13 X



10. MEB 47100 | 100 X



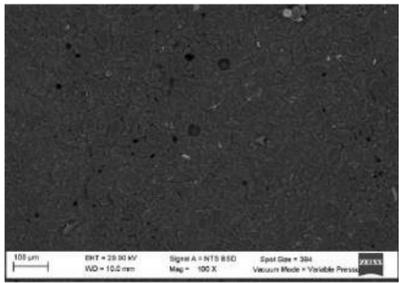
11. MEB 47000 | 300 X



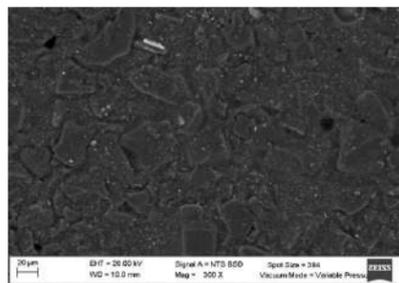
12. MEB 47000 | 700 X



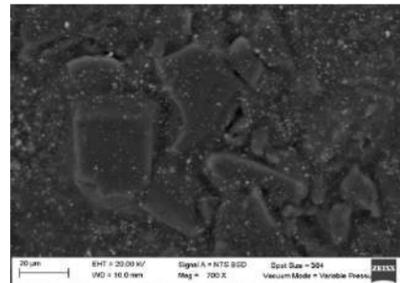
13. MEB Mapeo 47000 | 700 X



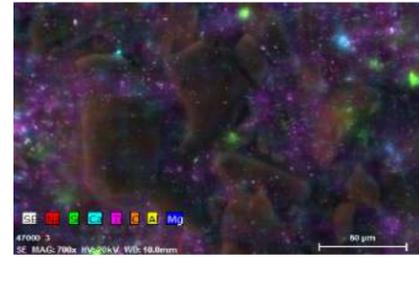
14. MEB 47000+46200 | 100 X



15. MEB 47000+46200 | 300 X

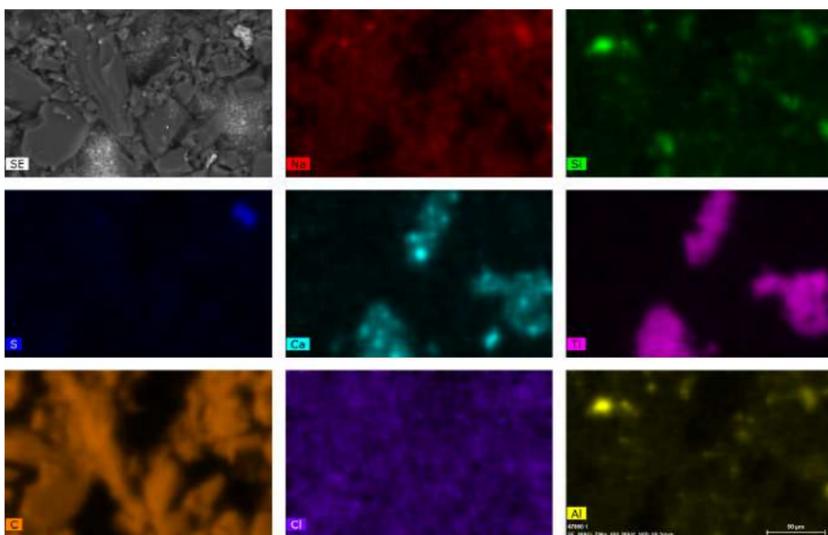


16. MEB 47000+46200 | 700 X

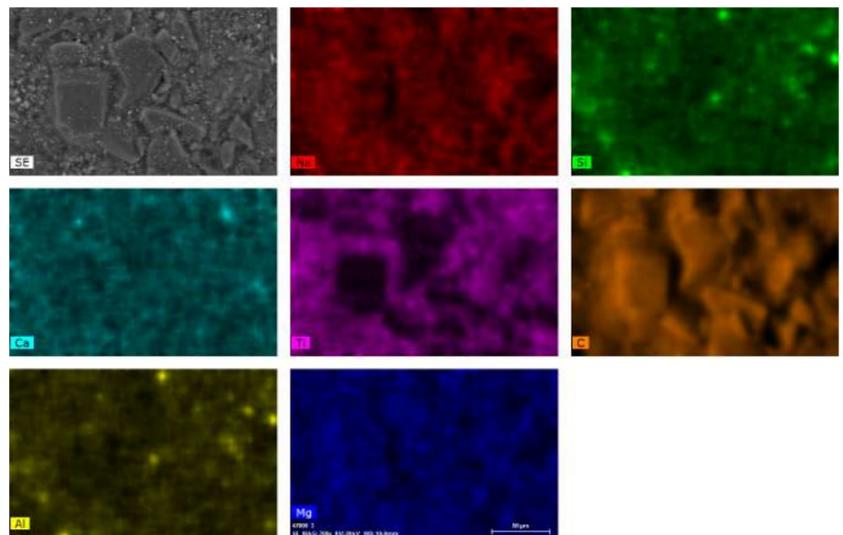


17. MEB Mapeo 47000+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47000)

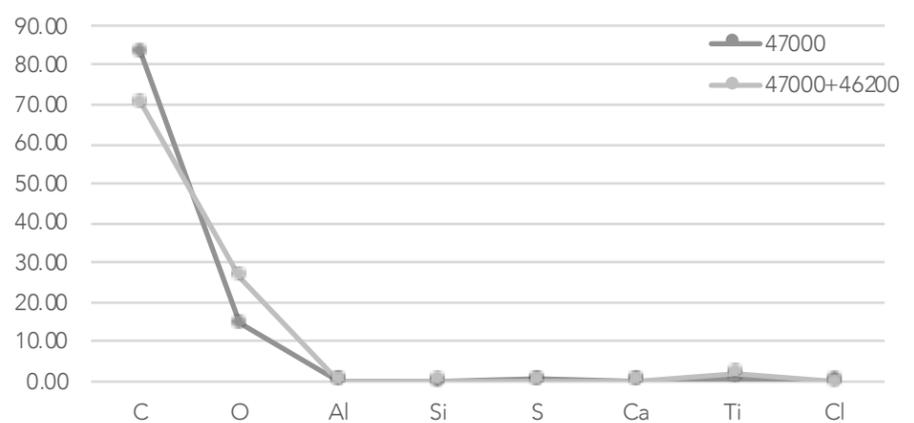


Mapeo químico elemental (47000+46200)



	47000	47000+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	83.17	70.60
O	14.77	26.50
Al	0.20	0.18
Si	0.00	0.17
S	0.50	0.26
Ca	0.18	0.10
Ti	0.78	2.18
Cl	0.12	0.00

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

Vine Black tiene una presencia importante de C y O, la muestra realizada únicamente con pigmento negro (47000) contiene 76.93% de C, la muestra a la que se le añadió blanco de titanio (46200) muestra un 6.32% menos de C, pero la misma muestra presenta un 7.25% más de O. Aunque en la muestra 47000 se identificó un ligero incremento de Ti, el Ti detectado corresponde a Vinimex Vivid B1.

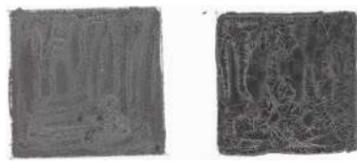
Logwood

Código 36110
 Fórmula Hematoxilina (C₁₆H₁₄O₆)
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas



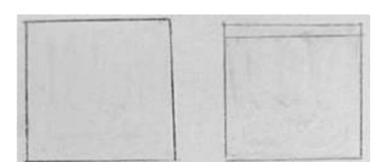
Espectro visible



Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño
 Peso molecular 302,28
 Índice de refracción (*n*)
 Toxicidad No
 Dureza
 Solubilidad Sí
 en H₂O
 Temperatura de fusión 100 - 120 °C
 Temperatura de ebullición

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Debido a que este material es un colorante orgánico, presenta problemas de miscibilidad con el medio acrílico produciéndose una reacción entre los componentes pues al momento de secar se generan patrones de craqueladuras muy evidentes en la superficie de la capa pictórica.

B. Imagen UV

Ninguna de los cuadrados o muestras presentan fluorescencia, a diferencia de los pigmentos negros con base de carbono, la muestra del lado derecho vista a través de la radiación ultravioleta no presenta un tono azulado por la presencia del blanco de titanio. Ambas se aprecian opacas y no registran las cuarteaduras en la pintura que se formaron durante el secado.

C. Imagen RIR

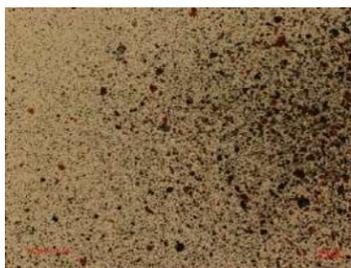
Las imágenes obtenidas a través de la reflectografía infrarroja nos muestran que Logwood es un material completamente transparente, incluso cuando se le añadió blanco de titanio, la pintura se observa transparente dejando ver las líneas subyacentes del cuadrado dibujado con carbón. Aquí tampoco se observan las fracturas que se aprecian en luz visible.

Descripción

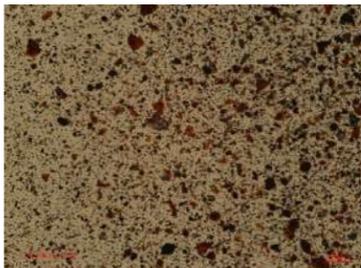
Haematoxylum campechianum es un árbol nativo del sur de México y algunas regiones de América Central, esta especie fue importante desde el siglo XVII hasta el XIX para teñir telas en Europa. El nombre científico del árbol significa "madera de sangre" (haima en griego para sangre y xylon para madera). En las imágenes se observan dos tipos de partículas unas negras y otras rojas; las primeras, opacas; las segundas, translúcidas.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



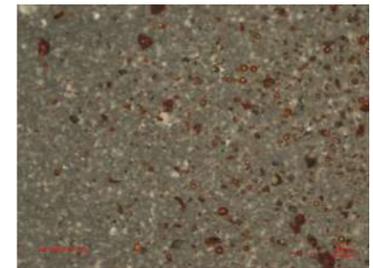
1. TL | 5X



2. TL | 10X



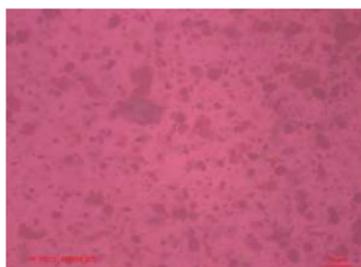
3. BF RL | 20X



4. DF | 10X



5. DIC RL | 20X

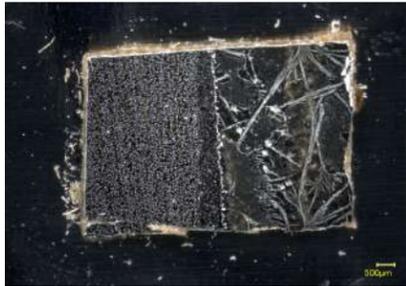


6. DIC RL Lambda | 20X

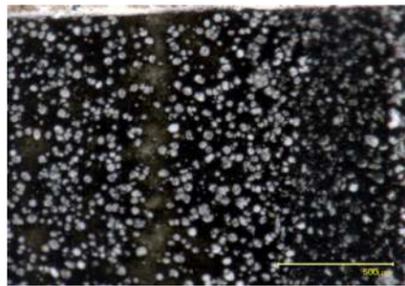
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral
 Sistema Ninguno
 cristalino
 Textura Irregular con bordes angulares
 Color Negro y rojo
 Brillo ✓
 Opacidad ×/✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución En el medio acrílico este material genera una reacción química que provoca una fuerte contracción de la película de aglutinante y compromete la distribución del colorante, formando patrones de craqueladuras largas y ramificadas a modo de plumas y abanicos.
 Impurezas Sí

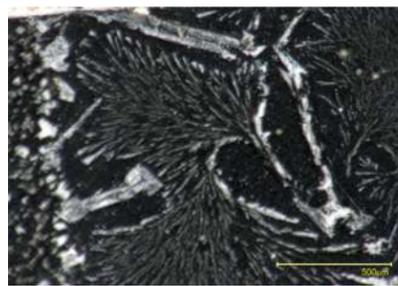
Análisis por técnicas de microscopía



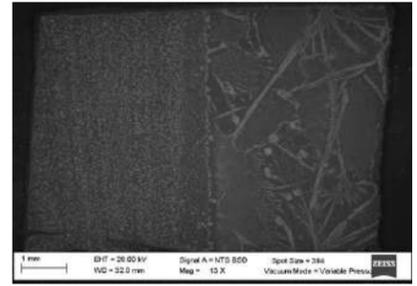
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



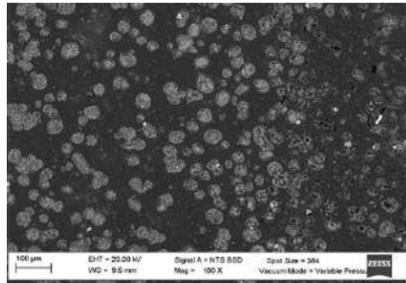
7. M. Keyence 36110 | 200 X



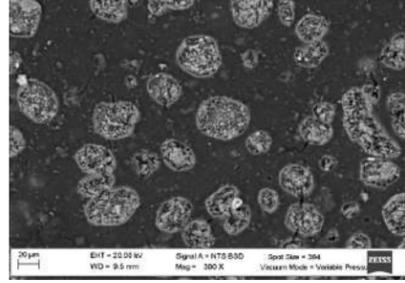
8. M. Keyence 36110+46200 | 200 X



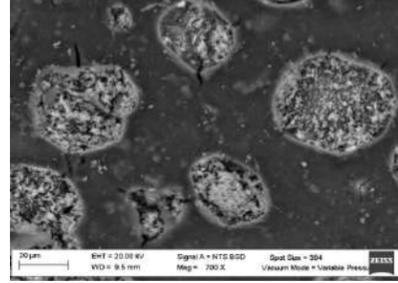
9. MEB Muestra general | 13 X



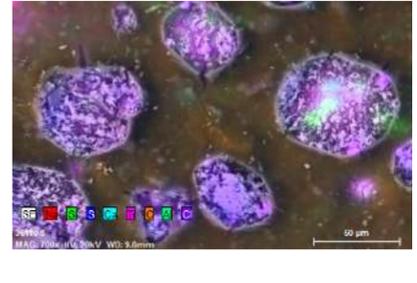
10. MEB 36110 | 100 X



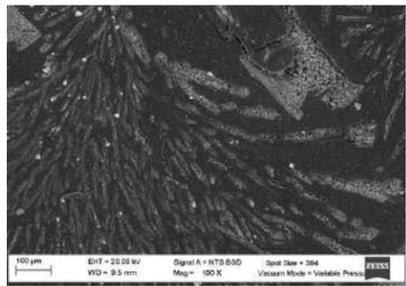
11. MEB 36110 | 300 X



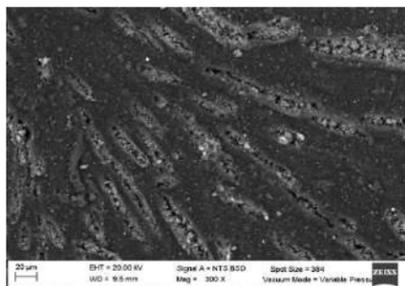
12. MEB 36110 | 700 X



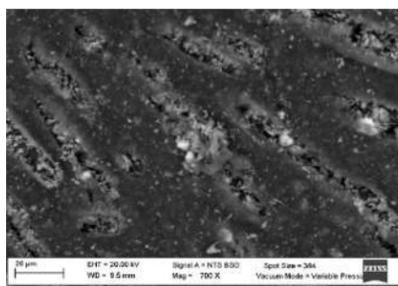
13. MEB Mapeo 36110 | 700 X



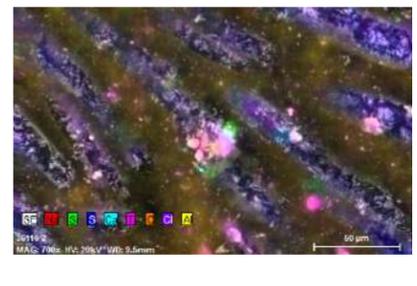
14. MEB 36110+46200 | 100 X



15. MEB 36110+46200 | 300 X

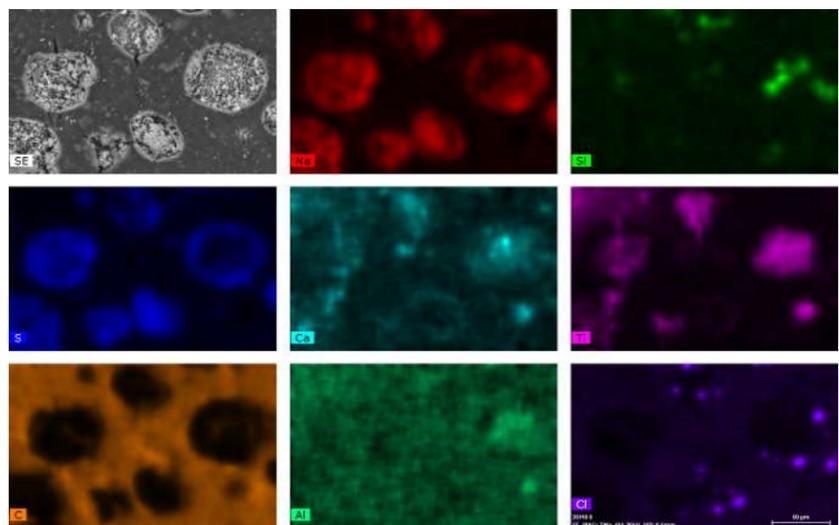


16. MEB 36110+46200 | 700 X

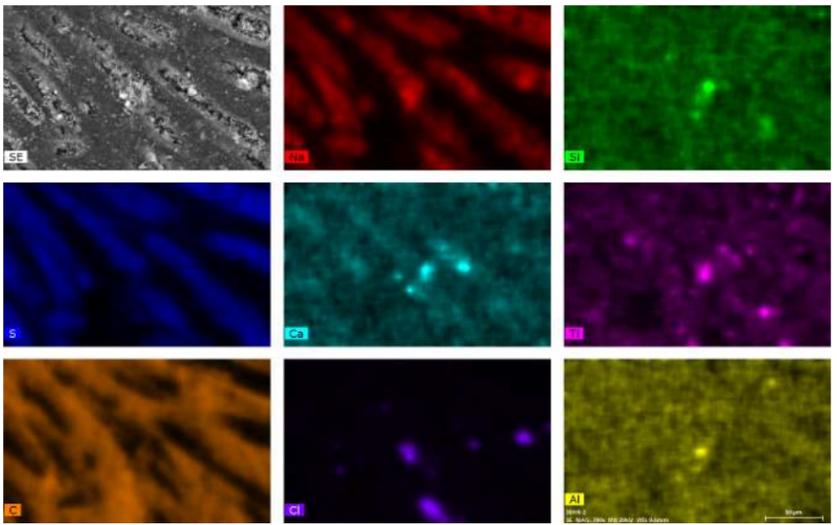


17. MEB Mapeo 36110+46200 | 700 X

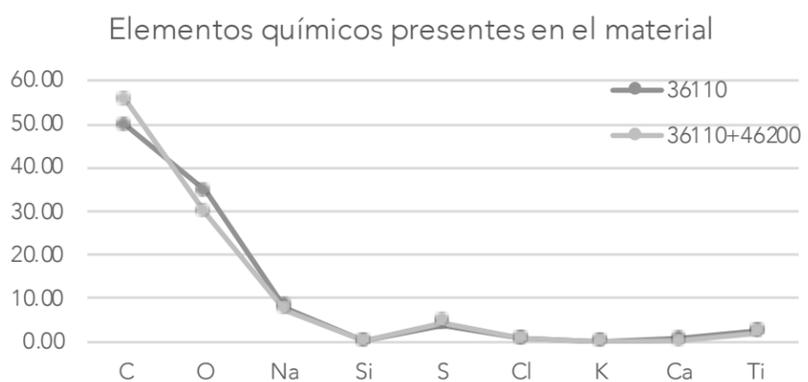
Mapeo químico elemental (36110)



Mapeo químico elemental (36110+46200)



	36110	36110+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	49.50	55.09
O	34.40	29.65
Na	7.94	7.47
Si	0.13	0.07
S	4.06	4.49
Cl	0.60	0.75
K	0.08	0.06
Ca	0.65	0.25
Ti	2.60	2.19



Observaciones

Logwood o palo de Campeche es uno de los materiales con menor presencia de C, tal como le corresponde a este material al no haber atravesado por el proceso de carbonización, como en el caso de otros materiales, ambas muestras presentan alrededor de un 50% de C. El O esta presente en un 34.40 y 29.65%, el segundo porcentaje corresponde a la muestra a la que se le añadió Ti, por lo que se observa una disminución de este elemento químico. Ambos materiales tienen un comportamiento similar, ya que en ninguno de los elementos que se identificaron luego del C y el O se observan incrementos o disminuciones con un margen amplio. No obstante, la muestra 36110 presenta un 0.41% más de Ti que 36110+46200, lo cual obedece a que debido a la reacción entre el material y el acrílico los huecos en la superficie dejan ver una mayor área de la preparación que subyace.

Atramentum

Fórmula C76H52O46 + FeSO4
 Código 12030
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas



Espectro visible



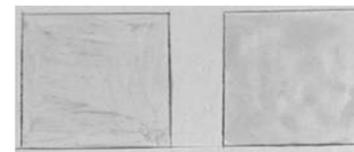
Radiación ultravioleta

IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos *

Tamaño
 Densidad 1.2965 | 1898 g/cm³
 Índice de refracción (n) 1.927
 Toxicidad No
 Dureza
 Solubilidad Sí
 en H2O
 Temperatura de fusión 218 °C | 64 °C
 Temperatura de ebullición 862,78°C | 90 °C
 *IZQ. Ácido Tánico
 DCH. Sulfato de Hierro

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

Este material ha sido utilizado desde la Antigua Roma, las primeras tintas que llevaron este nombre fueron elaboradas con carbón; sin embargo, la producción moderna de este material se realiza con base en ácido tánico; tanto por su relevancia cultural como por su composición fisicoquímica fue considerado en este proceso de experimentación. La pintura hecha de Atramentum y Primal AC 35 no nos permite distinguir la granulometría del pigmento, sus granos quedaron embebidos del medio por lo que fue posible obtener una película opaca y uniforme. Cuando se añadió el blanco de titanio, el matiz negro del material se vio ligeramente modificado hacia uno más claro. La pintura gris obtenida de mezclar Atramentum, blanco de titanio y Primal AC 35 es opaca y uniforme, las zonas translúcidas corresponden a la concentración de aglutinante.

B. Imagen UV

Las muestras excitadas por radiación ultravioleta no presentan fluorescencia. Atramentum y Logwood tienen un comportamiento similar.

C. Imagen RIR

Tal como ocurrió con Logwood, Atramentum es un material translúcido; sin embargo, los reflectogramas infrarrojos nos permiten ver los empastes del material, así como algunas pinceladas. En el caso de la muestra hecha con Atramentum y blanco de titanio es posible ver la concentración de aglutinante, marcada por algunas sombras. El blanco de titanio no modificó la apariencia translúcida del material.

Descripción

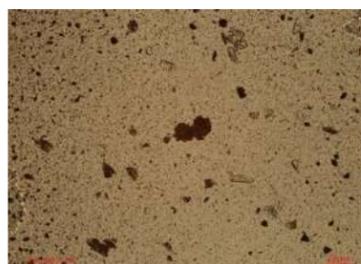
Considerado como sales y residuos metálicos, este material es producto de la reacción entre el ácido tánico y las sales de hierro; es decir, tanato ferroso. En las imágenes se observan distintas partículas que proceden de diferentes elementos químicos, algunas partículas son translúcidas y otras opacas. Las partículas translúcidas tienen bordes angulares; las partículas opacas tienen bordes tabulares con textura laminar.

Micrografías

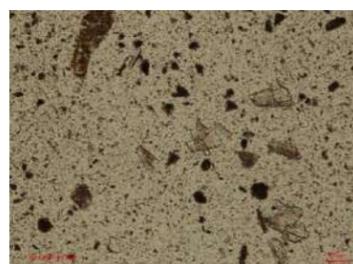
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



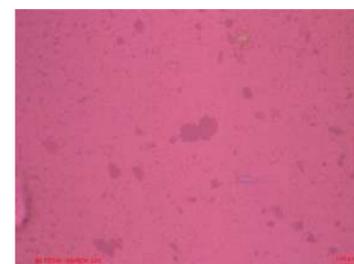
1. TL | 5X



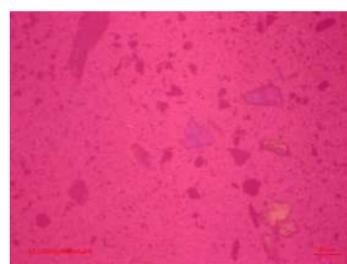
2. TL | 10X



3. TL | 20X



4. DIC RL Lambda | 10X



5. DIC RL Lambda | 20X



6. DIC RL | 20X



7. DF RL | 20X



8. TL POL | 20X

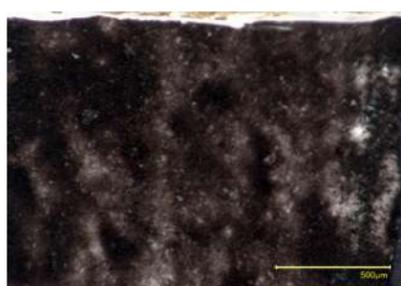
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Euhedral
 Sistema Monoclínico
 cristalino
 Textura Rayada con bordes irregulares y angulares.
 Color Marrón
 Brillo ✓
 Opacidad ×
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Las partículas se distribuyen de manera uniforme; sin embargo, las partículas de menor tamaño se encuentran agrupadas.
 Impurezas o mezclas Sí

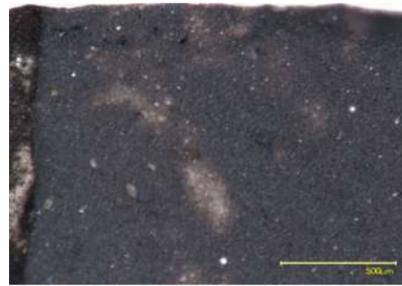
Análisis por técnicas de microscopía



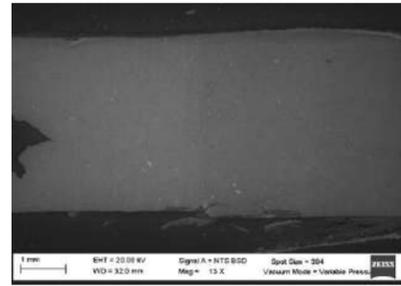
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



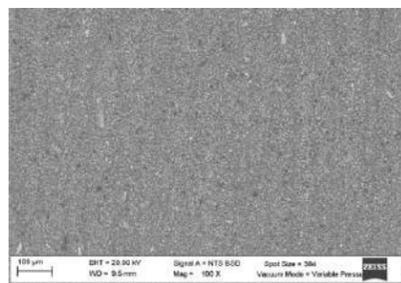
7. M. Keyence 12030 | 200 X



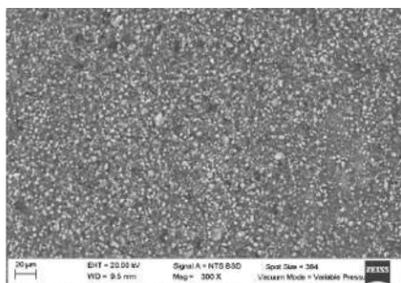
8. M. Keyence 12030+46200 | 200 X



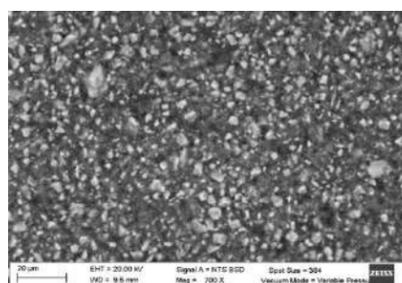
9. MEB Muestra general | 13 X



10. MEB 12030 | 100 X



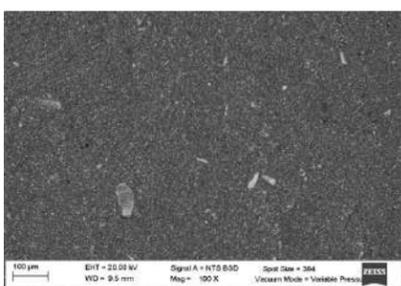
11. MEB 12030 | 300 X



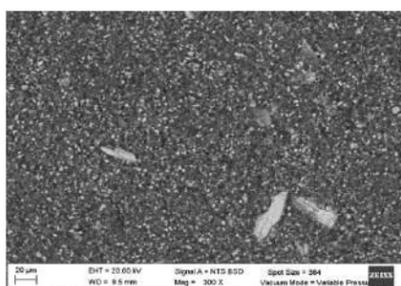
12. MEB 12030 | 700 X



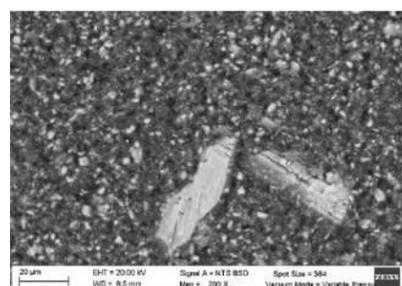
13. MEB Mapeo 47400 | 700 X



14. MEB 12030+46200 | 100 X



15. MEB 12030+46200 | 300 X

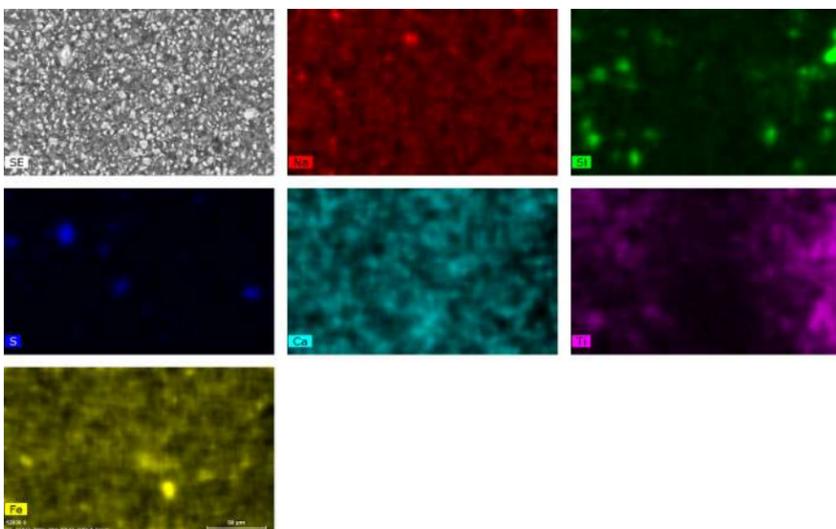


16. MEB 12030+46200 | 700 X

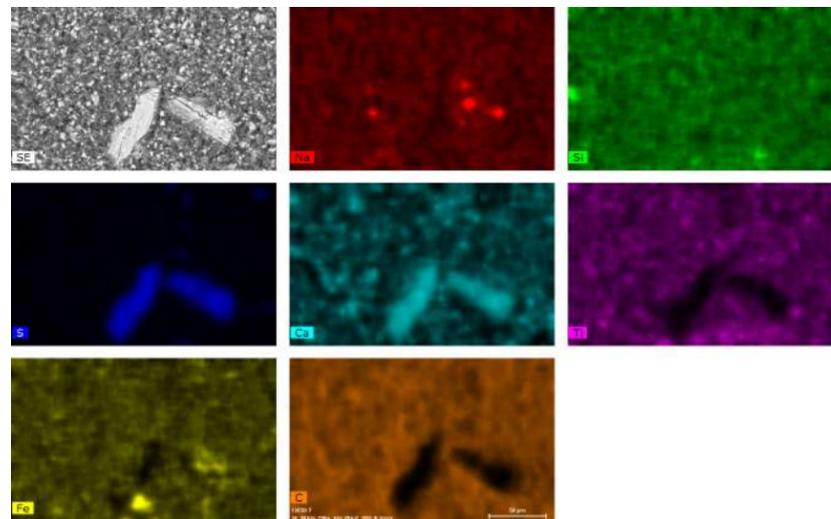


17. MEB Mapeo 12030+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (12030)

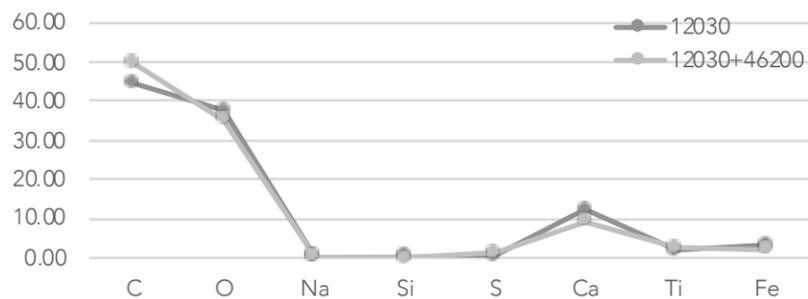


Mapeo químico elemental (12030+46200)



	12030	12030+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	44.56	49.59
O	37.40	35.15
Na	0.19	0.16
Si	0.12	0.00
S	0.45	1.24
Ca	12.31	9.21
Ti	1.93	2.46
Fe	3.04	2.20

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

En el caso de Atramentum (12030) los elementos con mayor porcentaje en peso son el C con 44.56% y 49.59%, el O con 37.40% y 35.15%; finalmente el Ca con un 12.31% y 9.21%. Mediante el análisis MEB-EDX se confirmó la composición de las sales metálicas de sulfato de Fe acompañadas de un compuesto de Ca en un promedio en peso de 18.57% presente en todos los puntos de análisis, sobre todo en las partículas sólidas que dan color al material. No ocurre así con el Ca, que en el caso de 12030 tiene un 3.1% más que la pintura gris (12030+46200), ese mismo patrón se repite con el sodio, Si y Fe, pero en el caso del S y el Ti la muestra 12030+46200 tiene un mayor porcentaje en peso de ambos elementos, como ocurre con el C como lo mencioné con anterioridad.

Galena

Fórmula	PbS
Código	10900
Marca	Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño	0 - 120 μm
Densidad	7.5 g/ml
Índice de refracción (n)	4.1984
Toxicidad	Si
Dureza	2.5–2.75 Mohs
Solubilidad en H ₂ O	Prácticamente insoluble

Temperatura de fusión	1,114°C
Temperatura de ebullición	1,281 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible. Se eligió este elemento por su presencia de plomo, en relación con la apariencia metálica del grafito. La galena es un material que nos permitió elaborar una pintura opaca, aunque no del todo uniforme. No es posible distinguir la granulometría del pigmento, cuando a la galena se le añadió el blanco de titanio mejoró la uniformidad de la capa pictórica, así como su opacidad, incluso al ser una pintura de un gris más claro.

B. Imagen UV

Aunque ninguna de las muestras presenta fluorescencia, la muestra del lado derecho presenta un tono azulado semejante al que observamos en algunos pigmentos negros con base de carbono debido a la unión de dos granulometrías y aglutinante en el que quedaron imbuidos los granos de ambos pigmentos.

C. Imagen RIR

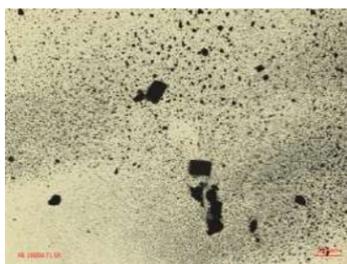
Los reflectogramas infrarrojos muestran que la galena es un pigmento opaco que absorbe esta longitud de onda. En la luz visible se observan diferencias entre los tonos de negro y gris; sin embargo, a través de esta técnica no es posible apreciarlas.

Descripción

La galena es un mineral compuesto por sulfuro de plomo, el pigmento es de color negro; sin embargo, se observan algunos destellos brillantes. La galena con frecuencia contiene plata u otros compuestos metálicos.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



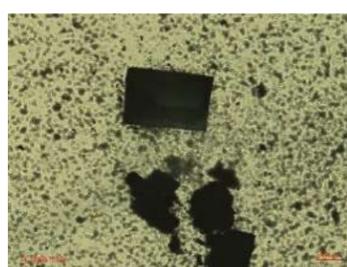
2. DF RL | 5X



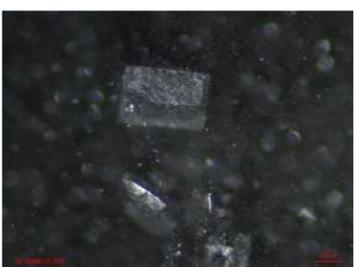
3. DF RL | 10X



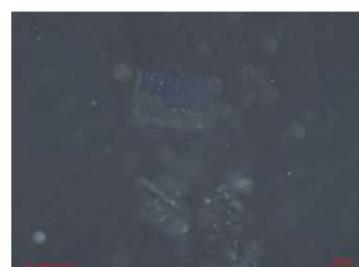
4. DIC RL Lambda | 10X



5. TL | 20X



6. DF RL | 20X



7. DIC RL | 20X



8. DIC RL Lambda | 20X

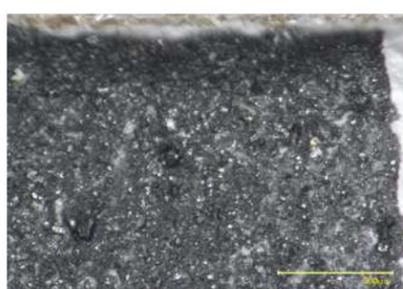
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico Axiomager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad	Euhedral
Sistema cristalino	Cúbico
Textura	De relieve con zonificaciones tabulares
Color	Negro/Gris
Brillo	✓
Opacidad	✓
Birrefringencia	×
Isotropía	✓
Anisotropía	×
Distribución	Las partículas de mayor tamaño se encuentran aisladas, las más pequeñas forman conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo.
Impurezas o mezclas	No

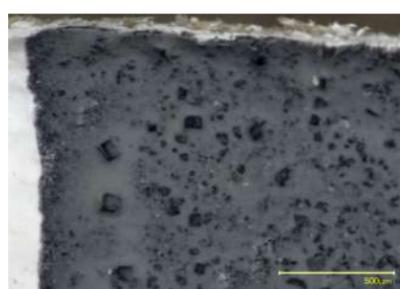
Análisis por técnicas de microscopía



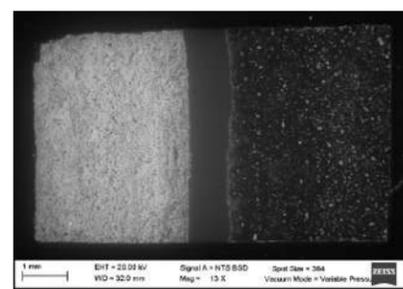
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



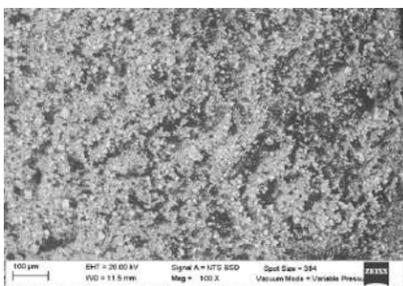
7. M. Keyence 10900 | 200 X



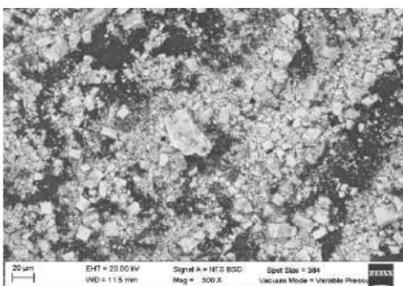
8. M. Keyence 10900+46200 | 200 X



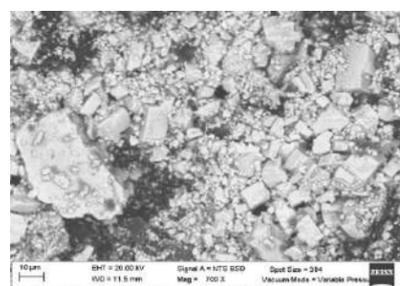
9. MEB Muestra general | 13 X



10. MEB 10900 | 100 X



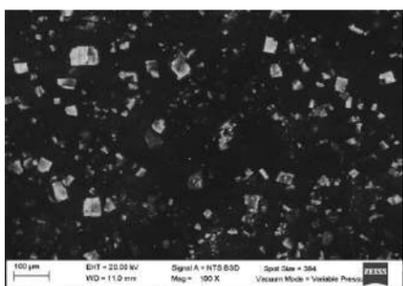
11. MEB 10900 | 300 X



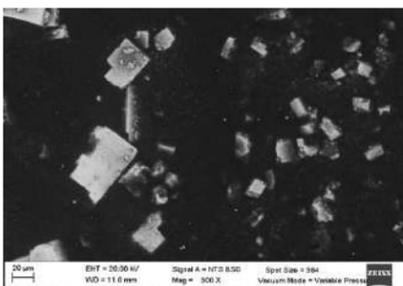
12. MEB 10900 | 700 X



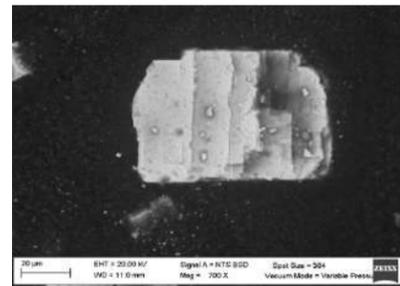
13. MEB Mapeo 10900 | 700 X



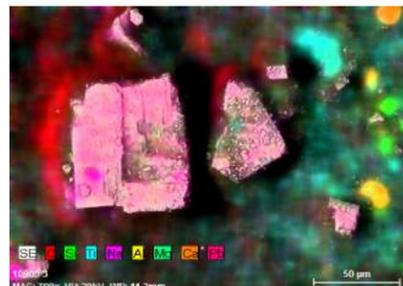
14. MEB 10900+46200 | 300 X



15. MEB 10900+46200 | 300 X

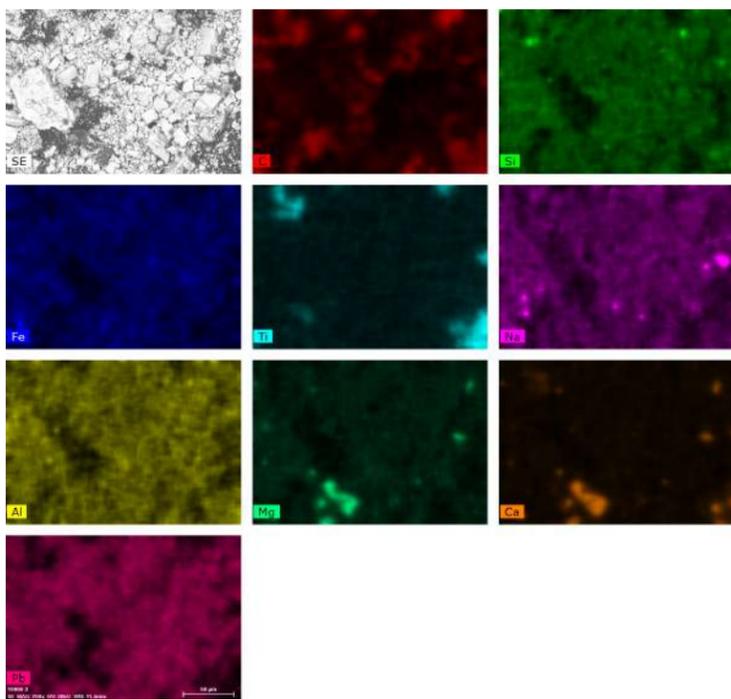


16. MEB 10900+46200 | 700 X

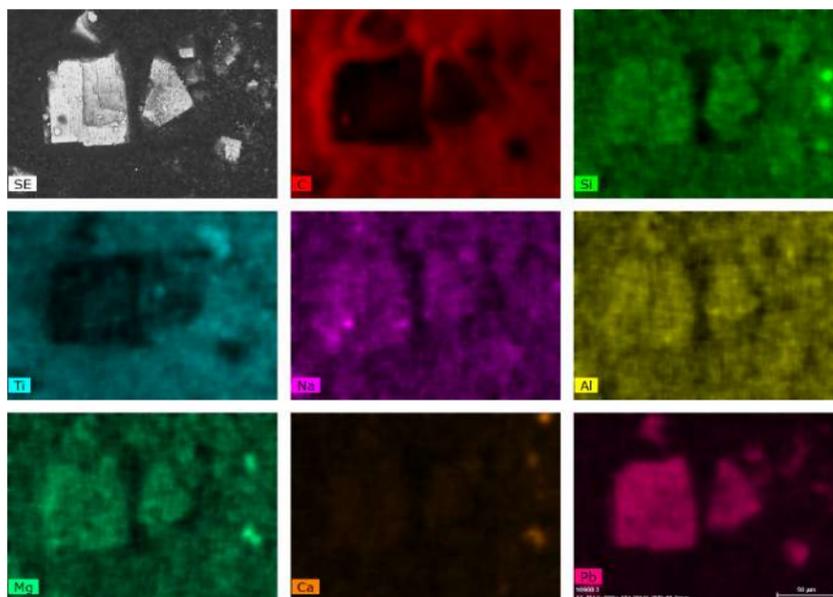


17. MEB Mapeo 10900+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (10900)



Mapeo químico elemental (10900+46200)

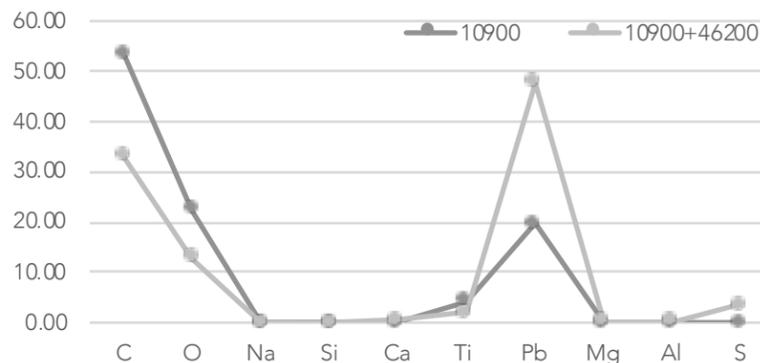


	10900	10900+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	33.14	53.41
O	12.94	22.35
Na	0.07	0.07
Si	0.00	0.01
Ca	0.39	0.07
Ti	2.05	4.31
Pb	47.67	19.76
Mg	0.10	0.00
Al	0.08	0.00
S	3.52	0.00

Observaciones

Por medio del análisis químico elemental se confirmó la composición del sulfuro de Pb constitutivo de este mineral, asociado con grandes cantidades de C, ya que el tamaño de su partícula es tan grande que requiere abundante aglutinante para poder formar una película cubriente. Se detectaron trazas de sodio, Ca y Si en las partículas del material.

Elementos químicos presentes en el material



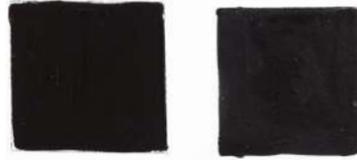
Iron Oxide Black 320, brownish

Fórmula Fe_3O_4
 Código 48440
 Marca Kremer Pigmente

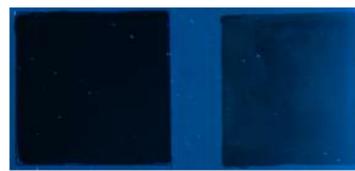
Imágenes fotográficas



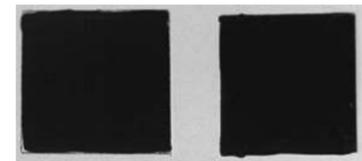
Espectro visible



Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño 0.15 μm
 Densidad 4.6
 Índice de refracción (n) 2.42
 Toxicidad No
 Dureza 5.5–6.5 Mohs
 Solubilidad en H_2O No
 Temperatura de fusión 1597 $^{\circ}\text{C}$
 Temperatura de ebullición

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

El negro obtenido con óxido de hierro negro es opaco, saturado y uniforme. Los granos del material quedaron completamente emulsionados en el Primal AC 35, por lo que es imposible distinguir su granulometría. Este comportamiento no se vio afectado por la adición del blanco de titanio, aunque es posible apreciar una ligera modificación en el matiz negro, incluso con el blanco de titanio, el óxido de hierro negro sigue siendo un negro opaco, saturado y uniforme.

B. Imagen UV

Ambas muestras se observan opacas y sin fluorescencia.

C. Imagen RIR

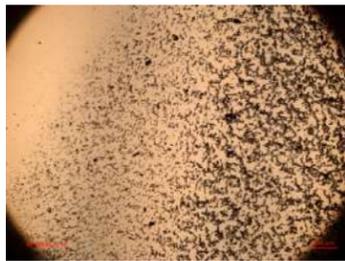
Los reflectogramas infrarrojos muestran que el óxido de hierro negro absorbe por completo este tipo de radiación. Ambas muestras se aprecian completamente opacas y como ocurre con la luz visible no es posible distinguir ni las pincelas, ni las capas pictóricas.

Descripción

El pigmento de óxido de hierro negro se utiliza en la fabricación de vidrio, aluminio, esmaltes, pinturas, recubrimientos, caucho y otros materiales de construcción. Es un pigmento estable y alta resistencia en la intemperie, antienviejecimiento y antioxidante. Sus partículas son fuertemente magnéticas.

Micrografías

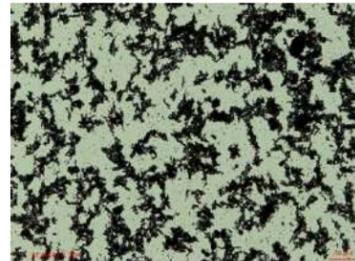
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



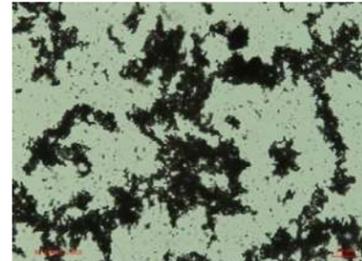
1. TL | 5X



2. TL | 10X



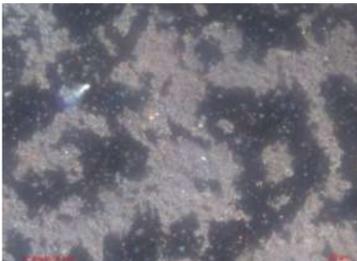
3. TL | 20X



4. TL | 50X



5. DF RL | 10X



6. DF RL | 50X



7. DIC RL Lambda | 10X

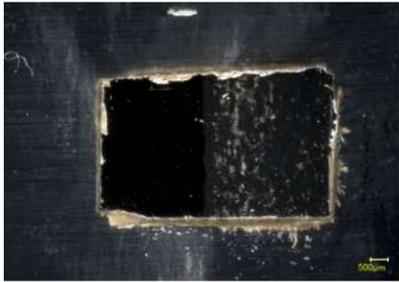


8. UV Dapi | 20X

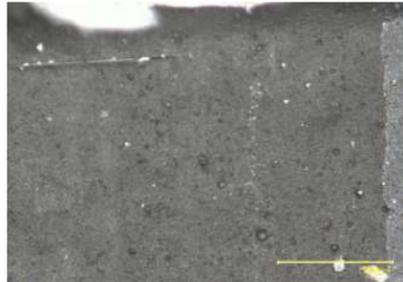
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Euhedral
 Sistema cristalino Cúbico
 Textura Lisa
 Color Negro mate
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas no se encuentran aisladas, forman conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo.
 Impurezas o mezclas No

Análisis por técnicas de microscopía



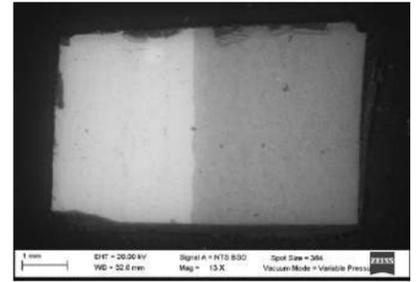
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



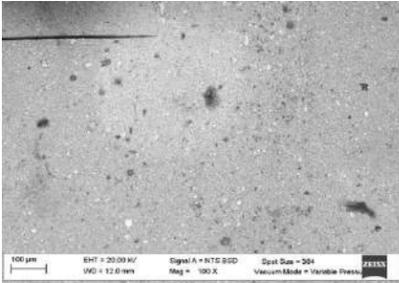
7. M. Keyence 48440 | 200 X



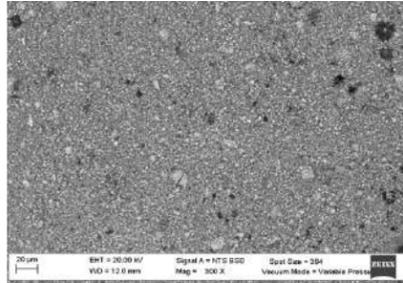
8. M. Keyence 48440+46200 | 200 X



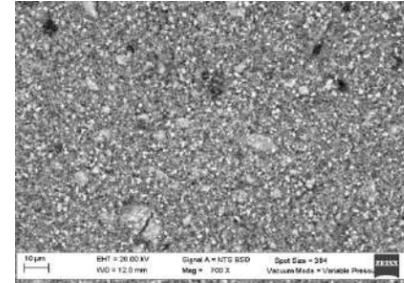
9. MEB | 13 X



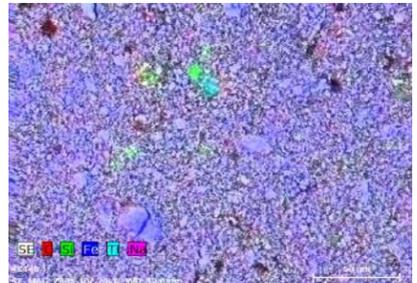
10. MEB 48440 | 100 X



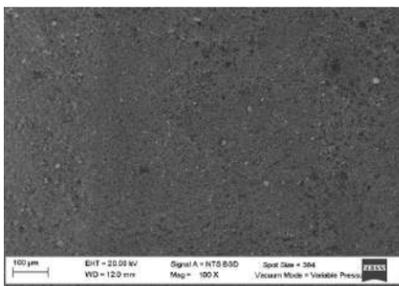
11. MEB 48440 | 300 X



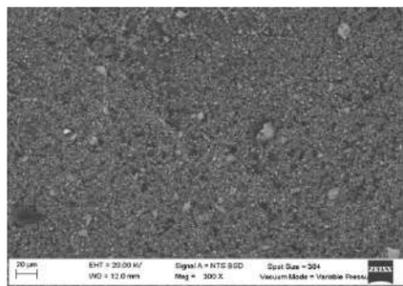
12. MEB 48440 | 700 X



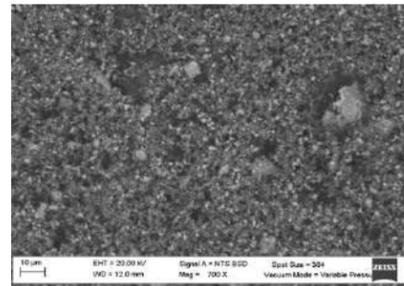
13. MEB Mapeo 48440 | 700 X



14. MEB 48440+46200 | 100 X



15. MEB 48440+46200 | 300 X

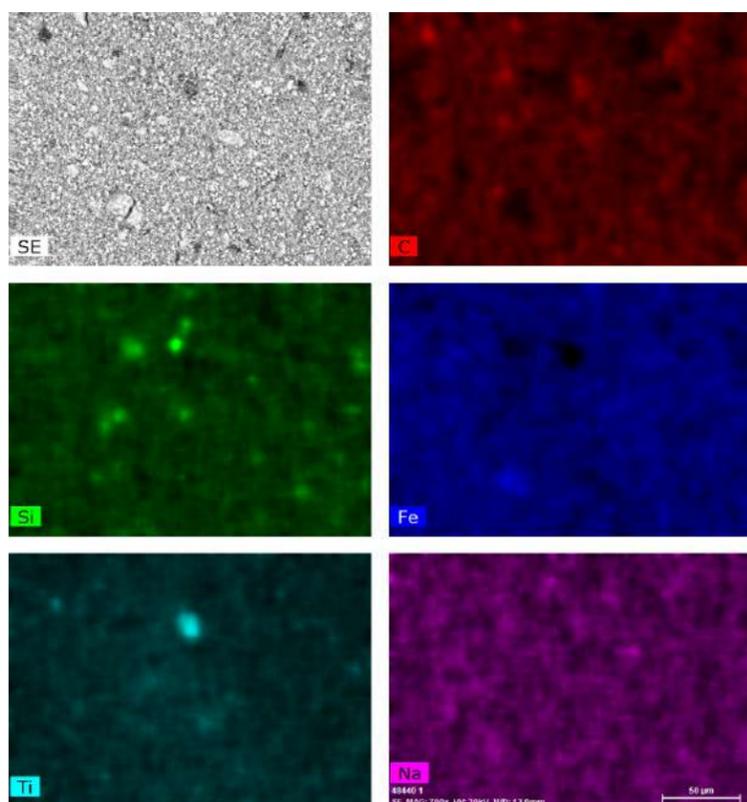


16. MEB 48440+46200 | 700 X

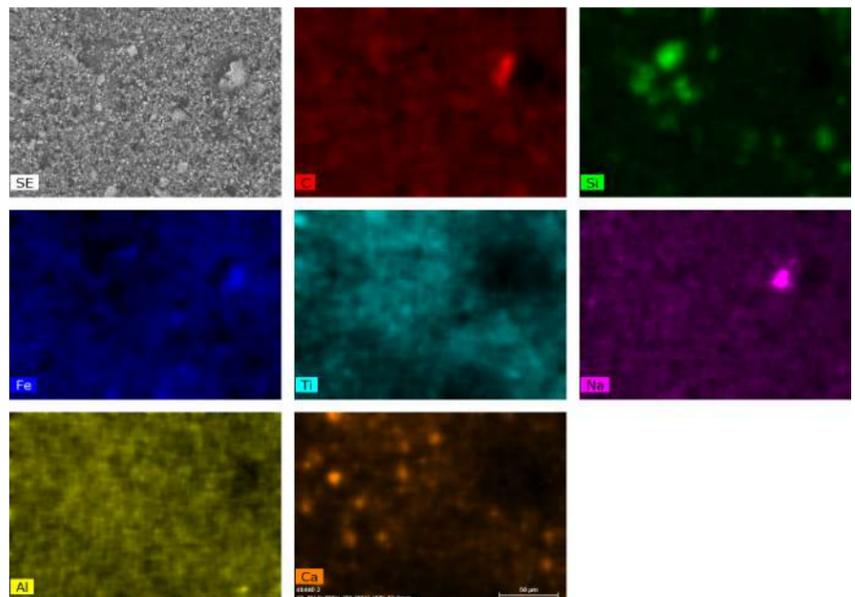


17. MEB Mapeo 48440+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (48440)



Mapeo químico elemental (48440+46200)

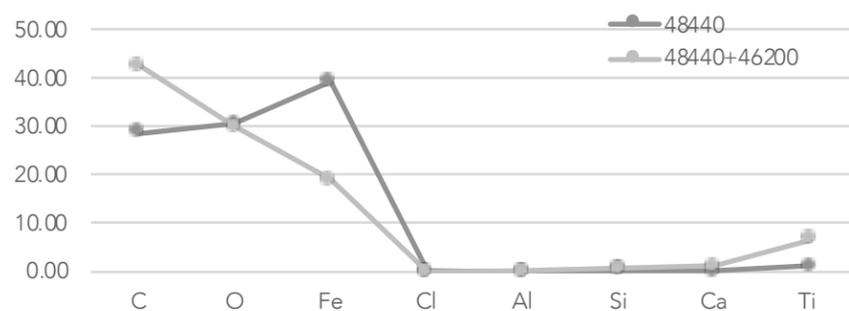


	48440	48440+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	28.59	42.59
O	30.40	30.04
Fe	39.20	18.9
Cl	0.06	0.00
Al	0.00	0.10
Si	0.42	0.54
Ca	0.12	1.07
Ti	1.17	6.71

Observaciones

El negro de óxido de Fe es un material con bajos porcentajes de C, en ambas muestras se identificó menos de un 50% de C. Sin embargo, tiene un alto porcentaje de Fe; la primera muestra (48440) arrojó un 39.20% de Fe, mientras que la segunda (48440+46200) 30.04%.

Elementos químicos presentes en el material



Negro de manganeso

Código 47500
 Fórmula $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{O}_4$
 Marca Kremer Pigmente

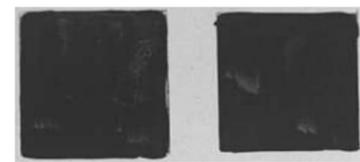
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño 0.6 μm
 Densidad 4.5 -5 g/cm³ (20°C)
 Índice de refracción (n) 2.3435
 Toxicidad No
 Dureza
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 535 °C
 Temperatura de ebullición 1962 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

El pigmento con código 47500 (negro de manganeso) tiene una granulometría que nos permitió formar una película uniforme y opaca sobre la madera preparada con Vinimex Vivid B1, los granos del pigmento quedaron embebidos en el medio (Primal AC 35). Este comportamiento uniforme y opaco no fue afectado por la incorporación del blanco de titanio; sin embargo, se observa un cambio sutil en el tono negro que brinda el óxido de manganeso.

B. Imagen UV

La exposición de las pinturas tanto negra como gris no reveló fluorescencia, tanto el negro de manganeso como el blanco de titanio absorben esta longitud de onda. La muestra ubicada a la derecha muestra un tono ligeramente azul como parte del comportamiento del blanco de titanio a la radiación UV. Ambas muestras se observan uniformes y opacas.

C. Imagen RIR

Las imágenes capturadas a partir de la reflectografía infrarroja muestran que el negro de manganeso es un pigmento opaco. En ambas probetas se aprecian algunas zonas translúcidas que corresponden a la disolución del material en el medio. Esta técnica nos permite ver algunas huellas de la pincelada que no es posible distinguir en luz visible.

Descripción

El negro de manganeso es un pigmento pardo compuesto principalmente (>75%) por óxido de manganeso negro y otros compuestos de manganeso como la jacobsita. Este material ha sido utilizado como esmalte cerámico, también se ha utilizado como pigmento para pintura; sin embargo, este uso no es común. También fue utilizado como secador de pinturas al óleo y pinturas industriales para interiores. Bajo el microscopio óptico se observa una mezcla de partículas de diversos tamaños y morfologías, las más grandes son gris oscuro opacas y de color pardo oscuro, las más finas son blancas brillantes y de color anaranjado brillante.

Micrografías

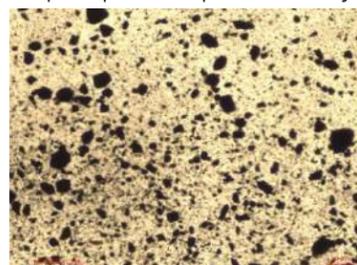
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 10X



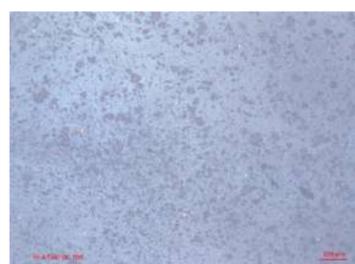
3. TL | 20X



4. DF RL | 10X



5. DF RL | 20X



6. DIC RL | 10X



7. DIC RL Lambda | 10X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Anhedral y subhedral
 Sistema Tetragonal
 cristalino

Textura Porosa con bordes irregulares

Color Negro

Brillo ✓

Opacidad ✓

Birrefringencia ✓

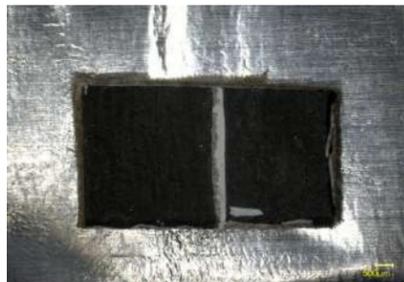
Isotropía ×

Anisotropía ✓

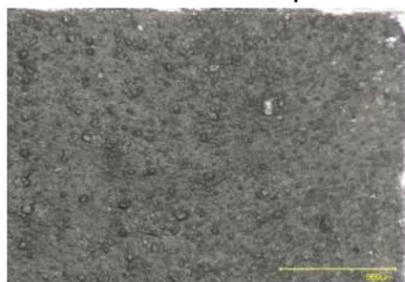
Distribución Aunque las partículas se distribuyen, también se observan conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo.

Impurezas o mezclas Sí

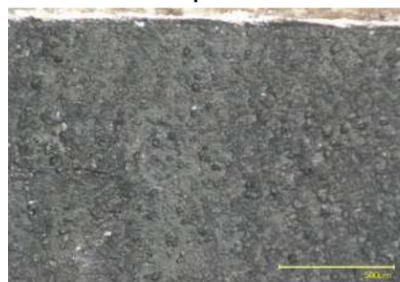
Análisis por técnicas de microscopía



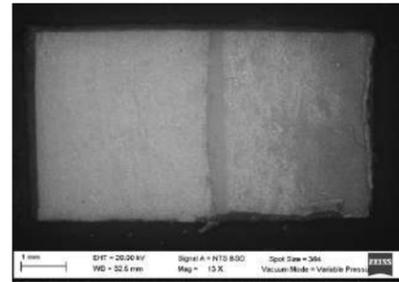
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



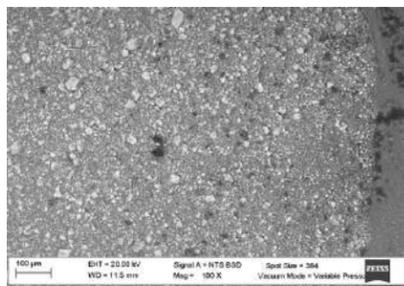
7. M. Keyence 47500 | 200 X



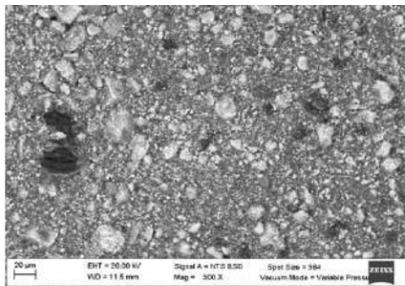
8. M. Keyence 47500+46200 | 200 X



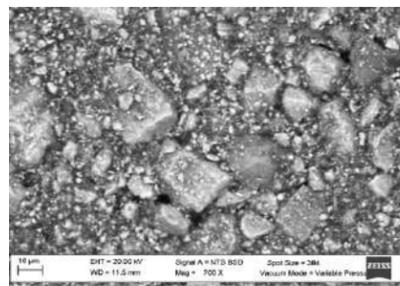
9. MEB Muestra general | 13 X



10. MEB 47500 | 100 X



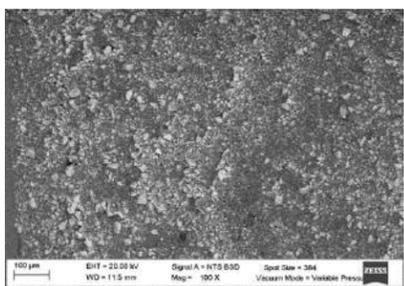
11. MEB 47500 | 300 X



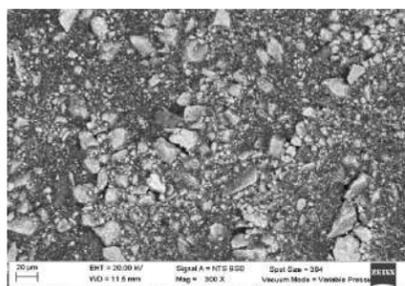
12. MEB 47500 | 700 X



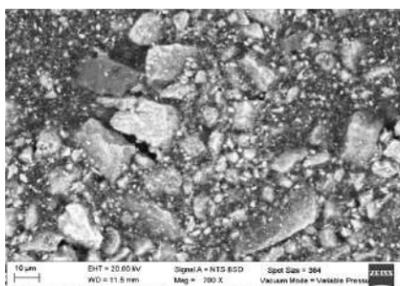
13. MEB Mapeo 47500 | 700 X



14. MEB 47500+46200 | 100 X



15. MEB 47500+46200 | 300 X

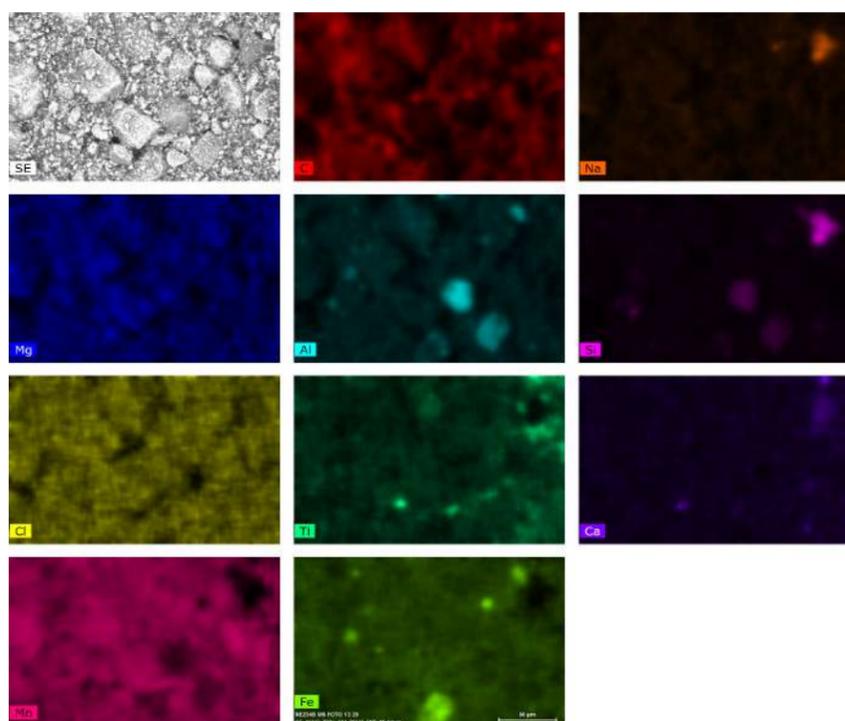


16. MEB 47500+46200 | 700 X

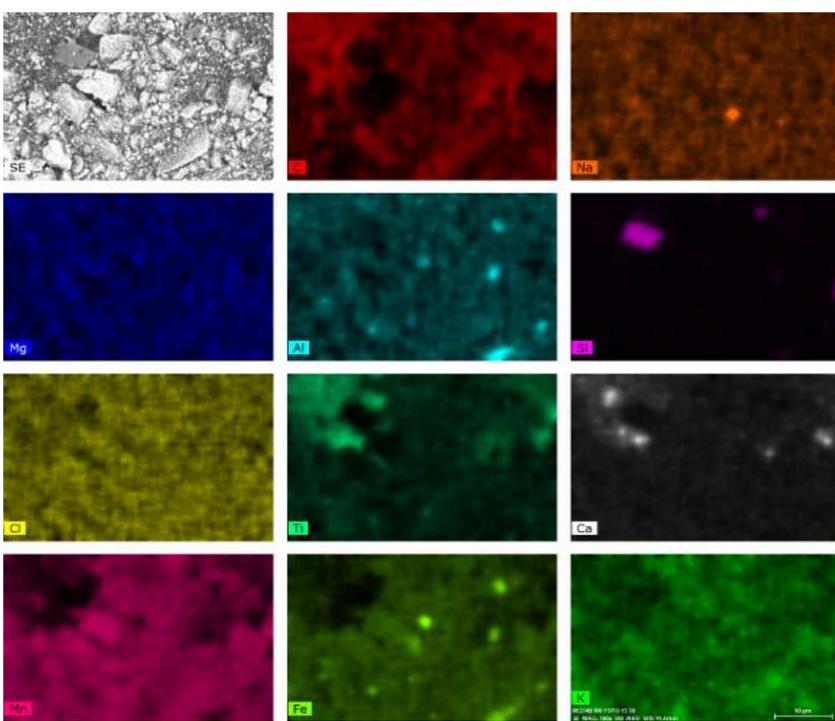


17. MEB Mapeo 47500+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47500)

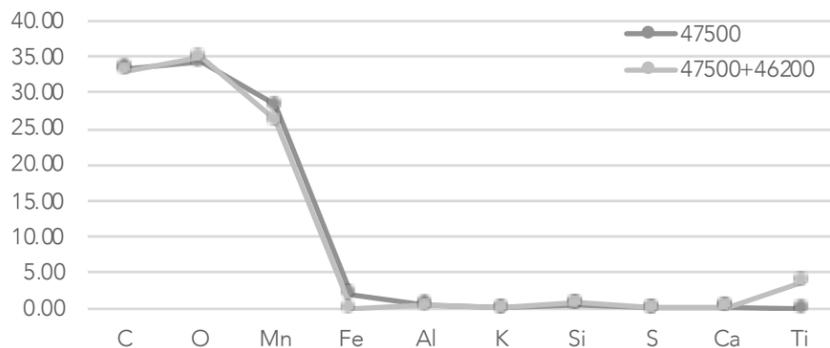


Mapeo químico elemental (47500+46200)



	47500	47500+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	33.49	33.17
O	34.35	35.00
Mn	28.35	26.12
Fe	1.95	0.00
Al	0.68	0.49
K	0.16	0.16
Si	0.59	0.79
S	0.08	0.09
Ca	0.21	0.34
Ti	0.00	3.83

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

El análisis químico elemental bajo MEB EDX permitió identificar la composición general del material como óxido de Mn posiblemente relacionado con la fase de pirolusita si tomamos en cuenta la morfología de las partículas. Otros elementos asociados con la veta de extracción del material son el Al, el K, el Si, el S y el Ca, aunque este último está presente en los materiales constitutivos de la base de preparación del soporte, lo mismo que el Ti.

Spinel Black

Fórmula (Fe,Mn)3O4
 Código 47400
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas



Espectro visible

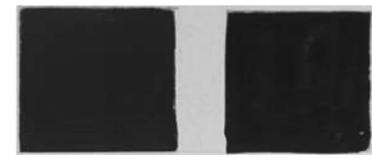


Radiación ultravioleta

IZQ. Pigmento y Primal AC 35.



Reflectografía infrarroja



DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35

Datos técnicos

Tamaño 1.0 μm
 Densidad 4.5 g/cm³
 Índice de refracción (n) 1.5
 Toxicidad No
 Dureza 8 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 1,535° C
 Temperatura de ebullición 3,000° C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

El negro espinela es un pigmento que nos permitió obtener una película uniforme y opaca, en la imagen no es posible distinguir la granulometría del material debido a que quedó absorbida en el medio. En la pintura realizada con negro espinela y blanco de titanio no se observa un cambio significativo en la saturación del negro, tampoco en su opacidad. Es uno de los más cubrientes y que permite formar una película de color fluida que conserva la saturación y color negro más profundo. Tiene un excelente poder cubriente y junto con los materiales derivados de la calcinación de productos vegetales, es el que presenta mejores cualidades ópticas.

B. Imagen UV

Expuestas a la radiación ultravioleta las muestras de este material no presentan fluorescencia, es posible corroborar la uniformidad de su aplicación y su opacidad.

C. Imagen RIR

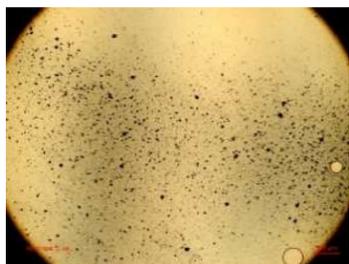
Los reflectogramas infrarrojos de ambas pinturas; es decir, la que está hecha con negro espinela y Primal AC 35, así como la de negro espinela, blanco de titanio y Primal AC 35 se observan completamente opacas, no es posible apreciar ni las pinceladas, ni las capas pictóricas, ni el dibujo geométrico que subyace en la imagen. Este material absorbe fuertemente esta longitud de onda.

Descripción

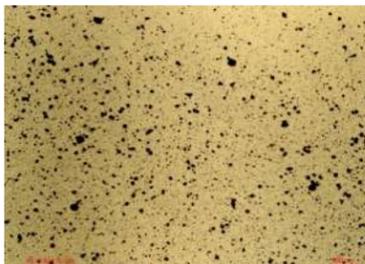
El negro espinela es un material compuesto 100% por óxido de manganeso. Este pigmento se caracteriza por su negrura, no remite más del 1.5% de luz, por su opacidad y estabilidad es un pigmento de alto rendimiento. El negro espinela tiene buena resistencia química, durabilidad al aire libre y es sólido frente a la luz, adecuado para resinas, plásticos y acabados arquitectónicos.

Micrografías

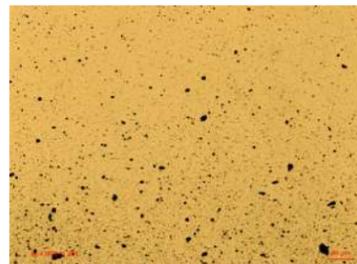
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



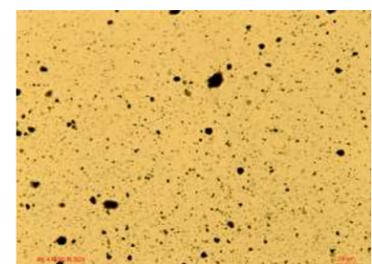
1. TL | 5X



2. TL | 10X



3. TL | 20X



4. TL | 50X



5. DIC RL | 20X



6. DIC RL Lambda | 20X



7. DF RL | 20X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Subhedral
 Sistema Esférico
 cristalino
 Textura Lisa con bordes regulares
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas se encuentran dispersas
 Impurezas o mezclas No

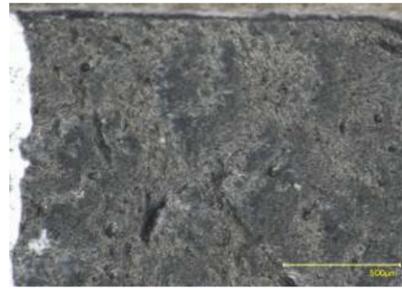
Análisis por técnicas de microscopía



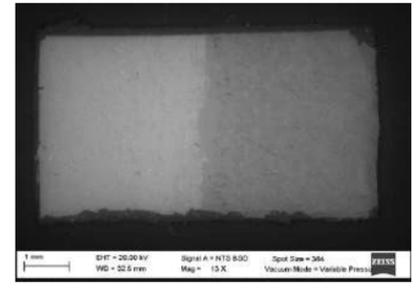
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



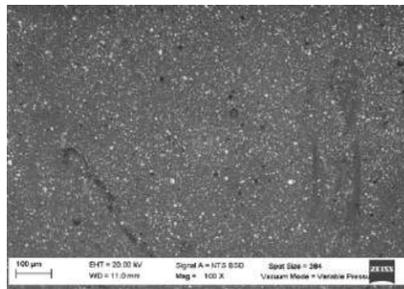
7. M. Keyence 47400 | 200 X



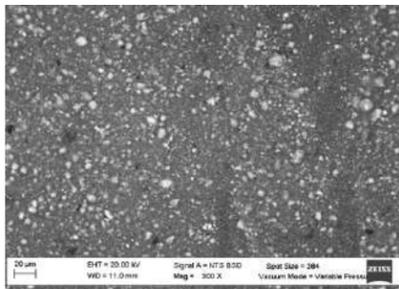
8. M. Keyence 47400+46200 | 200 X



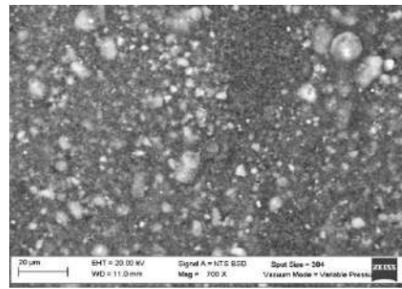
9. MEB Muestra general | 13 X



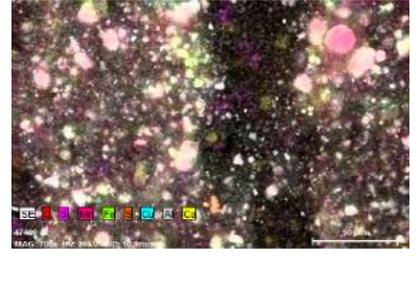
10. MEB 47400 | 100 X



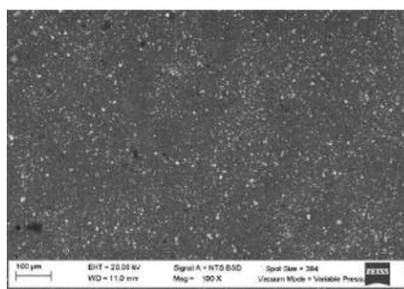
11. MEB 47400 | 300 X



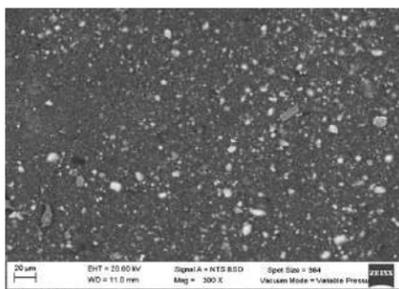
12. MEB 47400 | 700 X



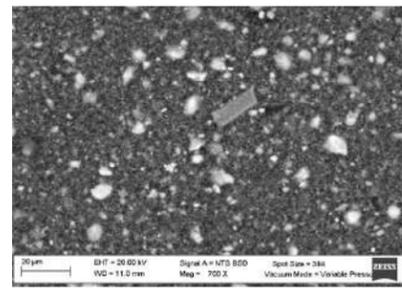
13. MEB Mapeo 47400 | 700 X



14. MEB 47400+46200 | 100 X



15. MEB 47400+46200 | 300 X

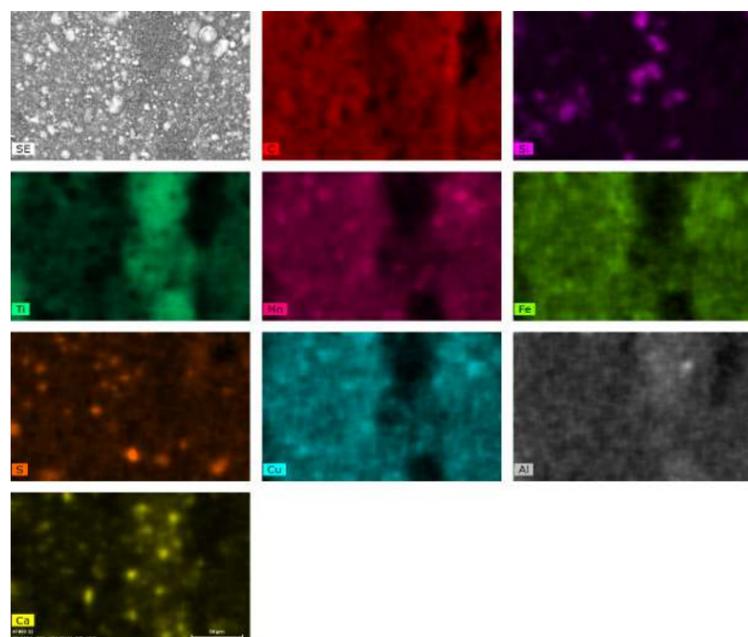


16. MEB 47400+46200 | 700 X

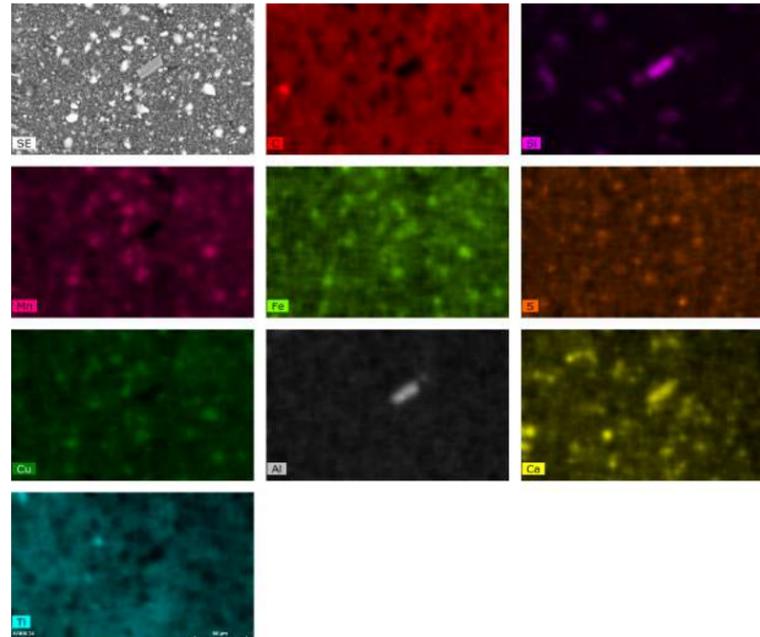


17. MEB Mapeo 47400+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47400)

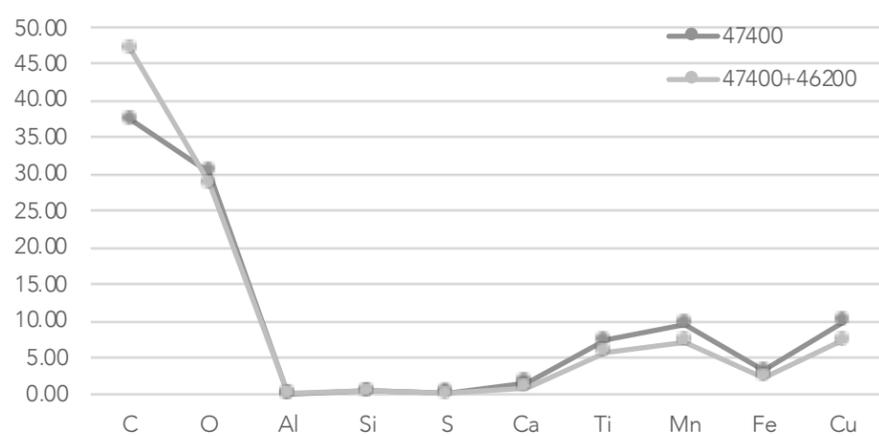


Mapeo químico elemental (47400+46200)



	47400	47400+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	37.46	47.04
O	30.40	28.83
Al	0.00	0.11
Si	0.43	0.37
S	0.17	0.13
Ca	1.59	0.94
Ti	7.26	5.77
Mn	9.56	7.10
Fe	3.17	2.35
Cu	9.91	7.31

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

Kremer Pigmente declara que el negro espinela está compuesto únicamente por óxido de Mn; sin embargo, el análisis químico de este material mostró que el Mn está presente en menos del 10%. El elemento identificado con mayor porcentaje en peso es el C, seguido del O. Además del Mn, el negro espinela contiene un porcentaje sustantivo de Cu (cerca del 10%), lo que puede vincularse con su proceso de obtención. De igual modo, se identificó la presencia de cargas de Ca que se distinguen en las imágenes de electrones secundarios por su tamaño y morfología. A excepción del C, en la columna 47400 observamos que todos los elementos químicos están presentes en mayor porcentaje en peso, incluso en el caso del Ti con un 7.26%. En la muestra 447400+46200 observamos un 9.57% más de C que en la primera muestra; sin embargo, el Mn en 47400 presenta un incremento de 2.46 en comparación con la segunda muestra. Se podría comparar con la tierra negra de Mn donde igualmente fueron identificados los elementos atribuibles a la procedencia geológica del mineral.

Antimony (Kohl)

Fórmula Sb₂S₃
 Código 10940
 Marca Kremer Pigmente

Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño
 Densidad 4.64 g / cm³
 Índice de refracción (n)
 Toxicidad Sí
 Dureza 2 Mohs
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión 631 °C
 Temperatura de ebullición 1,587 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible. Con este material fue posible obtener una película uniforme y opaca, podemos apreciar que a simple vista resulta imposible distinguir la granulometría del pigmento, puesto que los granos quedaron totalmente embebidos en el medio. En el caso de la muestra ubicada a la izquierda de la imagen no es posible distinguir las pinceladas, ni las capas pictóricas. Cuando al antimonio añadí blanco de titanio, el blanco y su granulometría no modificaron el comportamiento opaco y uniforme; sin embargo, la saturación del negro sí se vio afectada y como consecuencia arrojó un gris medio. En la muestra gris observamos una mayor concentración de aglutinante que no hace translúcido a nuestro material.

B. Imagen UV. El antimonio visto a través de la radiación ultravioleta no presenta fluorescencia, se muestra como un material opaco. En la muestra ubicada a la derecha vemos cómo el blanco de titanio y el aglutinante refractan una parte de la luz azul. Aunque obtenemos un gris oscuro, la pintura tiene un comportamiento semiopaco debido al aglutinante en el que se embebieron ambas granulometrías.

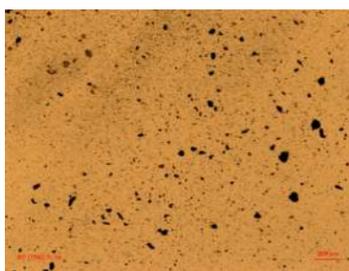
C. Imagen RIR. Los reflectogramas infrarrojos realizados en ambas muestras hechas con antimonio muestran que este pigmento no es capaz de absorber esta longitud de onda, las muestras se observan translúcidas y nos permiten ver el dibujo subyacente realizado con carbón. En algunas zonas es posible ver las pinceladas sobre la preparación. En la imagen de la derecha (antimonio y blanco de titanio) podemos ver que en apariencia la aplicación fue más uniforme; sin embargo, esa característica no corresponde con lo que vemos en luz visible.

Descripción

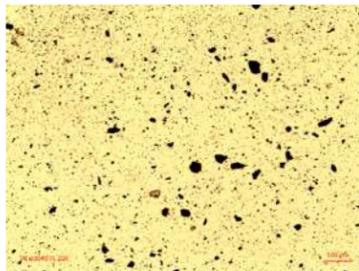
Antimonio es un nombre no estandarizado que se refiere a una forma alotrópica de trisulfuro de antimonio. Pigmento negro o gris oscuro similar a la pirita, al bismuto y al plomo. Por su contenido de plomo se considera que, cuando fue utilizado como pigmento en la elaboración de maquillaje desde el periodo de Amarna (Egipto) en adelante, afectó el estado anímico de las y los que lo usaron como Kohl. Hoy en día se sigue utilizando en algunos países de África.

Micrografías

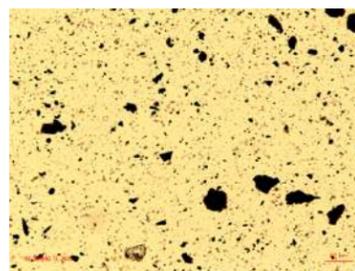
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



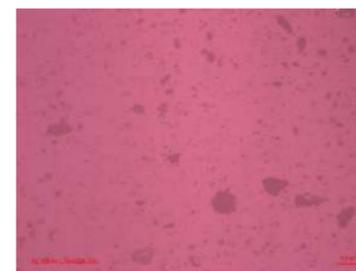
1. TL | 5X



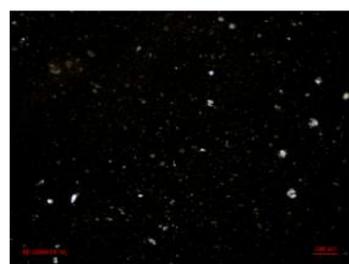
2. TL | 10X



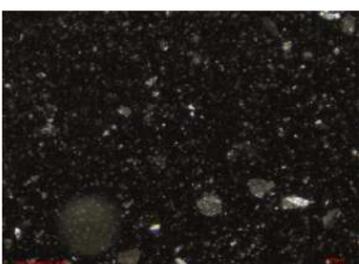
3. TL | 20X



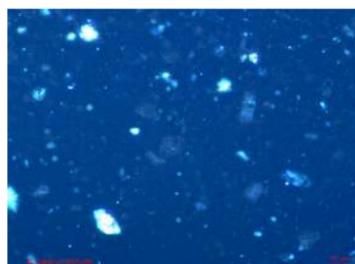
4. DIC RL Lambda | 20X



5. DF RL | 5X



6. DF RL | 20X



7. UV Dapi | 20X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Subhedral
 Sistema Ortorrómbico-
 cristalino bipiramidal
 Textura Lisa
 Color Gris Plomo
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Las partículas se encuentran dispersas.
 Impurezas o mezclas Sí

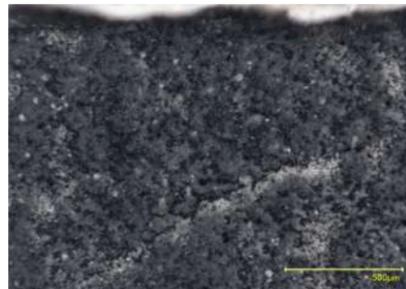
Análisis por técnicas de microscopía



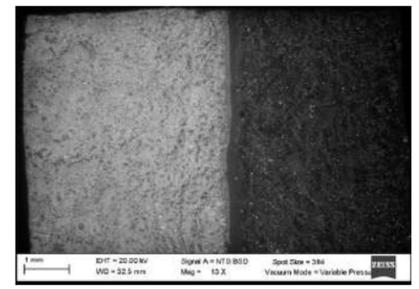
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



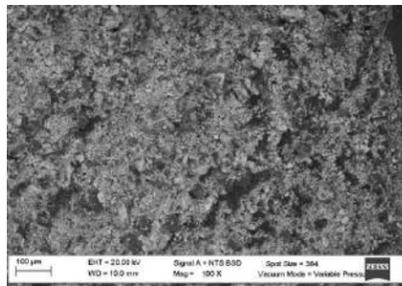
7. M. Keyence 10940 | 200 X



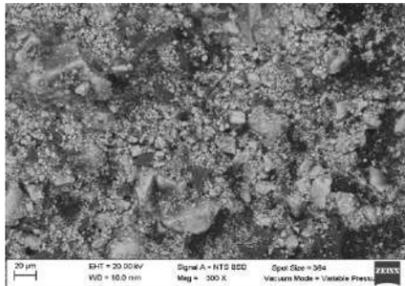
8. M. Keyence 10940+46200 | 200 X



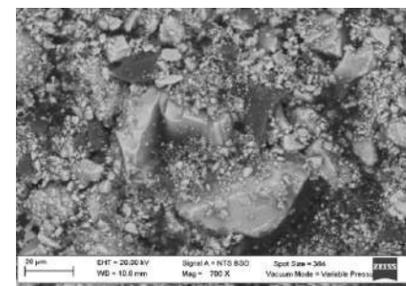
9. MEB Muestra general | 13 X



10. MEB 10940 | 100 X



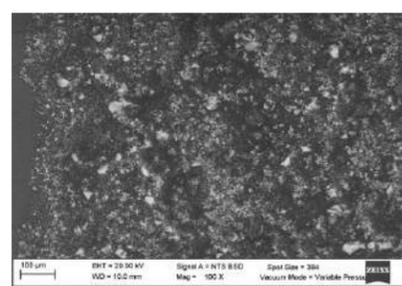
11. MEB 10940 | 300 X



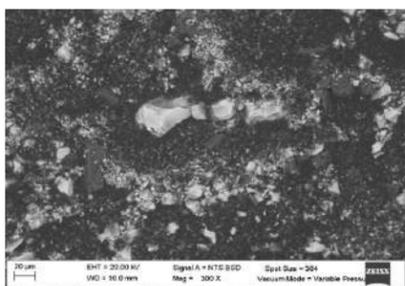
12. MEB 10940 | 700 X



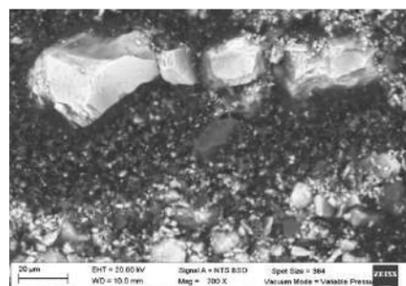
13. MEB Mapeo 10940 | 700 X



14. MEB 10940+46200 | 100 X



15. MEB 10940+46200 | 300 X

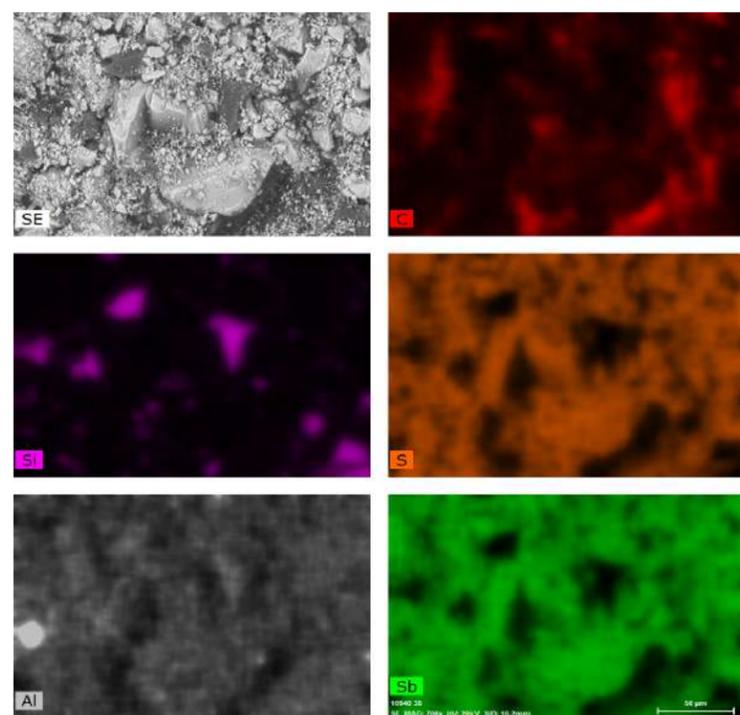


16. MEB 10940+46200 | 700 X

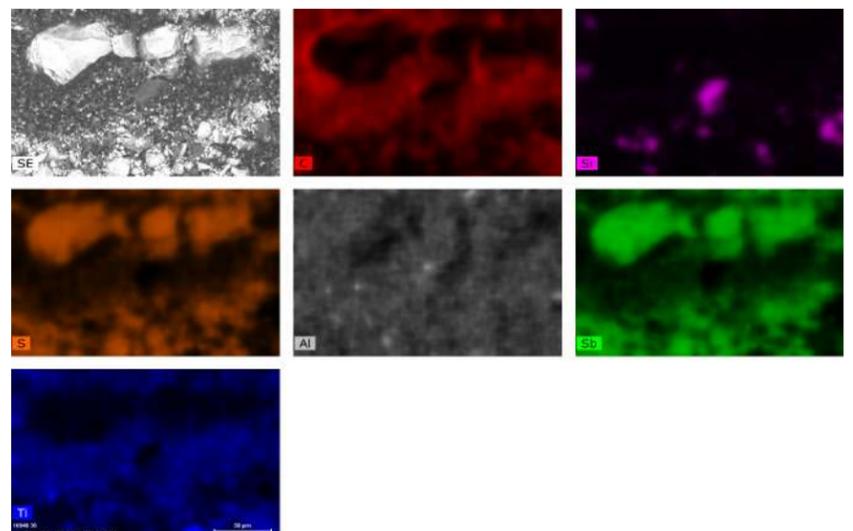


17. MEB Mapeo 10940+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (10940)

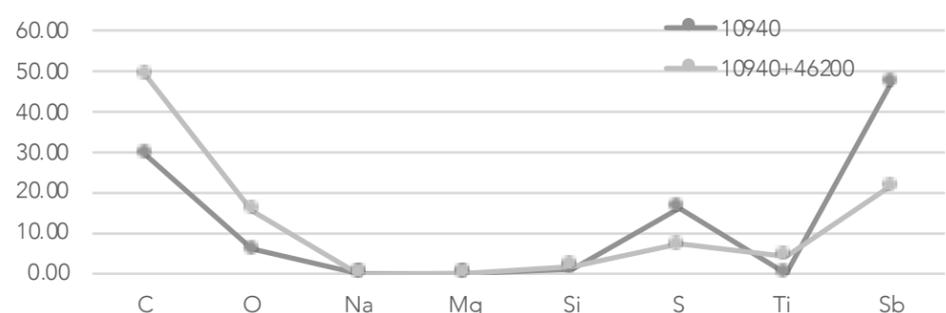


Mapeo químico elemental (10940+46200)



	10940	10940+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	29.40	48.89
O	5.85	15.64
Na	0.00	0.10
Mg	0.00	0.06
Si	1.27	1.89
S	16.24	7.31
Ti	0.00	4.39
Sb	47.23	21.72

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

El análisis químico permitió confirmar la composición del trisulfuro de Sb y observar la morfología subhedral de las partículas del mineral que por su diverso tamaño de partícula forman capas de color negro con buen poder cubriente y saturación

Nano F – Black

Fórmula C
 Código 47120
 Marca Kremer Pigmente

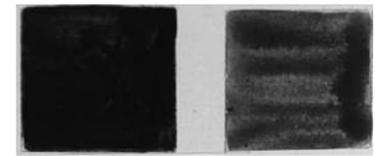
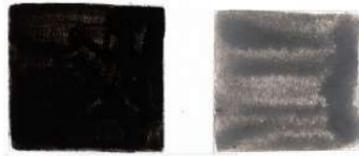
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño <50 nm
 Densidad ca. 1 g/cm³ (20°C)
 Índice de refracción (n) 2.4168
 Toxicidad No
 Dureza
 Solubilidad Sí
 en H₂O

Temperatura de fusión* 0,0 °C
 Temperatura de ebullición* 100°C

*Esta información corresponde al agua, ya que es el material en el que están diluidos los NTC.

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

La mezcla de pigmento y medio acrílico se integra en una emulsión donde es imposible detectar los granos del pigmento. El cuadrado de la izquierda muestra una capa pictórica uniforme y opaca. Cuando esta pintura fue intervenida con el blanco de titanio, se obtuvo un gris claro translúcido que nos permite identificar tanto la huella del pincel, como la cantidad de material distribuido sobre la superficie.

B. Imagen UV

La muestra de Nano F Black ubicada a la izquierda nos permite identificar que dicha pintura no presenta fluorescencia. En la pintura hecha con Nano F Black y blanco de titanio observamos que un todo azulado, que no muestra fluorescencia, sino la reflexión de la luz azul emitida por las lámparas UV, en la muestra ubicada a la derecha también podemos identificar la concentración de material, vemos una pintura semitranslúcida.

C. Imagen RIR

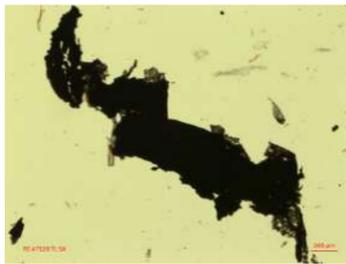
La reflectografía infrarroja muestra que Nano F Black es un material opaco que absorbe esta longitud de onda. En el caso de la muestra gris, en las regiones con mayor concentración de material podemos ver que se conserva esa característica de opacidad; sin embargo, en las zonas en las que el material se encuentra más diluido se observan transparencias.

Descripción

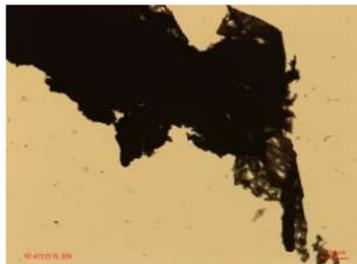
Nano F Black es un material que presenta de 1 a 5 % de nanotubos de carbono disueltos en agua. Los nanotubos de carbono de Kremer Pigmente están sintetizados a partir de grafito. Los nanotubos de carbono pueden usarse como recubrimiento. En las imágenes observamos un conglomerado de material debido a que los nanotubos de carbono ya están disueltos con agua, los nanotubos de organizan a modo de fibras tubulares que forman una especie de fibra o membrana translúcida que se extiende de modo irregular dentro del medio pictórico.

Micrografías

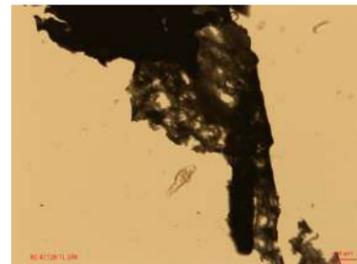
Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 10X



3. TL | 20X



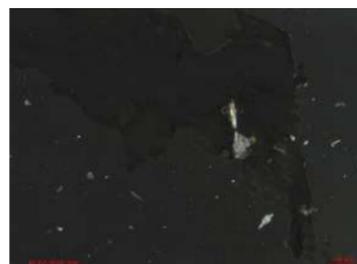
4. DIC RL Lambda | 5X



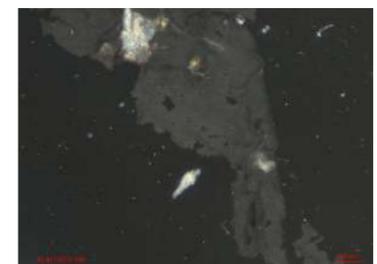
5. DIC RL | 5X



6. DIC RL | 10X



7. DF RL | 10X



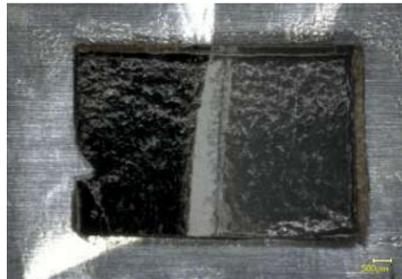
8. DF RL | 20X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

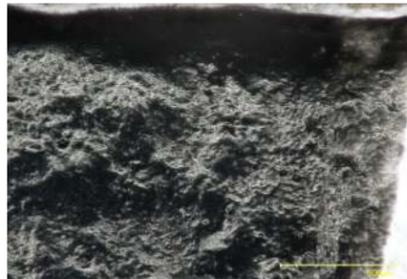
Cristalinidad Euhedral
 Sistema Hexagonal
 cristalino
 Textura Lisa con bordes irregulares
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ×
 Isotropía ✓
 Anisotropía ×
 Distribución Las partículas no se dispersan, se observan grandes conglomerados compuestos por agregados del mismo tipo

Impurezas o mezclas No

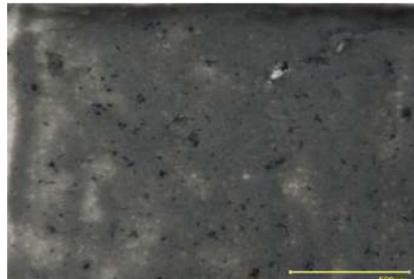
Análisis por técnicas de microscopía



6. M. Keyence Muestra general | 20 X



7. M. Keyence 47120 | 200 X



12. MEB 47120 | 700 X



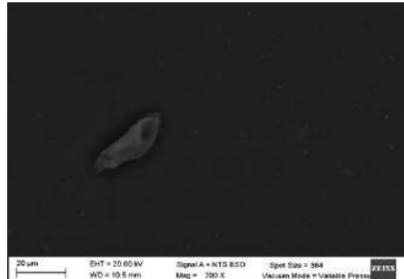
9. MEB | 13 X



10. MEB 47120 | 100 X



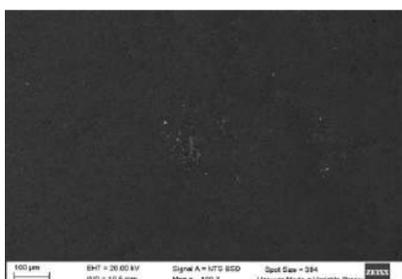
11. MEB 47120 | 300 X



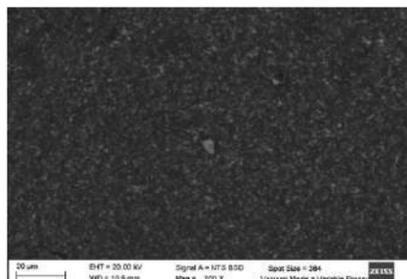
12. MEB 47120 | 700 X



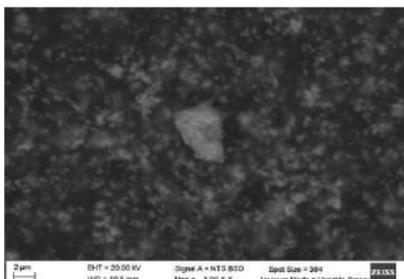
13. MEB Mapeo 47120 | 700 X



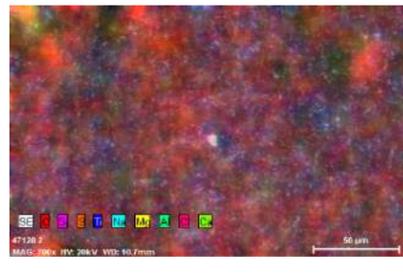
14. MEB 47120+46200 | 100 X



15. MEB 47120+46200 | 300 X

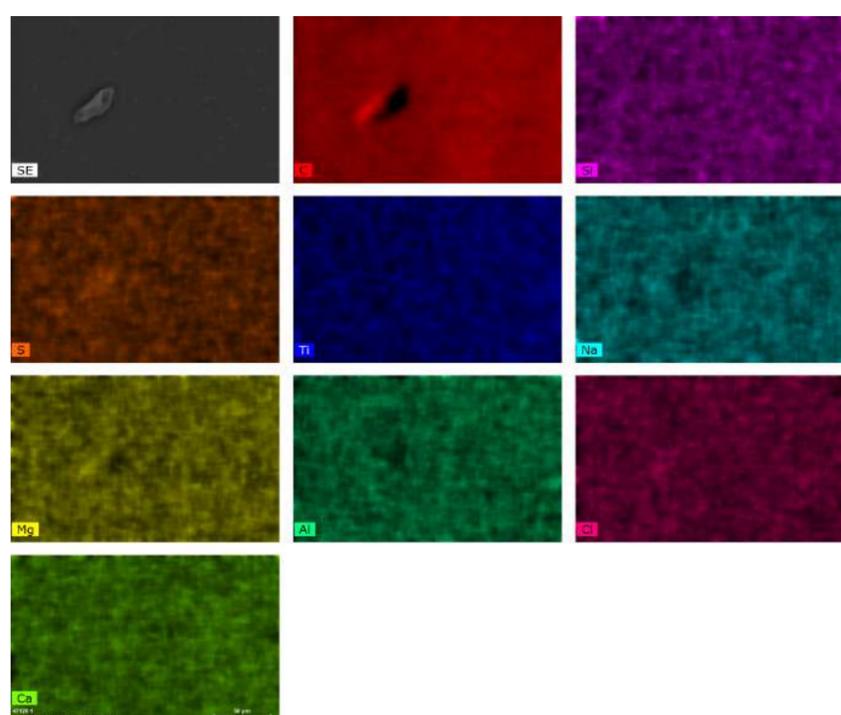


16. MEB 47120+46200 | 3K X

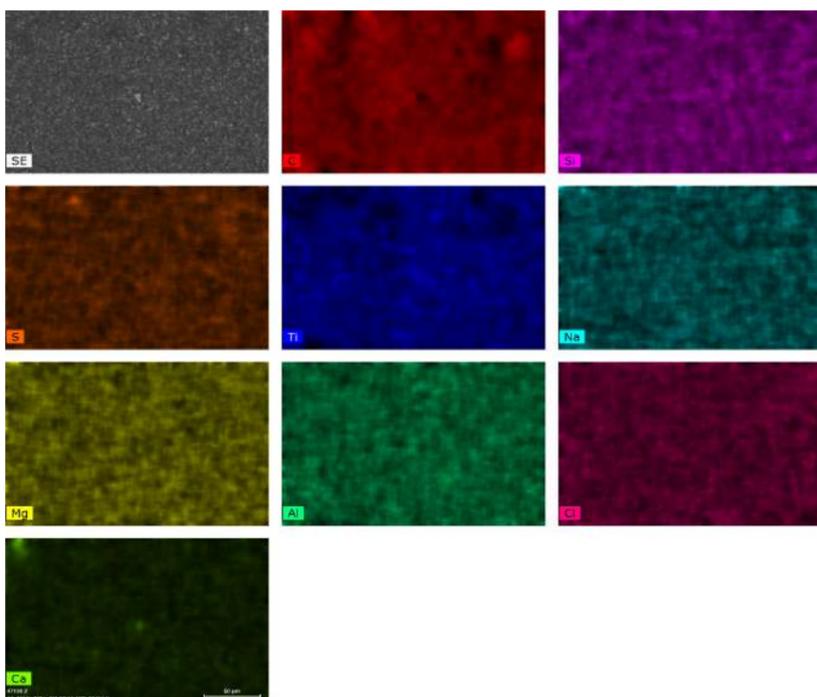


17. MEB Mapeo 47120+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (47120)

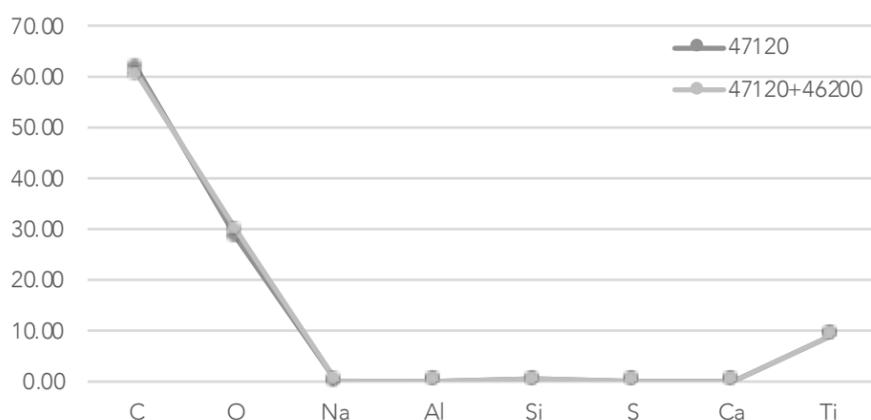


Mapeo químico elemental (47120+46200)



	47120	47120+46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	61.46	60.40
O	28.11	29.68
Na	0.00	0.07
Al	0.24	0.22
Si	0.32	0.30
S	0.12	0.11
Ca	0.22	0.19
Ti	9.05	9.03

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

Nano F Black presenta un 61.46% de C, en la muestra realizada con Ti (47120+46200) se observa una disminución de C en un 1.06%. El segundo elemento con mayor presencia en ambas muestras es el O; sin embargo, en el caso de la muestra realizada con Ti la presencia de este elemento es mayor por 1.57%. El tercer elemento que se identifica en 47120 y 47120+46200 es el Ti, atribuyo el 9.05 y 9.03% respectivamente a la preparación hecha con Vinimex Vivid B1 que subyace y es posible identificar a través del análisis por MEB-EDX debido a la disolución del 5% de nanotubos de C en agua que se reporta en la hoja técnica de este material.

Anilina negra

Código Negro elegante
 Fórmula C66H51Cr3N11O12
 Marca El Caballito

Imágenes fotográficas

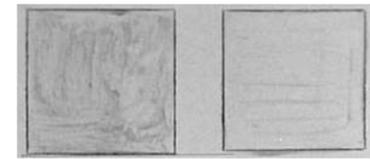
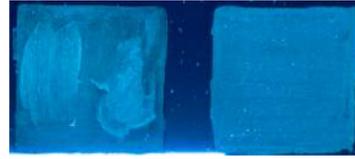
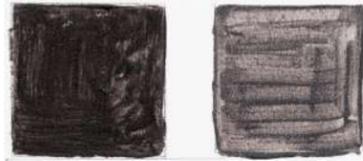
Espectro visible

Radiación ultravioleta

Reflectografía infrarroja

IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño
 Densidad 1.91 g/cm³ (20°C)
 Índice de refracción (n) 1.5863
 Toxicidad Sí
 Dureza
 Solubilidad en H₂O No
 Temperatura de fusión -7 °C
 Temperatura de ebullición 184 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

No fue posible obtener una película uniforme, el material no se emulsionó con el aglutinante, de hecho, es posible ver la granulometría de la anilina. Al no haber obtenido una pintura uniforme, se observa una aplicación irregular con empastes y huellas del arrastre del pincel. Cuando añadí blanco de titanio obtuve un gris claro translúcido que mostró por completo las trayectorias del pincel, así como la cantidad de material que se aplicó sobre la preparación.

B. Imagen UV

Frente a la radiación ultravioleta, la anilina negra se observa semitranslúcida. Aunque en ninguno de los casos (anilina y anilina más blanco de titanio) se presenta fluorescencia, la fluorescencia observada se atañe al aglutinante (Primal AC 35).

C. Imagen RIR

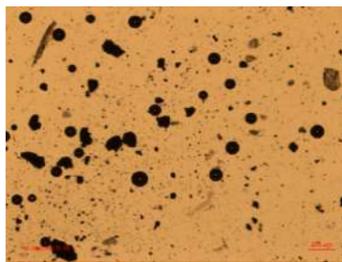
Los reflectogramas de ambas probetas (anilina negra y anilina negra más blanco de titanio) muestran que la anilina no absorbe la radiación infrarroja. Ambas pinturas se aprecian transparentes, aunque podemos apreciar algunos empastes y pinceladas, también podemos identificar las líneas del dibujo que subyace en la imagen.

Descripción

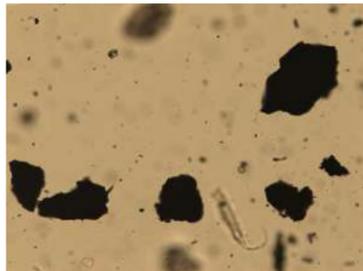
La anilina negra es un tinte patentado en 1863 por J. Lightfoot y compuesto por clorhidrato de anilina oxidada, el clorhidrato de anilina se oxida cuando se añade ácido crómico. Aunque el tinte negro es saturado en las de fibras naturales y sintéticas, no es un colorante resistente a la luz.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



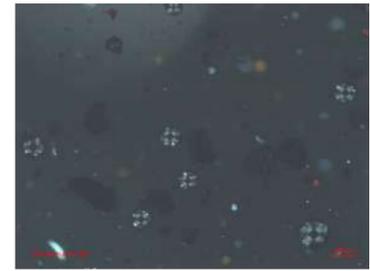
1. TL | 5X



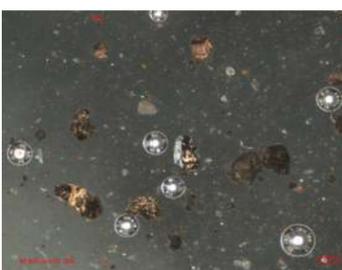
2. TL | 20X



3. DIC RL | 5X



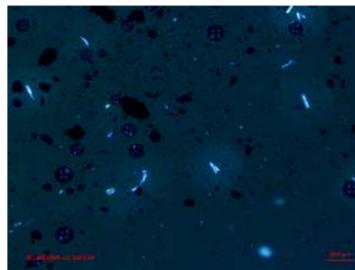
4. DIC RL | 10X



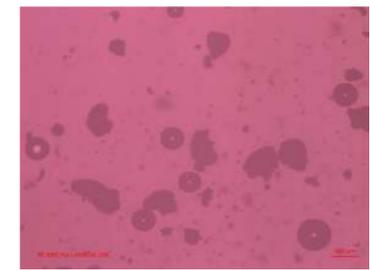
5. DF RL | 10X



6. DF RL | 20X



7. UV Dapi | 5X

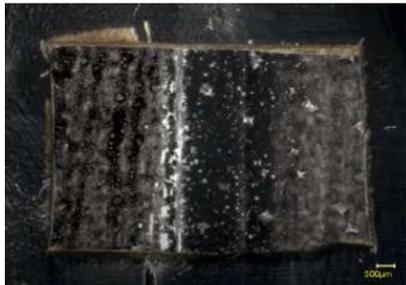


8. DIC RL Lambda | 10X

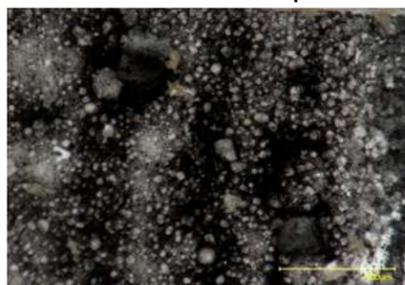
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico Axiolmager Z2 de Carl Zeiss con la cámara Axiocam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Subhedral
 Sistema cristalino Tetragonal o cúbico
 Textura Rugosa
 Color Negro
 Brillo ✓
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Las partículas se dispersan
 Impurezas o mezclas No

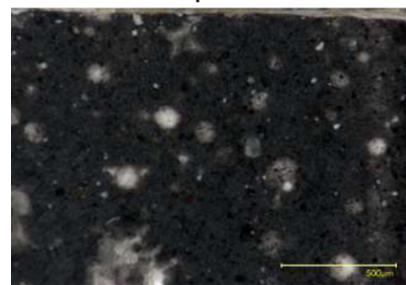
Análisis por técnicas de microscopía



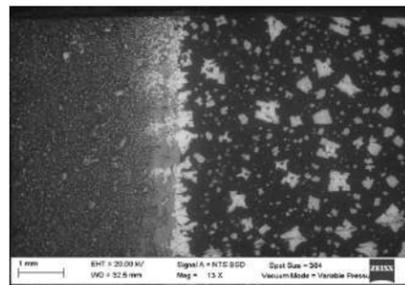
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



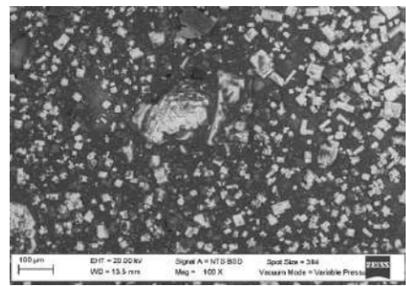
7. M. Keyence anilina | 200 X



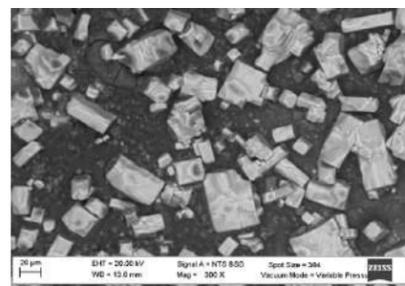
12. M. Keyence anilina+46200 | 200X



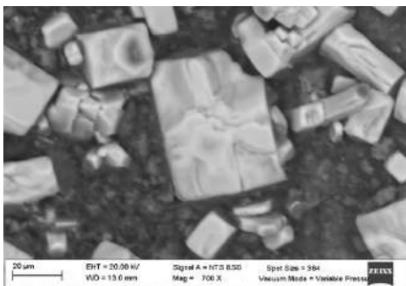
9. MEB Muestra general | 13 X



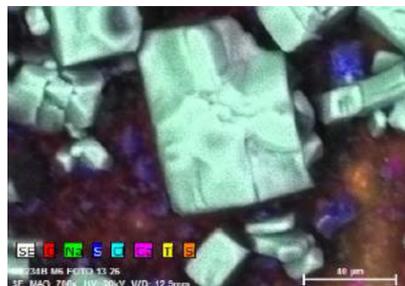
10. MEB anilina | 100 X



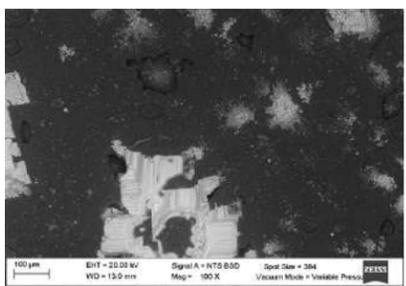
11. MEB anilina | 300 X



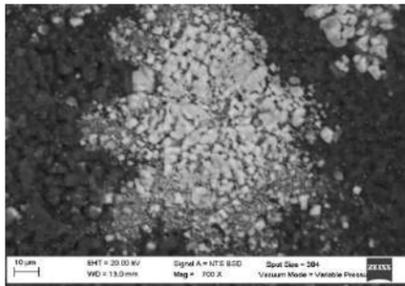
12. MEB anilina | 700 X



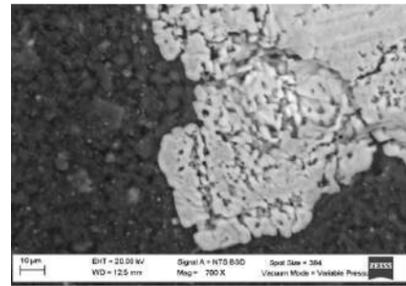
13. MEB Mapeo anilina | 700 X



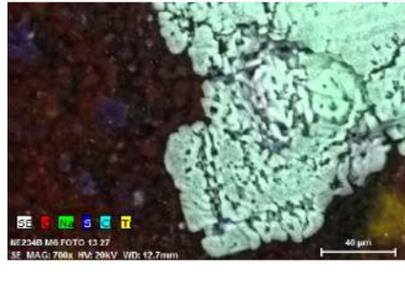
14. MEB anilina+46200 | 100 X



15. MEB anilina+46200 | 700 X

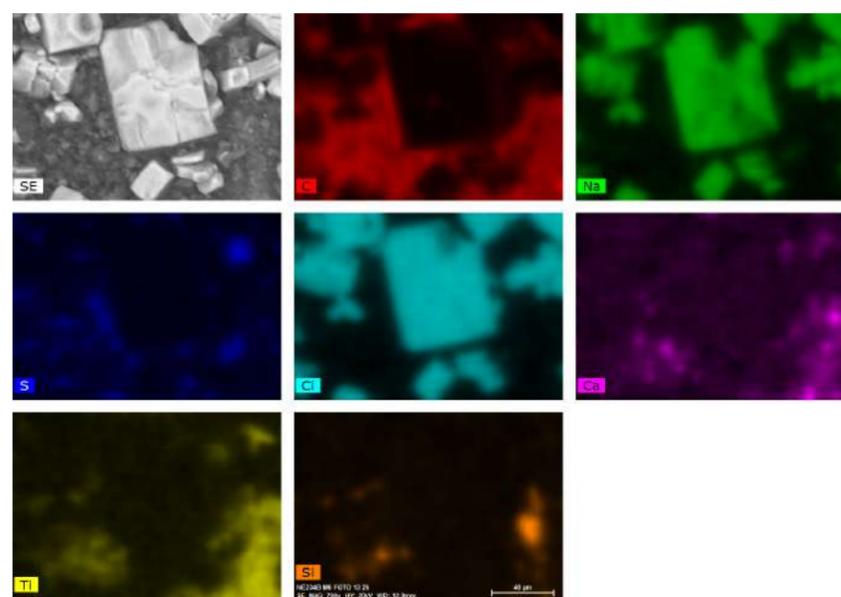


16. MEB anilina+46200 | 700 X

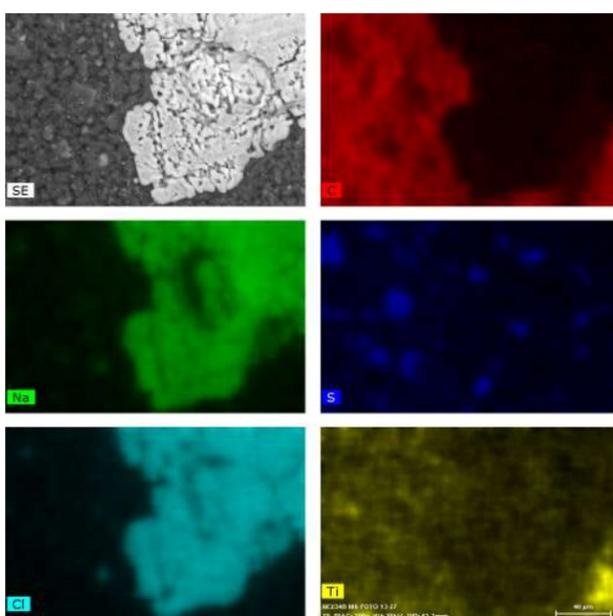


17. MEB Mapeo anilina+46200 | 700 X

Mapeo químico elemental (anilina)

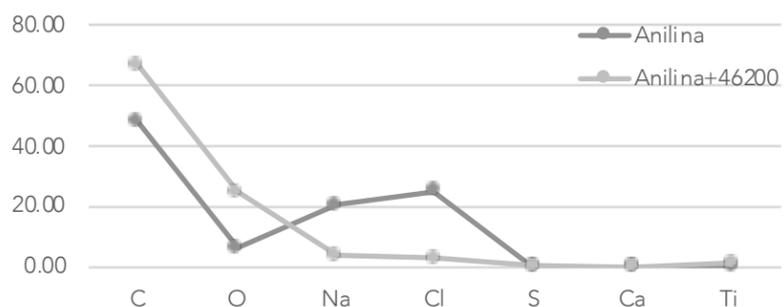


Mapeo químico elemental (anilina+46200)



	Anilina	46200
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	47.86	66.64
O	6.19	24.82
Na	20.30	3.64
Cl	24.96	2.94
S	0.00	0.54
Ca	0.14	0.00
Ti	0.55	1.42

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

El análisis elemental permitió identificar este material como un compuesto orgánico cuyo componente principal es el carbón, identificándose además abundantes partículas de cloruro de Na y trazas de Ca y S.

Gravity Oil Paint

Fórmula C
 Código GOP
 Marca NanoLab

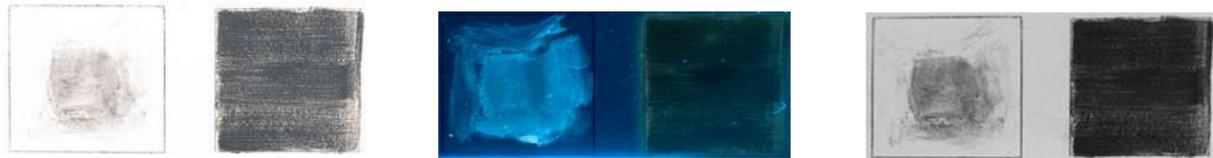
Imágenes fotográficas

Espectro visible

Radiación ultravioleta
 IZQ. Pigmento y Primal AC 35.

Reflectografía infrarroja

DCH. Pigmento, blanco de titanio (46200 Kremer Pigmente) y Primal AC 35



Datos técnicos

Tamaño 0,4 a 40 nm
 Densidad 1.3 g/cm³
 Índice de refracción (n) <1.25%
 Toxicidad Sí
 Dureza en H₂O en H₂O No
 Temperatura de fusión >3000 °C
 Temperatura de ebullición 4027 °C

Respuesta y comportamiento del material bajo distintas longitudes de onda

A. Espectro visible

A la izquierda de la imagen observamos una capa pictórica con poca concentración de pigmento obtenido mediante extracción con tolueno, la muestra de la derecha está realizada con una porción de la pintura directamente extraída del tubo que contiene aceite de linaza y trabajada con el blanco de titanio y el acrílico Primal AC 35. En ninguno de los casos fue posible obtener una película uniforme, en ambos casos se observa la huella de las pinceladas.

B. Imagen UV

En la imagen ubicada a la izquierda podemos ver mayormente el medio en el que fue trabajado el pigmento y su respuesta ante la luz azul, sin llegar a presentar fluorescencia. A la derecha podemos observar un material opaco; sin embargo, también podemos ver un halo amarillento que corresponde al aceite de linaza en el que están dispersos los nanotubos de carbono de esta pintura. Se confirma que la aplicación no es uniforme.

C. Imagen RIR

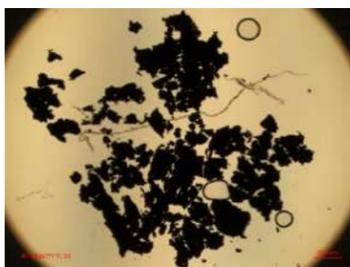
Los reflectogramas infrarrojos muestran que el material absorbe esta longitud de onda, ambas pinturas se observan opacas. Tal como ocurre en la imagen con luz visible, en la muestra de la derecha es posible distinguir los huecos que dejó el pincel sobre la preparación.

Descripción

En este material observamos nanotubos de carbono en un aglutinante (aceite de linaza). La textura del material es grumosa y se comporta como si las partículas presentaran magnetismo.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 20X



3. DF RL | 5X



4. DF RL | 20X



5. DIC RL | 20X



6. UV Dapi | 10X

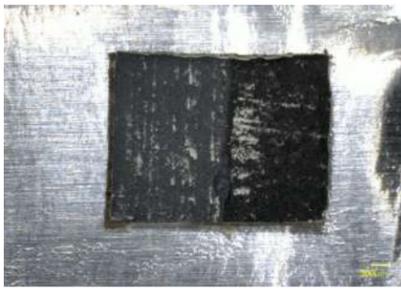


6. DIC RL Lambda | 20X

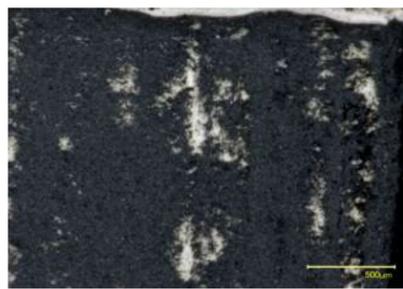
Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad Euhedral
 Sistema Hexagonal cristalino
 Textura Rugosa
 Color Negro
 Brillo ×
 Opacidad ✓
 Birrefringencia ✓
 Isotropía ×
 Anisotropía ✓
 Distribución Pese a haber intentado disolver la pintura con acetona durante más de 12 meses, las partículas no se dispersan.
 Impurezas o mezclas No

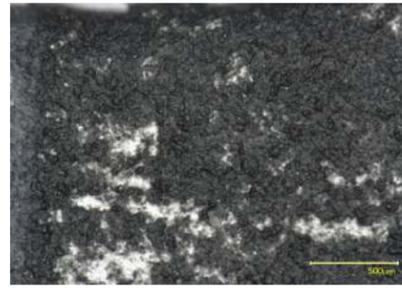
Análisis por técnicas de microscopía



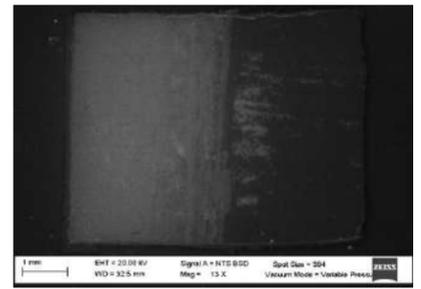
6. M. Keyence Muestra general | 20 X



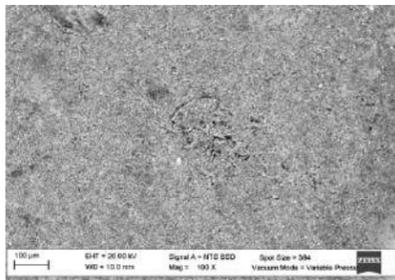
7. M. Keyence +46200 | 200 X



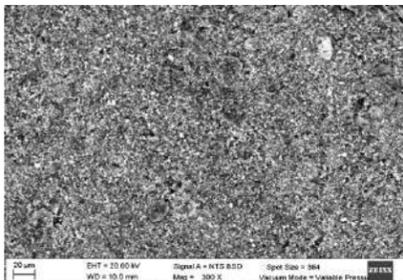
8. M. Keyence GOP | 200 X



9. MEB Muestra general | 13 X



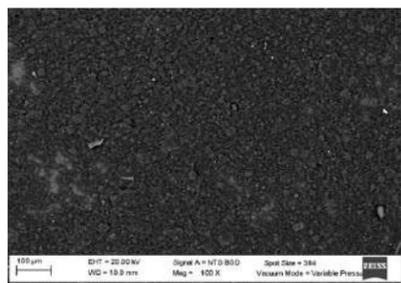
10. MEB GOP+46200 | 100 X



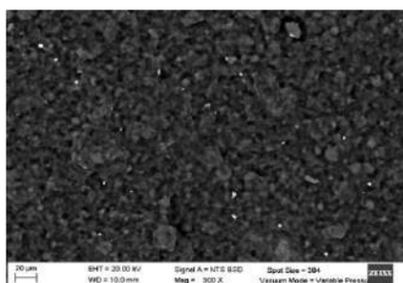
11. MEB GOP+46200 | 300 X



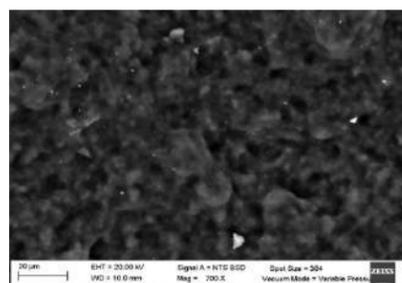
12. MEB Mapeo GOP+46200 | 700 X



13. MEB GOP | 250 X



14. MEB GOP | 300 X

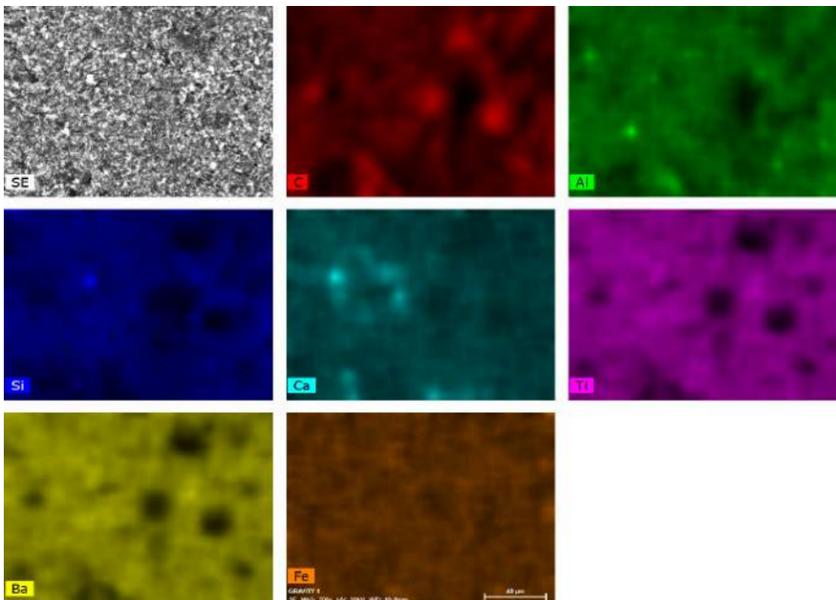


15. MEB GOP | 700 X

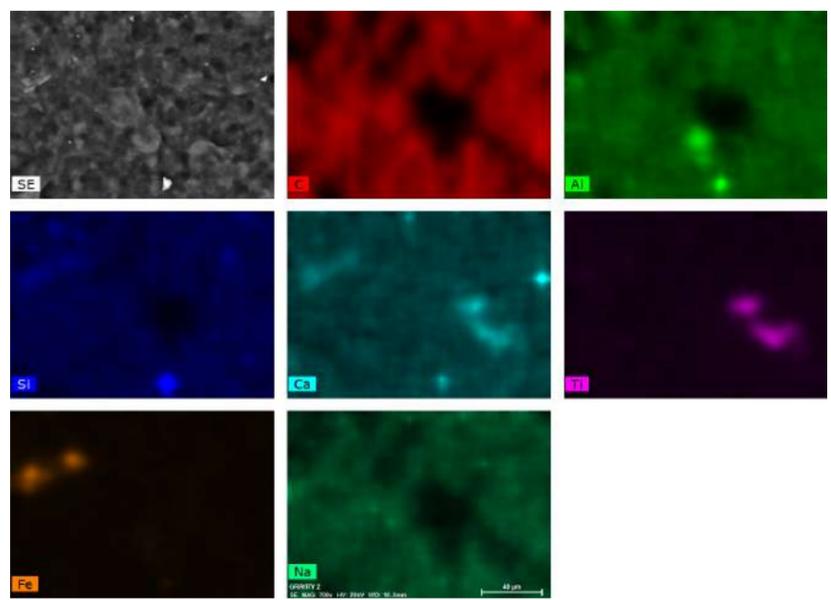


16. MEB Mapeo GOP | 250 X

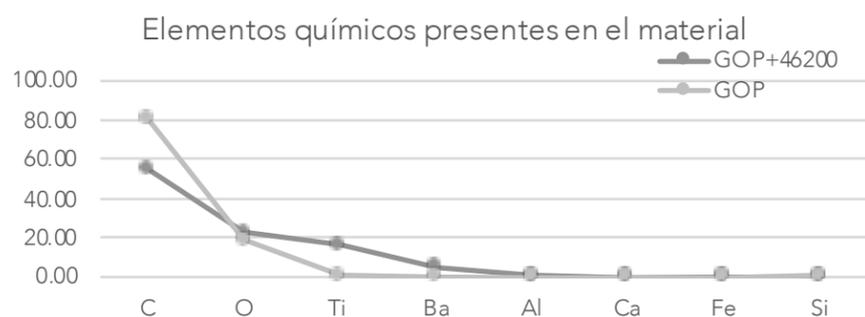
Mapeo químico elemental (GOP+46200)



Mapeo químico elemental (GOP)



	GOP+46200	GOP
Elemento químico	% en peso	% en peso
C	54.94	80.37
O	22.49	18.68
Ti	15.94	0.47
Ba	5.39	0.00
Al	0.50	0.13
Ca	0.16	0.10
Fe	0.00	0.22
Si	0.00	0.54

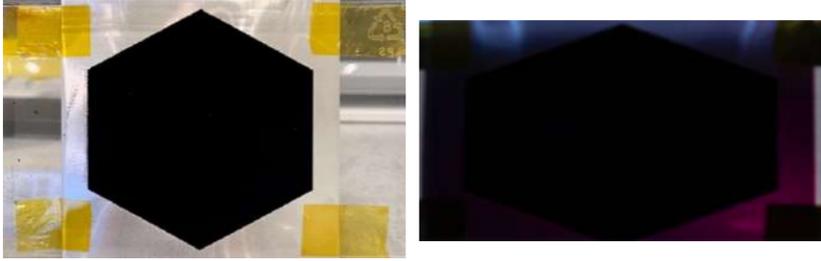


Observaciones

Gravity Oil Paint es uno de los materiales con más porcentaje en peso de C, incluso por encima de ambas versiones de Vantablack, en la muestra GOP se detectó un 80.37% de C; mientras que en la muestra GOP+46200 (blanco de titanio) únicamente 54.94%, una diferencia del 25.43%. Mediante el análisis químico elemental por MEB-EDX se identificó la presencia de un fuerte componente de Ba en el material, posiblemente una carga agregada para modificar las propiedades del nanopigmento base de carbón. Además, se detectaron trazas de Al, Si y Ca. En el sistema elaborado a partir de GOP y blanco de titanio (esta muestra fue la única que no requirió de Primal AC 35, debido al medio con el que comercializan la pintura —aceite de linaza—) no se registró presencia ni de Fe ni Si.

Fichas comparativas de Vanblack S-VIS y Vantablack VBx2

Vantablack S-VIS



IZQ. Espectro visible.
DCH. UV

Fórmula	C
Código	S-VIS (Multiwalled CNT)
Marca	Surrey NanoSystems
Datos técnicos	
Tamaño	<50 nm
Densidad	2.5 mg/cm ³
Índice de refracción (n)	<0.6
Toxicidad	No
Dureza	N/A
Solubilidad en H ₂ O	No
Temperatura de fusión	3550 °C
Temperatura de ebullición	4027 °C
Espesor de capa	<6µm

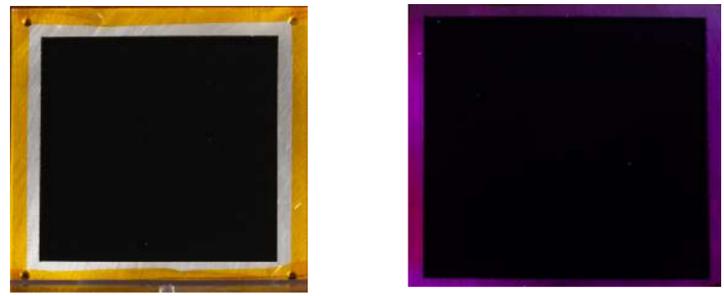
A. Espectro visible

En esta imagen es posible ver el contraste de la luz que incide entre el sustrato de aluminio en el que fueron depositados los nanotubos de carbono y el depósito de nanotubos de carbono que se observa de un negro saturado y mate.

B. Imagen UV

El Vantablack S-VIS es un material opaco que no presenta fluorescencia ante la radiación ultravioleta.

Vantablack VBx2



IZQ. Espectro visible.
DCH. UV

Fórmula	C
Código	VBx2
Marca	Surrey NanoSystems
Datos técnicos	
Tamaño	
Densidad relativa	0.84
Índice de refracción (n)	0,9%
Toxicidad	No
Dureza	
Solubilidad en H ₂ O	No
Resistencia a vibraciones	80 grms vibración aleatoria en 3 ejes
Temperatura de ebullición	56 °C
Espesor de capa	200-600µm

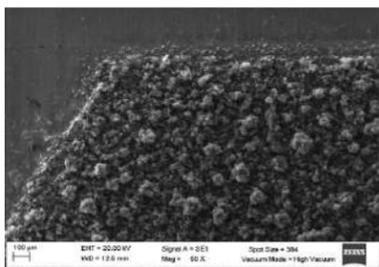
A. Espectro visible

Esta pintura hecha con pigmento negro de carbón vegetal se observa opaca en luz visible.

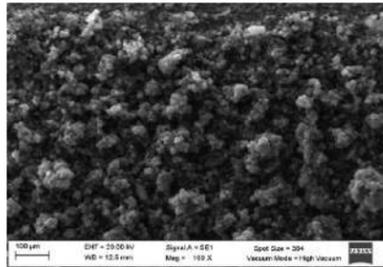
B. Imagen UV

Vantablack VBx2 no presenta fluorescencia frente a la radiación ultravioleta, el material es capaz de absorber esta longitud de onda.

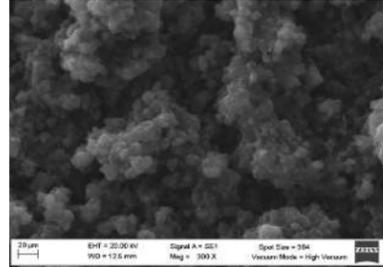
Análisis por técnicas de microscopía



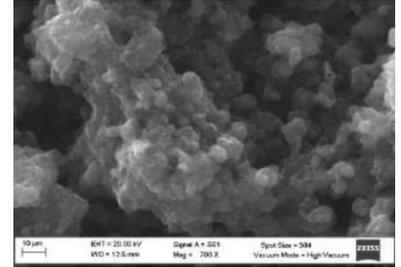
1. MEB S-VIS | 50 X



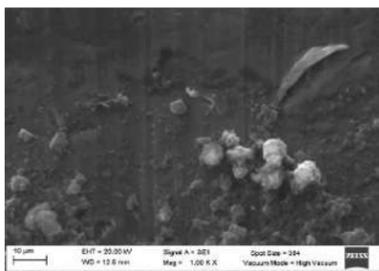
2. MEB S-VIS | 100 X



3. MEB S-VIS | 300 X



4. MEB S-VIS | 700 X



5. MEB S-VIS | 1K X

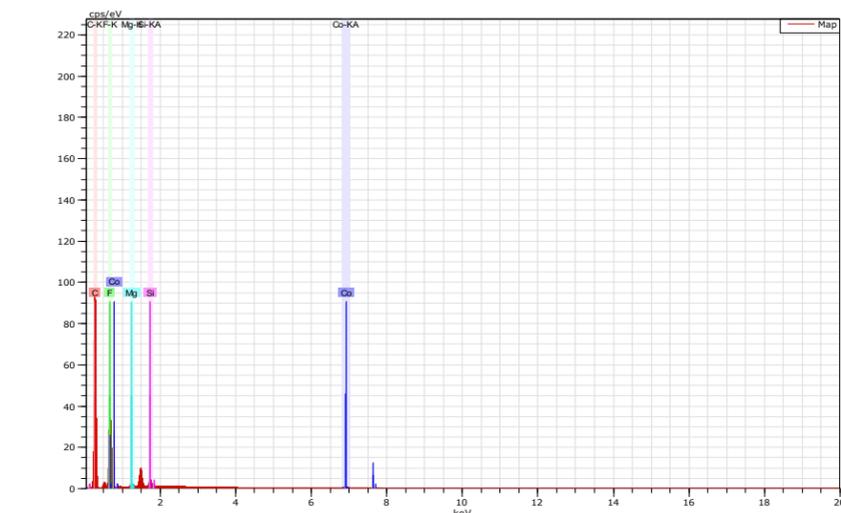


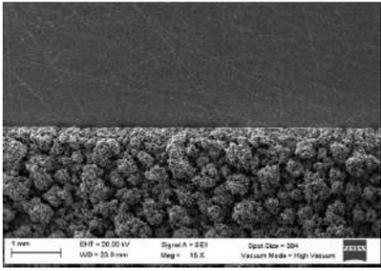
6. MEB Mapeo S-VIS | 50 X



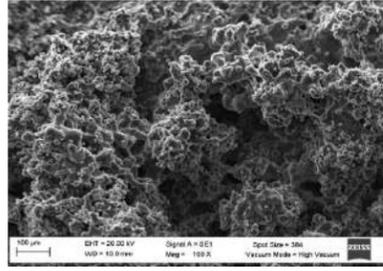
7. MEB Mapeo S-VIS | 700 X

Espectro de elementos químicos (S-VIS 700 X)

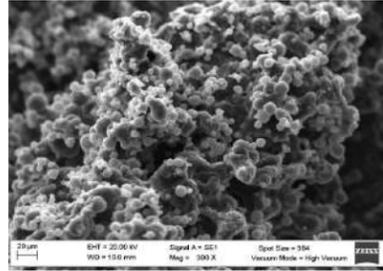




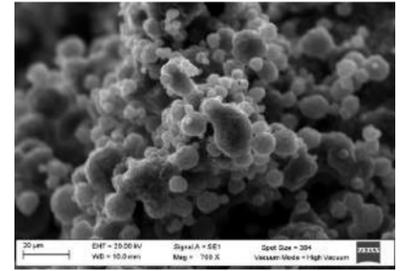
1. MEB VBx2 | 15 X



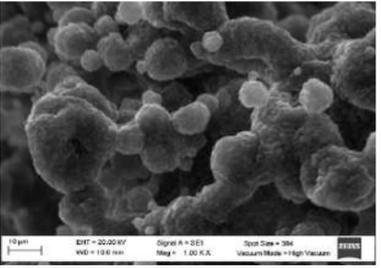
2. MEB VBx2 | 100 X



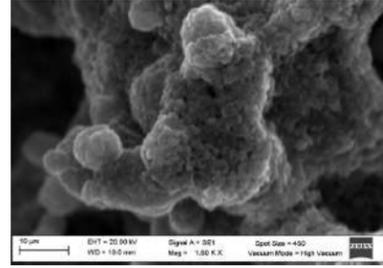
3. MEB VBx2 | 300 X



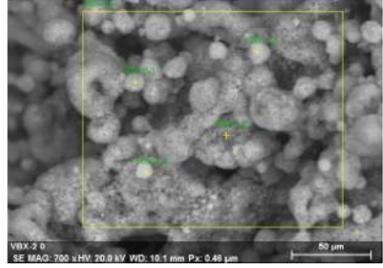
4. MEB VBx2 | 700 X



5. MEB VBx2 | 1K X

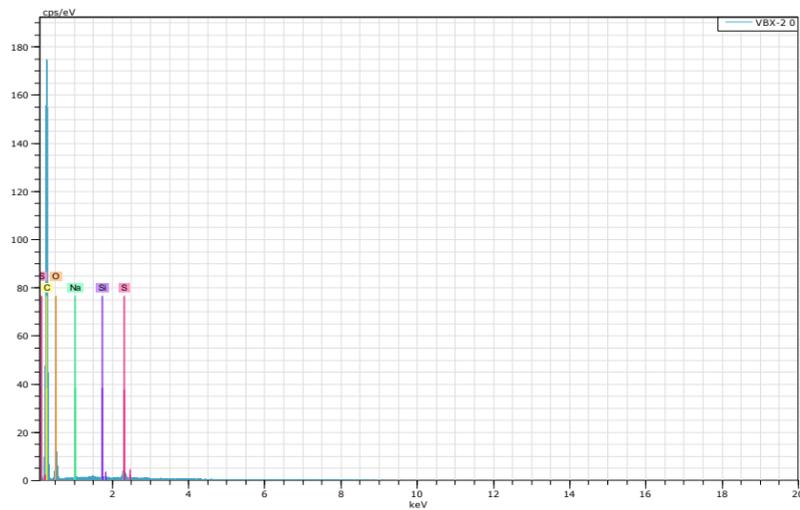


6. MEB VBx2 | 1.5K X



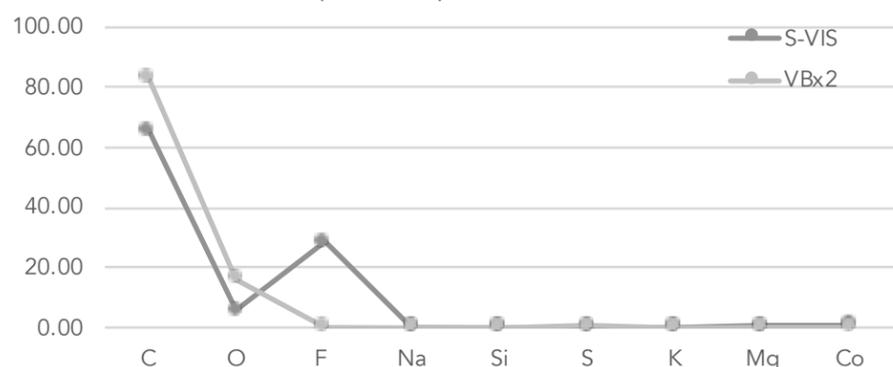
7. MEB VBx2 | 700 X

Espectro de elementos químicos (VBx2 700 X)



Elemento químico	S-VIS % en peso	VBx2 % en peso
C	65.76	83.12
O	5.55	16.08
F	28.31	0.00
Na	0.00	0.22
Si	0.09	0.04
S	0.00	0.50
K	0.00	0.02
Mg	0.30	0.00
Co	0.86	0.00

Elementos químicos presentes en el material



Observaciones

Ambas muestras presentan una estructura similar a la de un fractal; es decir, a una estructura geométrica que se repite, pero a diferentes escalas. La muestra S-VIS tiene una estructura semejante a la de un rombicododecaedro, en cada cara se aprecian estructuras más pequeñas del mismo polígono; en este caso, los nanotubos de carbono no tienen una alineación vertical, como correspondería a la versión original del Vantablack. Por su parte, en la muestra VBx2 observamos el mismo tipo de formación (repetitiva) que en la muestra S-VIS; sin embargo, aquí la formación es esférica pues no se distinguen las caras que conforman el poliedro. De las imágenes obtenidas por MEB destaco que, el proceso de pulverización del pigmento negro de carbono en la pintura VBx2 es fundamental para emular las cavidades que se generan por la deposición química de vapor (S-VIS) y que no es posible distinguir a simple vista. Para obtener un negro que sea cercano al negro absoluto es fundamental el proceso de aplicación del material, no importa si son nanotubos de carbono o pigmento negro de carbono vegetal como lo demuestran las imágenes.

En la muestra S-VIS (nanotubos de carbono) se identificó un 28.31% de F, elemento que no está declarado en la hoja técnica del material; además se identificó Si, Mg y Co, elementos que seguramente fueron utilizados como precursores o catalizadores durante la síntesis de los nanotubos de carbono. Mientras que en VBx2 (pintura hecha con acrílico y pigmento negro) se identificó Na, Si, S y K elementos detectados en otras pinturas analizadas en esta investigación.

Titanium White Rutile

Fórmula	TiO ₂
Código	46200
Marca	Kremer Pigmente



Datos técnicos

Tamaño	0.2 - 0.4 μm
Densidad	3.4 - 4.3 g/cm ³
Índice de refracción (<i>n</i>)	2.616 - 2.903
Dureza	No
Solubilidad en H ₂ O	No
Temperatura de fusión	1843°C
Temperatura de ebullición	3000°C

Descripción

Pigmento compuesto de 90 a 100% de dióxido de titanio que refracta la mayor parte de la radiación electromagnética visible, absorbe la radiación UV. Se utiliza en pinturas, tintas de impresión, cosméticos (protectores solares), productos textiles, alimentarios y farmacéuticos, asimismo en la fabricación de papel como blanqueador. En esmaltes para porcelana proporciona brillo, dureza y mayor resistencia a los ácidos. Bajo el microscopio óptico se aprecian las partículas de tamaño fino y alto brillo, su forma es de platos redondeados.

Micrografías

Propiedades ópticas y físicas de las partículas bajo microscopía óptica de polarización y con luz transmitida



1. TL | 5X



2. TL | 10X



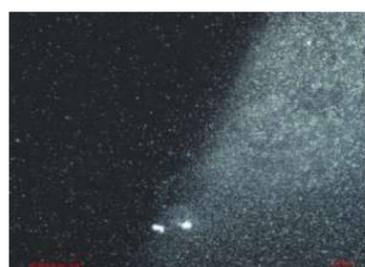
3. DF RL | 5X



4. DF RL | 10X



5. DF RL | 20X



7.DIC RL | 10X



7.UV Dapi | 20X



8.DIC RL Lambda | 10X

Todas las imágenes fueron adquiridas con un microscopio óptico AxioImager Z2 de Carl Zeiss con la cámara AxioCam 506. La fuente de iluminación bajo luz visible: lámpara halógena SMC 2009.

Cristalinidad	Euhedral
Sistema cristalino	Tetragonal
Textura	Lisa
Color	Blanco mate
Brillo	×
Opacidad	✓
Birrefringencia	×
Isotropía	✓
Anisotropía	×
Distribución	Las partículas se dispersan
Impurezas o mezclas	No

Infografía Pabellón Hyundai




OFFICIAL AUTOMOBILE PARTNER

THE DARKEST BUILDING ON EARTH



Background

Hyundai is the world's first automobile manufacturer to have mass-produced fuel cell electric vehicles. The challenge was to convey this technology to the world audience, in a fashion that was easy to understand, and still delivering the highly technical and sophisticated science behind it. Hyundai wanted people to experience fuel cell vehicles in the most direct and powerful way, only using design.

Creative Idea

Hyundai Pavilion, the darkest building in history created within 2018 Pyeongchang Olympic Plaza

- **Pavilion Exterior - Bringing the Universe**
Inspired by hydrogen, the building blocks of the universe and the stars, and of universe itself, represented by Vantablack, the darkest color in the world used for first time on a structure.
- **Pavilion Interior - A water to water exhibition**
A space that embodies the cycle of water to hydrogen, and back to water. There was no explanation, and not a car in sight, but the observers were able to learn about the mechanism behind fuel cell vehicles just by walking through the exhibition.

Results

72,000 Total Visits (in 4 weeks)	493,000,000+ Total Views (earned media)
100% Of positive impressions	820,000 Youtube views
512,000 Instagram views	12,000 #hyundiapavilion mentions
176% Due to the popularity of Hyundai Pavilion, eco-friendly car market saw an increase of 176% and reservations up to six months long.	

Forbes
"Pavilion is helping reinforce Hyundai as an innovative leader in hydrogen technology and the future of mobility"

REUTERS
"Toyota leaves PyeongChang podium to South Korea rivals."

AFP
"Darkest building in the world mesmerizes at PyeongChang Games: a building like no other."

archdaily
"Architecture as Experiential Marketing"



Hojas técnicas y de seguridad Vantablack S-VIS y VBx2

Commercial – in Confidence	
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006
	Ref R&D-SDS-004 Title VBx Ultra Black Paint

Commercial – in Confidence	
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006
	Ref R&D-SDS-004 Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Substances: Solvent borne carbon-based paint.

Substance name: VBx Ultra black paint.

CAS No.: N/A

Index No: N/A

EC No: N/A

REACH No: This product is a mixture and therefore not directly subject of the registration requirements under REACH.

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses

To be applied as a spray paint in a well-controlled environment under licence and guidance by the manufacturer.

Uses advised against:

Formation of explosive mixtures with air. Do not use in non-ventilated areas; or where there are sources of ignition, or without specific training.

Reasons:

Paint contains highly flammable solvent.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet:

Supplier:

Name: Surrey Nanosystems Ltd.
Address: Unit 24
 Euro Business Park
 New Road
 Newhaven
 BN9 0DQ
 United Kingdom
Telephone: +44 1273 515899
E-Mail: enquiries@surreynanosystems.com

1.4 EMERGENCY TELEPHONE NUMBER:

Newhaven: - +44 1273 515899

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture:

Product definition: Mixture

Classification according to regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP/GHS]

Flammable liquids (Cat 2), H225

Eye irritation (Cat 2), H319

Specific target organ toxicity - single exposure (Cat 3)

Central nervous system, H33

Ingredients of unknown toxicity: 0%

Ingredients of unknown ecotoxicity: 0%

Additional information:

Full text of H- and EUH-phrases: see SECTION 16.

2.2 Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP/GHS]

Product identifier:

Hazard components for labelling:

Acetone

Hazard pictograms



Signal word:

Danger

Hazard statements:

H225: Highly flammable liquid and vapour.

H319: Causes serious eye irritation.

H336: May cause drowsiness or dizziness.

Precautionary statements:

P210: Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces and other ignition sources– No smoking.

P261 Avoid breathing mist/ vapours/ spray

P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.

P305+351+338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses if present and easy to do – continue rinsing.

P337+313: Get medical advice/attention.

P403: Store in a well-ventilated place.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
 surrey nanosystems	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-004
			Title VBx Ultra Black Paint

Supplementary Precautionary statements:

P233 Keep container tightly closed.
 P240 Ground/ bond container and receiving equipment.
 P241 Use explosion-proof electrical/ ventilation/ lighting equipment.
 P242 Use only non-sparking tools.
 P243 Take precautionary measures against static discharge.

2.3 Other hazards

None known

SECTION 3. Composition/information on ingredients

3.1 Mixtures

Description of the mixture:

Mixture of synthetic resins, organic solvent and pigments.

Composition/information on ingredients

Substance name	CAS No.	INDEX No.	EC No.	Concentration	Classification according Regulation (EC) No. 1272 [CLP]
Carbon Black	215-609-9	1333-86-4	215-609-9	10-30%	-
Binder	n/a		-	10-30%	-
Acetone	67-64-1	606-001-00-8	200-662-2	60-80%	Flam. Liq. Class 2

Additional information:

Full text of H- and EUH-phrases: see SECTION 16.

This mixture does not contain further substances fulfilling the criteria of hazard class "acute toxicity" according to CLP regulation.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
 surrey nanosystems	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-004
			Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General information: In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical attention. Never give anything by mouth to an unconscious person. If unconscious, place in recovery position and seek medical advice.

Following inhalation: Remove to fresh air. Keep person warm and at rest. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. Consult a doctor.

Following skin contact: Remove contaminated clothing and shoes. Wash skin thoroughly with soap and water or use recognised skin cleanser. Do NOT use solvents or thinners.

Following eye contact: Remove contact lenses, irrigate copiously with clean, fresh water, holding the eyelids apart for at least 10 minutes and seek immediate medical advice.

Following ingestion: If swallowed, seek medical advice immediately and show the container or label. Keep person warm and at rest. Do NOT induce vomiting.

Self-protection of the first aider: No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Exposure to component solvent vapour concentrations in excess of the stated occupational exposure limit may result in adverse health effects such as mucous membrane and respiratory system irritation and adverse effects on the kidneys, liver and central nervous system. Symptoms and signs include headache, dizziness, fatigue, muscular weakness, drowsiness and, in extreme cases, loss of consciousness.

Solvents may cause some of the above effects by absorption through the skin. Repeated or prolonged contact with the mixture may cause removal of natural fat from the skin, resulting in non-allergic contact dermatitis and absorption through the skin.

If splashed in the eyes, the liquid may cause irritation and reversible damage. Ingestion may cause nausea, diarrhoea and vomiting. This takes into account, where known, delayed and immediate effects and also chronic effects of components from short-term and long-term exposure by oral, inhalation and dermal routes of exposure and eye contact.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Notes for the doctor: Treat symptomatically. Contact poison treatment specialist immediately if large quantities have been ingested or inhaled.

Special treatment: No specific treatment

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-004
			Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media:

Suitable extinguishing media: Recommended: alcohol-resistant foam, CO₂, powders.

Unsuitable extinguishing media: Do not use water.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Vapours are heavier than air and may spread near the ground, travel a considerable distance to a source of ignition and flash back.

Severe explosion hazard when vapours ignite.

Hazardous combustion products: Fire will produce dense black smoke. Decomposition products may include the following materials: carbon monoxide, carbon dioxide, smoke.

5.3 Advice for fire-fighters

Cool closed containers exposed to fire with water. Prevent runoff from entering drains or watercourses.

Additional information: Appropriate breathing apparatus may be required.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

For non-emergency personnel

Exclude sources of ignition and ventilate the area. Avoid breathing vapour or mist. Refer to protective measures listed in sections 7 and 8.

For emergency responders

If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also the information in "For non-emergency personnel".

6.2 Environmental precautions:

Do not allow to enter drains or watercourses. If the product contaminates lakes, rivers, or sewers, inform the appropriate authorities in accordance with local regulations.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

Isolate all ignition sources. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations (see Section 13). Preferably clean with a water-based detergent. Avoid using solvents.

Other information: If exposed to air, mixture will gel in storage and so will resist high flow rates reducing the rate of spillage

6.4 Reference to other sections

Additional information:

See Section 1 for emergency contact information.

See Section 8 for information on appropriate personal protective equipment.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-004
			Title VBx Ultra Black Paint

See Section 13 for additional waste treatment information.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Prevent the creation of flammable or explosive concentrations of vapours in air and avoid vapour concentrations higher than the occupational exposure limits. In addition, the product should only be used in areas from which all naked lights and other sources of ignition have been excluded. Electrical equipment should be protected to the appropriate standard. Mixture may charge electrostatically: always use earthing leads when transferring from one container to another.

Operators should wear antistatic footwear and clothing and floors should be of the conducting type.

Keep away from heat, sparks and flame. Non-sparking tools should be used.

Avoid contact with skin and eyes. Avoid the inhalation of dust, particulates, spray or mist arising from the application of this mixture. Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed.

Keep container tightly closed and upright when not in use. Vapours are heavier than air and may spread along floors. Vapours may form explosive mixtures with air.

Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8).

Advice on general occupational hygiene

Ensure vapours are not allowed to build up by keeping containers closed and in well ventilated areas. The material can be cleaned off surfaces with warm soapy water or alcohol/water mixtures. Dry powders should be hoovered up using an appropriately rated vacuum cleaner.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Technical measures and storage conditions: Store between 10 and 25°C. Store in accordance with local regulations.

Requirements for storage rooms and vessels: Observe label precautions. Store in a dry, cool and well-ventilated area. Store between 10 and 25°C. Keep away from heat and direct sunlight. Keep away from sources of ignition. No smoking. Prevent unauthorised access. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage.

Materials to avoid oxidising agents, strong alkalis, strong acids.

Seveso Directive - Reporting thresholds (in tonnes)

Danger criteria

Category	Notification and MAPP threshold	Safety report threshold
P5c: Flammable liquids 2 and 3 not falling under P5a or P5b	5000	50000
C6: Flammable (R10)	5000	50000

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006	Ref R&D-SDS-004	
		Title VBx Ultra Black Paint	

7.3 **Specific end uses:** to be used as a spray paint coating for aesthetic and engineering applications

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

The information in this section contains generic advice and guidance. Information is provided based on typical anticipated uses of the product. Additional measures might be required for bulk handling or other uses that could significantly increase worker exposure or environmental releases.

8.1 Control parameters

8.1.1 Occupational exposure limits:

If this product contains ingredients with exposure limits, personal, workplace atmosphere or biological monitoring may be required to determine the effectiveness of the ventilation or other control measures and/or the necessity to use respiratory protective equipment. Reference should be made to monitoring.

Standards, such as the following: European Standard EN 689 (Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy) European Standard EN 14042 (Workplace atmospheres - Guide for the application and use of procedures for the assessment of exposure to chemical and biological agents) European Standard EN 482 (Workplace atmospheres - General requirements for the performance of procedures for the measurement of chemical agents) Reference to national guidance documents for methods for the determination of hazardous substances will also be required.

8.1.2 Exposure limits at intended use:

Occupational Exposure Guidelines for Acetone

OSHA PEL-TWA	1000 ppm
ACGIH TLV-TWA	500 ppm (NIC 200 ppm)
TLV-STEL	750 ppm (NIC 500 ppm)
NIOSH REL-TWA	250 ppm
IDLH	2500 ppm
HSE EH40 approved workplace exposure limits	500 ppm (8-hr TWA), STEL 1500 ppm (15-mins)

8.2 Exposure controls

8.2.1 Appropriate engineering controls: Provide adequate ventilation. Where reasonably practicable, this should be achieved by the use of local exhaust ventilation and good general extraction. If these are not sufficient to maintain concentrations of particulates and solvent vapours below the OEL, suitable respiratory protection must be worn.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet (REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006	Ref R&D-SDS-004	
		Title VBx Ultra Black Paint	

8.2.2 Personal protective equipment:

Eye / Face protection:

Suitable eye protection: Use safety eyewear designed to protect against splash of liquids.

Other eye protection measures: In the case of high exposures a full-face respirator mask can be used to limit exposure of eyes to vapours.

Skin protection:

Gloves: For prolonged or repeated contact use protective gloves. Barrier creams may help to protect the exposed areas of skin, they should however not be applied once exposure has occurred. Skin should be washed after contact.

Use chemical resistant gloves classified under Standard EN 374: Protective gloves against chemicals and micro-organisms. Recommended gloves: Viton® or Nitrile Breakthrough Time: 480 min.

When prolonged or frequently repeated contact may occur, a glove with a protection class of 6 (breakthrough time greater than 480 minutes according to EN 374) is recommended. When only brief contact is expected, a glove with a protection class of 2 or higher (breakthrough time greater than 30 minutes according to EN 374) is recommended.

Body protection: Personnel should wear antistatic clothing. This should be made of natural fibres or of high temperature-resistant synthetic fibres.

Other skin protection measures: Appropriate footwear and any additional skin protection measures should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Respiratory protection: If workers are exposed to concentrations above the exposure limit, they must use appropriate, certified respirators with AX grade filters.

8.2.3 Environmental exposure controls:

Do not allow to enter drains or watercourses.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence		
	Safety Data Sheet	Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006	Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 9. Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Appearance: High viscosity liquid

	Value	Method	Remark
Melting point/freezing point	No data available		
Initial boiling point/boiling range	56°C		Boiling point of acetone
Flash point	-19 °C	Closed cup	Flash point of acetone
Evaporation rate	No data available		
Upper/lower flammability or explosive limits	2.2-13%		(Acetone)
Vapour pressure	24kPa	At 20°C	(Acetone)
Vapour density	2.0	(air = 1)	(Acetone)
Relative density	0.84		
Solubility(ies)	No data available		
Partition coefficient: n-octanol/water	No data available		
Auto-ignition temperature	465°C		(Acetone)
Decomposition temperature	No data available		
Viscosity	No flow	ISO 2431	
Explosive properties	No information available		
Oxidising properties	No information available		

Physical state: Liquid Colour: Black Odour: sweet Odour threshold: 19.8 ppm

9.2 Assessment / Classification: Flammable liquid, high viscosity. Hazard class 3.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence		
	Safety Data Sheet	Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006	Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage and handling conditions (see Section 7).

10.3 Possibility of hazardous reactions

Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.

10.4 Conditions to avoid:

When exposed to high temperatures may produce hazardous decomposition products.

10.5 Incompatible materials:

Keep away from the following materials to prevent strong exothermic reactions: oxidising agents, strong alkalis, strong acids

10.6 Hazardous decomposition products:

Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

There are no data on the mixture itself.

Exposure to component solvent vapour concentrations in excess of the stated occupational exposure limit may result in adverse health effects such as mucous membrane and respiratory system irritation and adverse effects on the kidneys, liver and central nervous system. Symptoms and signs include headache, dizziness, fatigue, muscular weakness, drowsiness and, in extreme cases, loss of consciousness. Solvents may cause some of the above effects by absorption through the skin. Repeated or prolonged contact with the mixture may cause removal of natural fat from the skin, resulting in non-allergic contact dermatitis and absorption through the skin. If splashed in the eyes, the liquid may cause irritation and reversible damage. Ingestion may cause nausea, diarrhea and vomiting. This takes into account, where known, delayed and immediate effects and also chronic effects of components from short-term and long-term exposure by oral, inhalation and dermal routes of exposure and eye contact.

11.1.2 Mixtures

Component information

Component	LD50 Oral (rat)	LD50 Dermal	LC50 Inhalation (rat)
Acetone	5800 mg/kg	> 15800 mg/kg (rabbit)	> 7400 mg/kg (rat) 76 mg/l
Carbon black	> 2000 mg/kg.	No data	No data
Polymeric resin	> 5000 mg/kg	No data	No data

Hazardous component: Acetone

Toxicologically Synergistic Products: Carbon tetrachloride; Chloroform; Trichloroethylene; Bromodichloromethane; Dibromochloromethane; N-nitrosodimethylamine; 1,1,2-Trichloroethane; Styrene; Acetonitrile, 2,5-Hexanedione; Ethanol; 1,2-Dichlorobenzene

Delayed and immediate effects as well as chronic effects from short and long-term exposure.

Irritation:	Irritating to eyes and skin
Sensitization:	No information available
Carcinogenicity:	Not listed
Mutagenic Effects:	No information available
Reproductive Effects:	No information available.
Developmental Effects:	No information available.
Teratogenicity:	No information available.
STOT - single exposure	Central nervous system (CNS)
STOT - repeated exposure	Kidney Liver spleen Blood
Aspiration hazard	No information available
Symptoms / effects, both acute and delayed:	Symptoms of overexposure may be headache, dizziness, tiredness, nausea and vomiting. May cause pulmonary edema
Endocrine Disruptor Information:	No information available

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 12: Ecological information

Do not allow the mixture to enter drains or watercourses. The mixture and its components are not classified as hazardous to the environment.

12.1 Toxicity

There are no data available on the mixture itself. Do not allow to enter water drains or courses. The mixture has been assessed following the summation method of the CLP regulation (EC) No 1272/2008 and is not classified as hazardous to the environment.

12.2 Persistence and degradability

Not available

12.3 Bioaccumulative potential

Not available

12.4 Mobility in soil

Not available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

Not applicable

12.6 Other adverse effects:

Not available

Additional ecotoxicological information: Not available

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product / Packaging disposal: The generation of waste should be avoided or minimised wherever possible. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Waste should not be disposed of untreated to the sewer

Waste codes / waste designations according to EWC / AVV:

EWC codes 08 01 11 and 20 01 27

Packaging: The generation of waste should be avoided or minimised wherever possible. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. Using information provided in this safety data sheet, advice should be obtained from the relevant waste authority on the classification of empty containers. Empty containers must be scrapped or reconditioned. Dispose of containers contaminated by the product in accordance with local or national legal provisions.

Waste treatment options:

Other disposal recommendations: Do not allow to enter drains or watercourses. Dispose of according to all federal, state and local applicable regulations. If this product is mixed with other wastes, the original waste product code may no longer apply and the appropriate code should be assigned. For further information, contact your local waste authority.

Additional information: None

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title VBx Ultra Black Paint

SECTION 14 : Transport information

Viscous substance exemption - Special provisions 640G

In pack sizes less than 450 litres, under the terms of 2.3.2.6, this product is not subject to the provisions of ADR

	Land transport (ADR/RID)	Inland waterway transport (ADN)	Sea transport (IMDG)	Air transport (ICAO-TI / IATA-DGR)
14.1 UN No.	1263	1263	1263	1263
14.2 UN Proper shipping name	paint	paint	paint	paint
14.3 Transport hazard class(es)	3	3	3	3
Hazard label(s)	Flam. Liq	Flam. Liq	Flam. Liq	Flam. Liq
14.4 Packing group	3	3	3	3
14.5 Environmental hazards	none	none	none	none

14.6 Special precautions for user

Transport within user's premises: Always transport in closed containers that are upright and secure. Ensure that persons transporting the product know what to do in the event of an accident or spillage.

14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code

Not applicable

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

15.1.1 EU regulations

Not a hazardous substance according to the summation method of Regulation (EC) 1272/2008 (CLP), its various amendments and adaptations and Directive 67/548/EEC.

Authorisations and/or restrictions on use: No restrictions

Authorisations: Not applicable

Restrictions on use: Not applicable

Other EU regulations: None

VOC content 700g/L in compliance with EU Directive 2004/42/CE Special Finish coatings.

15.1.2 National regulations in country of use

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-004
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title VbX Ultra Black Paint

Country of destination: Republic of South Korea – Use not restricted according to VOC legislation due to Acetone exemption status MOE Public Notice No. 2004-141 (September 18, 2004); Latest Amendment: MOE Public Notice No. 2007-121 (August 7, 2007)

15.2 Chemical Safety Assessment:

For this mixture a chemical safety assessment is not required.

SECTION 16: Other information

16.1 Full text of H-statements referred to in Section 2 and 3.

Relevant , H- and EUH-phrases (number and full text):

H066: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
H225: Highly flammable liquid and vapour.
H319: Causes serious eye irritation
H336: May cause drowsiness or dizziness

Precautionary statements:

P210: Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces – No smoking.
P305+351+338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses if present and easy to do – continue rinsing.
P337+313: Get medical advice/attention.
P403: Store in a well-ventilated place.

16.2 Training advice: Hands on training to be administered by authorised representatives of Surrey Nanosystems Ltd only. Use of the material without training is done so at operator's risk.

16.3 Further information:

IMPORTANT NOTE The information in this data sheet is not intended to be exhaustive and is based on the present state of our knowledge and on current laws: any person using the product for any purpose other than that specifically recommended in the technical data sheet without first obtaining written confirmation from us as to the suitability of the product for the intended purpose does so at his own risk. It is always the responsibility of the user to take all necessary steps to fulfil the demands set out in the local rules and legislation. Always read the Material Data Sheet and the Technical Data Sheet for this product if available. All advice we give or any statement made about the product by us (whether in this data sheet or otherwise) is correct to the best of our knowledge but we have no control over the quality or the condition of the substrate or the many factors affecting the use and application of the product. Therefore, unless we specifically agree in writing otherwise, we do not accept any liability whatsoever for the performance of the product or for any loss or damage arising out of the use of the product. All products supplied and technical advice given are subject to our standard terms and conditions of sale. You should request a copy of this document and review it carefully. The information contained in this data sheet is subject to modification from time to time in the light of experience and our policy of continuous development. It is the user's responsibility to verify that this data sheet is current prior to using the product.

Brand names mentioned in this data sheet are trademarks of or are licensed to Surrey Nanosystems Ltd.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
A	21/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells
B	20/05/20	STORAGE TEMPERATURE REVIEW	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
	Safety Data Sheet		Ref R&D-SDS-001
	(REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Title Vantablack S-VIS S-IR

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Substances: MWCNT (multi-walled carbon nanotubes)

Substance name: Vantablack S-VIS and S-IR

CAS No.: 308068-56-6

EC No: 936-414-1

REACH No: The substance does not meet the minimum volume threshold for registration.

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses: Improving imaging technology

Reducing light scatter

Aesthetic uses

Uses advised against: In areas where abrasion may occur.

Reasons: May damage product and optical properties.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet:

Supplier:

Name: Surrey Nanosystems Ltd.
Address: Unit 24
Euro Business Park
New Road
Newhaven
BN9 0DQ
United Kingdom

Information contact:
E-Mail: enquiries@surreynanosystems.com

1.4 EMERGENCY TELEPHONE NUMBER: Newhaven +44 1273 515899

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture:

Product definition: Classification according to regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP/GHS]

Note only if item is scratched and mis-handled allowing dust to become aerosolised

Eye irritation (Cat 2)

Specific target organ toxicity – single exposure (Cat 3)

(This means Transient target organ effects. This category only includes narcotic effects (dizziness, drowsiness) and respiratory tract irritation (sore throat, cough). These effects, while adversely altering human function, are of short duration after exposure, and do not result in significant alterations of structure or function following recovery.)

Classification according to EU Directives 67/548/ECC or 1999/45/EC

Irritating to eyes and respiratory system

Additional information:

Full text of H- and EUH-phrases: see SECTION 16.

2.2. Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP/GHS]

Product identifier:

Hazard components for labelling: MWCNT

Hazard pictograms



Signal word: Warning

Hazard statements:

H319: Causes serious eye irritation
 H335: May cause respiratory irritation

Precautionary statements:

P261: Avoid breathing dust/fume/mist/vapours/spray.
 P262: Do not get in eyes, on skin, or on clothing.
 P305+351+338: IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses if present and easy to do – continue rinsing.
 P280: Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

Caution – Substance not yet tested completely.

2.3. Other hazards: None known

SECTION 3. Composition/information on ingredients

3.1. Substances (Coating only)

Description of the Substance: Hydrophobic MWCNT

Composition/information on ingredients

Substance name	CAS No.	EC No.	Concentration	Classification according Regulation (EC) No. 1272 [CLP]
<i>Multiwalled CNT</i>	308068-56-6	936-414-1	<i>80-83%</i>	<i>H320 H335</i>

Additional information:

Full text of H- and EUH-phrases: see SECTION 16.

This mixture does not contain further substances fulfilling the criteria of hazard class "acute toxicity" according to CLP regulation.

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

General information: In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical attention. Never give anything by mouth to an unconscious person. If unconscious, place in recovery position and seek medical advice.

Following inhalation: Remove to fresh air. Keep person warm and at rest. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. Consult a doctor.

Following skin contact: Wash off with soap and water. Consult a doctor.

Following eye contact: Rinse well with plenty of water for at least 15 minutes and consult a doctor.

Following ingestion: Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a doctor. Do not induce vomiting.

Self-protection of the first aider: No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

To the best of our knowledge, the chemical, physical and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Notes for the doctor: Treat symptomatically. Contact poison treatment specialist immediately if large quantities have been ingested or inhaled.

Special treatment: No specific treatment

5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media:

Suitable extinguishing media: Use water spray, foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture: Carbon oxides.

5.3 Advice for fire-fighters

Wear self-contained breathing apparatus for firefighting if required.

Additional information: Appropriate breathing apparatus may be required

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Use PPE as required. Avoid dust formation. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust.

6.2 Environmental precautions:

Do not allow to enter drains or watercourses. If the product contaminates lakes, rivers, or sewers, inform the appropriate authorities in accordance with local regulations.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. If using brush and shovel, wet material first to reduce atomising dust, otherwise use HEPA filtered vacuum cleaner. Keep in a suitable, closed container for disposal.

6.4 Reference to other sections

Additional information:

See Section 1 for emergency contact information.

See Section 8 for information on appropriate personal protective equipment.

See Section 13 for additional waste treatment information.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

For coating – avoid contact with coated surface.

Avoid contact with skin by wearing gloves if handling exposed coated part (double-gloving recommended).

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

Avoid formation of dust and aerosols by not directly touching coated part.
Normal measures for preventative fire protection.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Avoid contact with coated surface when storing as may damage surface.

7.3 Specific end uses: Data not available.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

The information in this section contains generic advice and guidance. Information is provided based on typical anticipated uses of the product. Additional measures might be required for bulk handling or other uses that could significantly increase worker exposure or environmental releases.

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

There are currently no UK statutory workplace exposure limits (WELs) specifically for nanomaterials.

NIOSH currently have a Recommended Exposure limit (REL) of 1 µg/m³ over an 8-hour TWA during a 40-hour work week for aerosolised CNT's.

ECHA currently have a Derived No Effect Level (DNEL) of 0.05 mg/m³ as a benchmark.

8.2 Exposure controls

8.2.1 Appropriate engineering controls N/A

8.2.2 Personal protective equipment:

Eye/face protection

No special eye protection is required when handling coated parts, however precaution may be to wear eye protection to stop accidentally touching eyes with gloves which may be contacted with coated surface. Safety glasses with side-shields conforming to EN166 are recommended.

Skin protection

Handle with gloves if handling exposed coated part. Inspect gloves prior to use. Use proper glove removal technique to avoid skin contact with this material. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected gloves must satisfy the specifications of EU directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it. Double-gloving is recommended.

Body protection

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001 Title Vantablack S-VIS S-IR	

No special body protection is required when handling coated parts.

Respiratory protection

Use masks as a precaution to prevent any accidental ingestion or inhalation of dust when handling parts coated with the material (mask/respirator type P3 (EN 143)).

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001 Title Vantablack S-VIS S-IR	

8.2.3 Environmental exposure controls:

Do not allow to enter drains or watercourses.

SECTION 9. Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Appearance: Solid black coating

	Value	Method	Remark
Melting point	>3,000 °C		
Initial boiling point/boiling range	No data available		
Flash point	Not applicable		
Evaporation rate	Not applicable		
Flammability (solid, gas)	Not a flammable ¹		
Upper/lower flammability or explosive limits	No data available		
Vapour pressure	Not applicable		
Vapour density	Not applicable		
Relative density	2.5 mg/cm ³		
Solubility	Insoluble		
Partition coefficient: n-octanol/water	No data available		
Auto-ignition temperature	No data available		
Decomposition temperature	Not applicable		
Viscosity	Not applicable		
Explosive properties	No data available		
Oxidising properties	None		

Physical state: Solid Colour: Black Odour: Odourless Odour threshold: N/A

¹Not a flammable solid, per test method N.1 as described in Part III, sub-section 33.2.1 of the UN recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria

9.2 Assessment / Classification: None

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

SECTION 10: Stability and reactivity

- 10.1 Reactivity:**
No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients
- 10.2 Chemical stability:**
Stable under recommended storage and handling conditions (see Section 7).
- 10.3 Possibility of hazardous reactions:**
Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.
- 10.4 Conditions to avoid:** No data available.
- 10.5 Incompatible materials:** Oxidising agents
- 10.6 Hazardous decomposition products:**
Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

SECTION 11: Toxicological information

- Acute toxicity:** No data available
- Skin corrosion/irritation:** No data available
- Serious eye damage/eye irritation:** No data available
- Respiratory or skin sensitization:** No data available
- Germ cell mutagenicity:** No data available
- Carcinogenicity**
IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.
- Reproductive toxicity:** No data available
- Specific target organ toxicity – single exposure**
Inhalation – May cause respiratory irritation
- Specific target organ toxicity – repeated exposure**
No data available
- Aspiration hazard:** No data available
- Potential health effects**
- Inhalation** May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation
- Ingestion** May be harmful if swallowed
- Skin** May cause skin irritation
- Eyes** Causes serious eye irritation

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial – in Confidence			
			
Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006		Ref R&D-SDS-001	
		Title Vantablack S-VIS S-IR	

Signs and symptoms of exposure

To the best of our knowledge, the chemical, physical and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Commercial - in Confidence	
	Safety Data Sheet REACH) according to Regulation (EC) No 1907/2006
	Ref R&D-SDS-001 Title Vantablack S-VIS S-IR

SECTION 16: Other information

16.1 Full text of H-statements referred to in Section 2 and 3.

H319: Causes serious eye irritation
H335: May cause respiratory irritation

16.2 Further information:

IMPORTANT NOTE The information in this data sheet is not intended to be exhaustive and is based on the present state of our knowledge and on current laws: any person using the product for any purpose other than that specifically recommended in the technical data sheet without first obtaining written confirmation from us as to the suitability of the product for the intended purpose does so at his own risk. It is always the responsibility of the user to take all necessary steps to fulfil the demands set out in the local rules and legislation.

Always read the Material Data Sheet and the Technical Data Sheet for this product if available. All advice we give or any statement made about the product by us (whether in this data sheet or otherwise) is correct to the best of our knowledge but we have no control over the quality or the condition of the substrate or the many factors affecting the use and application of the product. Therefore, unless we specifically agree in writing otherwise, we do not accept any liability whatsoever for the performance of the product or for any loss or damage arising out of the use of the product. All products supplied and technical advice given are subject to our standard terms and conditions of sale. You should request a copy of this document and review it carefully. The information contained in this data sheet is subject to modification from time to time in the light of experience and our policy of continuous development. It is the user's responsibility to verify that this data sheet is current prior to using the product.

Brand names mentioned in this data sheet are trademarks of or are licensed to Surrey Nanosystems Ltd.

ISSUE NO.	DATE	LATEST REVISION DETAILS	ESTABLISHED	APPROVED
B	22/04/20	INITIAL ISSUE	G.Hermann	R.Wells

Bibliografía consultada

- Allier Montaño, Eugenia. “Ética y política en el historiador del tiempo presente.” En *Teoría de la Historia Vol. 1*, editado por Alfonso Mendiola y Luis Vergara Anderson, 151-171. México: Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, 2014.
- Álvarez Romero, Ekaterina. *Anish Kapoor. Arqueología: biología*. Ciudad de México: MUAC, 2015.
- Anderson, Christy, Dunlop, Anne y H. Smith, Pamela eds. *The matter of art. Materials, practices, cultural logics, c. 1250-1750*. Manchester: University Press, 2014.
- Appadurai, Arjun. *La vida social de las cosas. Perspectiva cultural de las mercancías*. México: Grijalbo, 1991.
- Ball, Philip. *Colore: una biografía. Tra arte, storia e chimica la bellezza e i misteri del mondo del colore*. Milán: Bur Saggi, 2013.
- Ball, Phillip. *La invención del color*. España: Fondo de Cultura Económica, 2003.
- Boucher, Marie-Pier y Helmreich, Stefan. *Being material*. Londres: Cambridge Mass, 2017.
- Burke, Peter. *Formas de hacer historia*. Madrid: Alianza, 1994.
- Gage, John. *Color y cultura. La práctica y el significado del color de la Antigüedad a la abstracción*. Singapor: Siruela, 2001.
- Carlyle, Leslie. *The Artist's Assistant. Oil painting instruction manuals & handbooks in Britain 1800-1900 with reference to selected eighteenth-century sources*. Londres: Archetype Publications, 2001.
- Creagh, D.C. y D.A. Bradley *Radiation in Art and Archeometry*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000.
- Eastaugh, Nicholas y Walsh, Valentine. *Pigment Compendium. Optical Microscopy of Historical Pigments*. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- Elcott, Noam M. *Artificial Darkness. An Obscure History Of Modern Art And Media*. Chicago: University of Chicago Press, 2016.
- Fabrizi, Fabbriano. *L'orizzonte degli eventi*. Bolonia: Atlante, 2013.
- Feeser, Andrea, Fowkes Tobin, Beth, Daly Goggin, Maureen ed. *The materiality of color: the production, circulation, and application of dyes and pigments*. Reino Unido: MPG Books Group, 2012.
- Finlay, Victoria. *Color. A Natural History of the Palette*. NYC: Random House, 2004.
- Finlay, Victoria. *Colores*. México: Océano, 2004.
- Francés, Fernando. *My Red Homeland*. Málaga: Centro de arte contemporáneo de Málaga, 2006.

- Frascina, Francis y Harrison, Charles. *Modern Art and Modernism: A Critical Anthology*. Nueva York: SAGE Publications, 1982.
- Gabriel, Markus. *Por qué no existe el mundo*. México: Océano, 2016.
- Gell, Alfred. *Art and Agency. An Anthropological Theory*. Oxford: Claredon Press, 1998.
- Greenberg, Clement. *Arte y cultura*. España: Paidós, 2016.
- H. Berrie, Barbara. *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres: Archetype Books, 2007.
- J. S. Learner, Thomas, Smithen, Patricia, W. Krueger, Jay and R. Schilling, Michael ed., *Modern Paints Uncovered*. Los Ángeles: The Getty Conservarion Institue, 2006.
- Kemp. Martin. *La ciencia del arte. La óptica en el arte de Brunelleschi a Seurat*. Madrid: Akal, 2000.
- Kirby, Jo. *Dyes in History and Archaeology*. Londres: Archetype Publications, 2008.
- L. Clark, George. *Enciclopedia de Química*. España: Omega, 1961.
- Latour, Bruno. *Nunca fuimos modernos*. Argentina: Siglo XXI, 2007.
- Latour, Bruno. *Reensamblar lo social. Una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Manantial, 2008.
- Lehmann, Ann-Sophie. "How materials make meaning." En *Meaning in materials, 1400-1800*, editdo por Ann-Sophie Lehmann, Frits Scholten y H. Perry Chapman, 7-26. Leiden: Boston, 2012.
- Miodownik, Mark. *Cosas (y) materiales. La magia de los objetos que nos rodean*. España: Turner, 2017.
- Moxey, Keith. *Visual Time. The image in history*. Londres: Durham Press, 2013.
- Neirl A. *Biología. Conceptos y relaciones*. México: Pearson, 2001.
- Parker, Sybil P. *La Enciclopedia McGraw-Hill de Física*. Nueva York: McGraw-Hill, 1993.
- Parramón, José M. *Teoría y práctica del color*. España: Parramon, 2009.
- Pastoureau, Michel. *Nero. Storia di un colore*. Milan: Ponte alle grazie, 2008.
- Ramírez, Heriberto. *Ensayos de Óptica. Newton y la naturaleza de la luz*. México: UNAM, 2016.
- Ricœur, Paul. *Freud: una interpretación de la cultura*. México: Siglo XXI, 2019.
- Roque, Georges. *El color en el arte mexicano*. Ciudad de México: IIE-UNAM, 2003.
- Ruiz, Nacho. *La obra de arte como objeto de intercambio. Procesos y estructuras del mercado del arte*. Guatemala: Centro Cultural de España, 2011.

- St. Clair, Kassia. *The secret lives of color*. Nueva York: Penguin, 2017.
- Staff, Craig. *Monochrome. Darkness and light in contemporary art*. Londres: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2015.
- Tarabukin, Nikolai. *El último cuadro. Del caballete a la máquina/Por una teoría de la pintura*. Barcelona: Gustavo Gili, 1977.
- Teofilo, *On Divers Arts*. Estados Unidos: Universidad de Chicago, 1979.
- van Eck, Caroline. *Art, Agency and Living Presence. From The Animated To The Excessive Object*. Leiden: Leiden University Press, 2015.
- von Goethe, Johann Wolfgang. *Teoría de los colores: las láminas comentadas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2019.
- Wallerstein, Immanuel. *Abrir las Ciencias Sociales*, México: Siglo XXI, 2006.
- Wallerstein, Immanuel. *Impensar las Ciencias Sociales: límites de los paradigmas decimonónicos*. México: Siglo XXI, 1998.
- Weiss, Evelyn. *Vanguardia Rusa: 1910-1930*, Madrid: Fundación Juan March, 1985.
- Zetina, Sandra, José Luis Ruvalcaba -Sil, Rebeca Barquera a, Nitziné Ocampo Ávila, Alejanro Mitrani, Miguel Maynez, Eumelia Hernández, Edgar Casanova, Adrián Mejía-González y Nuria Esturau. "Painting with Acrylics: José Gutiérrez, Gunther Gerzso and the Material Innovation in Mexican Contemporary Painting." En *Science and Art: The Contemporary Painted Surface*, editado por Antonio Sgamellotti, Brunetto Giovanni Brunetti y Costanza Miliani, 404-430. Royal Society of Chemistry, 2020.

Fuentes electrónicas

- Airey, David. "Perpetual black water whirlpool." *David Airey*, (1 de junio de 2015). <http://www.davidairey.com/anish-kapoor-descension/>
- Akhlaghi, Neda y Najafpour-Darzi, Ghasem. "Manganese ferrite (MnFe₂O₄) Nanoparticles: From synthesis to application". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (noviembre: 2021) 294-304. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.07.043>
- Anuj, Patil. "Vantablack: The World's Darkest Material," *Man-made Textiles in India*, no. 43 (enero 2015). <http://eds.a.ebscohost.com.pbid.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=8133325a-4b2f-4142-a810-d4bc77c5358c%40sessionmgr4010>
- Appadurai, Arjun. "The thing itself." *Arts in circulation*. (2006), 15-21. http://www.arjunappadurai.org/articles/Appadurai_The_Thing_Itself.pdf
- Araujo Santos, Eriel de. "El humano en la potencia: la materialidad como medio para actualizaciones de propuestas artísticas". *II Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, ANIAV (2015) 493-97. <https://doi.org/10.4995/ANIAV2015.1246>

- Aspord, Elisa. "Beyond the Liminal: Ultra Black Art in Dark Times". (Ljubljana: Aksioma-Institute for Contemporary Art: 2011). https://issuu.com/aksioma.org/docs/aksioma_postscriptum_11_eng_de_wild
- Aydogdu Metin y Gul Ufuk. "Wave propagation in double walled carbon nanotubes by using doublet mechanics theory", *Physica E*, Vol. 93 (septiembre, 2017): 345-357. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386947717305180>
- Block, Indian. "Asif Khan reveals super-dark Vantablack pavilion for Winter Olympics 2018." *DeZeen* (7 de febrero de 2018). <https://www.dezeen.com/2018/02/07/asif-khan-coats-pavilion-super-dark-vantablack-vbx2-pyeongchang-winter-olympics-2018-worlds-darkest-material/>
- Bronner, Julian Elias. "Anish Kapoor talks about his work with the newly developed pigment Vantablack" en *Artforum*, (abril de 2015). <https://www.artforum.com/interviews/anish-kapoor-talks-about-his-work-with-the-newly-developed-pigment-vantablack-51395>
- Brown, Joel. "The New Black: The Least Reflective Paint Ever". *Bostonia*. Boston University's Alumni Magazine. (10 de octubre de 2018). <http://www.bu.edu/articles/2018/jason-chase-singularity-black-paint>
- Bueno Marco, J. M. "Algo más sobre la palabra «Cromatografía»." *Cromatografía y Técnicas Afines*, Vol. 22, (2001). <https://es.scribd.com/document/6429254/Algo-mas-Sobre-La-Palabra-Cromatografia>
- Cascone, Sarah. "Lab Introduces Singularity Black, the Blackest Paint—And You Don't Have to Be Anish Kapoor to Use It." *Artnet News* (2017). <https://news.artnet.com/art-world/singularity-black-blackest-paint-1042202>
- Castro, Jan Garde. "Anish Kapoor at the Guggenheim: the dimensions of memory." *Sculpture*, Vol. 29, enero/febrero 2010. <https://sculpturemagazine.art/anish-kapoor-at-the-guggenheim-the-dimensions-of-memory/>
- Chia, Cheryl. "Introducing the "Blackest Black" Wristwatch for under US\$500." *SJX*, 2018. <https://watchesbysjx.com/2018/10/chronotechna-blackest-black-watch.html>
- Christou, Antonis y A. Anna A. Stec, "A review of exposure and toxicological aspects of carbon nanotubes, and as additives to fire retardants in polymers." *Critical reviews in toxicology* 46, núm. 1, (2016): 2. <http://dx.doi.org/10.3109/10408444.2015.1082972>
- Contenido descriptivo del óleo SingularityBlack disponible en el sitio web de NanoLab, actualizado por última vez el 12 de octubre de 2018. <http://www.nano-lab.com/optical-black-coatings.html>
- Cosentino, Antonio, "Infrared technical photography for art examination." *CHSOS-Cultural Heritage Science Open Source*, núm. 13 (2016): 1-6. <https://chsopensource.org/infrared-technical-photography-for-art-examination/>
- Davison, Laura. NanoBlck-Sqr # 1, *Frederik De Wilde*. (2015). <https://frederik-de-wilde.com/project/nanoblck-sqr1/>

- DB Mast y ZN Utegulov. "Functionalization of single-walled carbon nanotubes using isotropic plasma treatment: Resonant Raman spectroscopy study." *Journal of Applied Physics*. (2005). <https://doi.org/10.1063/1.1913801>
- De Crombrugge, Gueric y De Wilde, Frederik. "Artistic Approaches to Design and Manufacturing Techniques Dedicated to Space Applications." *Leonardo*. Núm. 52, (junio 2019): 236-239. https://doi.org/10.1162/leon_a_01751
- Deahl, Dani. "How Gesaffelstein's Coachella set tricked minds with the world's blackest black. The prince of darkness now performs against the darkest darkness." *The Verge* (24 de abril de 2019). <https://www.theverge.com/2019/4/24/18512555/gesaffelstein-coachella-performance-vantablack-monolith>
- Dogson, Neil A. "Engineering Art and Telling Tales: Anish Kapoor at the Royal Academy." *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 41 No. 4, (2017). <https://doi.org/10.1080/03080188.2016.1248672>
- Fowler, Caroline. "Technical Art History as Method." *The Art Bulletin, Taylor & Francis Online*. (diciembre de 2019). <https://doi.org/10.1080/00043079.2019.1602446>
- García Fernández, Sandra. *Las matemáticas del Fullerenos*. Cantabria: Universidad de Cantabria, 2015. <http://hdl.handle.net/10902/7126>
- H. Berrie, Barbara. "Rethinking the History of Artists' Pigments Through Chemical Analysis." *The Annual Review of Analytical Chemistry*, Vol. 5 (julio 2012): 441-459. <https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-062011-143039>
- Hohti, Paula. "Exploring historical blacks: the Burgundian black Collaboratory." *Refashioning. The Renaissance*, (febrero 2019). <https://refashioningrenaissance.eu/exploring-historical-blacks-the-burgundian-black-collaboratory/>
- Iijima, Sumio. "Helical microtubes of graphitic carbon." *Nature*, Núm. 354, (noviembre 1991), 56-58. <https://doi.org/10.1038/354056a0>
- Ingold, Tim. "Materials against materiality." *Archaeological Dialogues*, Vol. 14. (junio 2007): 1-16. <https://doi.org/10.1017/S1380203807002127>
- Jensen, Ben. Surrey NanoSystems, "Call Of Duty: Black Ops 4 Played In Total Blackout." (10 de octubre de 2018). <https://www.surreynanosystems.com/news-media/news/vantablack-call-of-duty-black-ops-total-blackout>
- John, Tara. "Anish Kapoor The British-Indian sculptor behind public installations like Chicago's Cloud Gate talks personal history, political art and the darkest material in the world." *Time* (12 de febrero de 2018). <https://es.scribd.com/article/370605977/Anish-Kapoor>
- Jones, Jonathan. "Can An Artist Ever Really Own a Color?" *The Guardian* (29 de febrero de 2016). <http://www.theguardian.com/artanddesign/shortcuts/2016/feb/29/anish-kapoor-vantablack-paint>
- Kahan, Asif. Surrey NanoSystems, "Call Of Duty: Black Ops 4 Played In Total Blackout." (10 de octubre de 2018). <https://www.surreynanosystems.com/news-media/news/vantablack-call-of-duty-black-ops-total-blackout>

- Kaleen Aftab. "Anish Kapoor: 'I Have Nothing To Say'." *The talks* (abril de 2015). <http://the-talks.com/interviews/anish-kapoor/>
- Kapoor Anish en entrevista con Marcello Dantas, en Anish Kapoor: *Ascension*, Centro Cultural Banco de (Rio de Janeiro 2006) <http://anishkapoor.com/178/in-conversation-with-marcello-dantas>
- Khan, Asif. "El edificio más negro del planeta está en Corea del Sur." *La Vanguardia* (09 de febrero de 2018). <https://www.lavanguardia.com/vida/20180209/44643762727/edificio-negro-planeta-corea-del-sur-pyeongchang-vantablack-juegos-olimpicos.html>
- Laclavetine, Kilian. C. Boust, L. Cliveta, A.S. Le Hôa, E. Laval, R. Mathisc, M. Menua, E. Paglianoa, X. Salmonb, V. Selbachc, C. Vrandc, S. Lepapeb. "Non-Invasive Study Of 16th Century Northern European Chiaroscuro Woodcuts: First Insights." *Microchemical Journal* 144 (2019): 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.003>
- Latour, Bruno. "What is Iconoclasm? Or is there a world beyond the image wars." *Iconoclasm, Beyond the Image-Wars in Science, Religion and Art*. (Francia: ZKM y MIT Press: 2002), 14-37. <http://www.bruno-latour.fr/node/64>
- Li, Xiangyu y Peoples, Joseph, "Ultrawhite BaSO₄ Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling." *American Chemical Society Applied Materials & Interfaces* (abril de 2021). <https://doi.org/10.1021/acsami.1c02368>
- Liébana Ortega, Alejandro. *Materiales nanoestructurados de carbono. Aplicaciones catalíticas*. España: Universidad de Jaén (2020). <https://hdl.handle.net/10953.1/12268>
- López López, Lluvia Itzel y Andrade Guel, Marlene Lariza. "Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas." *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, Vol. 43, núm. 3 (julio-septiembre 2012). Consultado el 16 de noviembre de 2018. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002
- Loredo Narcandi, José Carlos. "¿Sujetos o «actantes»? El constructivismo de Latour y la psicología constructivista." *Revista de Antropología Iberoamericana* Vol. 4, Madrid: Antropólogos Iberoamericanos, 2009. (enero-abril 2009): 113-136. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2800425>
- McGurk, Stuart. "Who's behind art's dark little secret, Vantablack?". *GQ* (agosto 2017). <https://www.gq-magazine.co.uk/article/vantablack-anish-kapoor>
- McLaughlin, Aimée. "Asif Khan unveils designs for £2 million UK Expo pavilion." *Design week* (31 de marzo de 2017). <https://www.designweek.co.uk/issues/27-march-2-april-2017/asif-khan-unveils-designs-2-million-uk-expo-pavilion/>
- Mosin, Oleg y Ignatov, Ignat. "The structure and composition of natural carbonaceous fullerene containing mineral shungite." *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*. Issue 3 Volumen 6, 2013. <http://www.rpublication.com/ijst/index.html>
- Paul-Choudhury. "None more black." *New Scientist* Vol. 225 (enero 2015). <https://www.newscientist.com/article/dn26832-back-to-black-the-enduring-quest-to-portray-nothing/>

- Pérez, M., E. Arroyo Lemus, J.L. Ruvalcaba Sil, A. Mitrani, M.A. Maynez-Rojas, O.G. de Lucio. "Technical non-invasive study of the novo-hispanic painting the Pentecost by Baltasar de Echave Orio by spectroscopic techniques and hyperspectral imaging: In quest for the painter's hand." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 250 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119225>
- Pentecost by Baltasar de Echave Orio by spectroscopic techniques andhyperspectral imaging: In quest for the painter's hand
- Pimentel, Juan. "Teorías de la luz y el color en la época de las luces. De Newton a Goethe." *Arbor* 191, no. 775 (2015). <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5003>
- Poddar, Sandhini. "The fiction of auto-generation." *ArtAsiaPacific* (septiembre/octubre 2008). <http://artasiapacific.com/Magazine/60/TheFictionOfAutoGenerationAnishKapoor>
- Rathi, Akshat y Foley, Katherine Ellen. "Hostage pt. 1." *Frederik De Wilde* (2015). <https://frederik-de-wilde.com/project/hostage-pt-1/>
- Rosler Martha y Bynum Walker Carolin. "Notes from the field: Materiality." *The Art Bulletin* (01 abril de 2014) 10-37. <https://doi.org/10.1080/00043079.2013.10786104>
- Rousteing, Oliver. "Black Armor." *Balmain* (15 de abril de 2019). <https://www.instagram.com/balmain/p/BwRDT9ggTii/>
- Rus, Cristian. "El archienemigo del Vantablack: esta es la pintura más blanca jamás creada". *Xataka* (abril 2021). <https://www.xataka.com/otros/archienemigo-vantablack-esta-pintura-blanca-jamas-creada>
- S. Ata, "Features and application of carbon nanotube and rubber composites", *International Polymer Science and Technology*, Trad. K. Halpin, Vol. 44, (agosto 2017), 1. <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=25ce5377-b170-4d7c-87fc-b2383842f781%40sdc-v-sessmgr03>
- s/a. "Gesaffelstein's Unique Vantablack Monolith Brought to Life With GLP." *LiveDesign* (febrero 2020). <https://www.livedesignonline.com/news/gesaffelstein-s-unique-vantablack-monolith-brought-to-life-glp>
- s/a. "Holed up: man falls into art installation of 8ft hole painted black." *The Guardian*, (agosto 2018). <https://www.theguardian.com/artanddesign/2018/aug/21/holed-up-man-falls-into-art-installation-of-8ft-hole-painted-black>
- s/a. "Hyundai Pavilion 2018." *Why Do Birds* (marzo 2018). <https://www.whydobirds.de/en/blog/hyundai-pavillon/>
- s/a. "Introduction to Vantablack Absorber Coatings Used In Automotive Stray Light Suppression." *Surrey NanoSystems* (mayo 2020). <https://www.surreynanosystems.com/resources>
- s/a. "Singularities." *The Physics Of The Universe*. https://www.physicsoftheuniverse.com/topics_blackholes_singularities.html
- s/a. "World's blackest material Vantablack now absorbs even more light." *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 95 (mayo, 2016).

<http://eds.a.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=b9a9e96f-2010-4c3e-bd82-77bf04aab22a%40sdc-v-sessmgr03>

s/a. *Levitation 29* (10 de septiembre de 2021). <https://www.levitation29.com/foundry>

s/a. "Vantablack Monolith." *Levitation 29* (10 de septiembre de 2021). <https://www.levitation29.com/gessafelstien-monolith>

s/a. "Los supermateriales: conoce el grafeno", Centro de Investigación en Química Aplicada, México: CONACYT. <https://centrosconacyt.mx/objeto/los-super-materiales-conoce-el-grafeno/>

s/a. "PRG and Levitation 29 Join Forces with Surrey NanoSystems to Bring Vantablack® Super-Black Coatings to the Stage and Screen." *Levitation 29* (10 de septiembre de 2021). <https://www.levitation29.com/vantablackdemo>

Sanchez, Kait. "Please keep Anish Kapoor away from the whitest white paint." *The Verge* (15 de abril de 2021). <https://www.theverge.com/2021/4/15/22386299/whitest-white-paint-anish-kapoor-vantablack>

Sucasas Fernández, Ángel Luis. "Game over en la oscuridad más absoluta." *El País* (11 de octubre de 2018). https://elpais.com/cultura/2018/10/11/1up/1539277708_315433.html

Stacey, James. "Introducing The H. Moser & Cie Venturer Vantablack Black Hands (Live Pics & Pricing)." *Hodinkee* (abril 2020) <https://www.hodinkee.com/articles/the-h-moser-and-cie-venturer-vantablack-black-hands-introducing>

Taft, Molly. "Researchers Created the Whitest White Paint Ever." *Gizmodo* (15 de abril de 2021). <https://earth.gizmodo.com/researchers-created-the-whitest-white-paint-ever-1846691495>

Urbon, Steven. "Singularity black is about as black as black can get " *South Coast Today*. (05 de noviembre de 2017). <https://www.southcoasttoday.com/news/20171105/singularity-black-is-about-as-black-as-black-can-get>

Winter, John y West FitzHugh. Elisabeth "Pigment based on Carbon", *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics Volume 4*, Barbara H. Berrie, Londres: Archetype Books, 2007.

Wright, W. D. "The Nature of Blackness in Art and Visual Perception." *Leonardo* 14, no. 3 (1981): 236-237. muse.jhu.edu/article/599729.

Tesis

Gómez Sepulveda, Alma Montserrat. "Los estudios por imagen aplicados al análisis material y adiagnostico en pintura de caballete. Caso de estudio: En la fuente de Toledo de Diego Rivera." Tesis de maestría, Universidad de Valencia, 2021.

Informe

García, Adriana, Elsa Arroyo, Eumelia Hernández, Kilian Laclavetine, Alejandro Mitrani, Edgar Casanova y José Luis Ruvalcaba Sil. Informe del estudio técnico y análisis material de la obra. La Torre de Babel. Ciudad de México: Inédito, 2021.

Videos

Activision. “Playing Call of Duty: Black Ops 4 Inside the “World's Darkest Room!”” Video de YouTube 2m 15s, 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=pT7a87NND4I>

BMW BLOG. “EXCLUSIVE VIDEO: BMW X6 Vantablack - Fake Or Real Color?” Video de YouTube, 4m 40 s, 31 de octubre de 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=pVgwnh4xMB0>

France 2 Canal+. “Stupéfiant! Vantablack”. Video Vimeo, 14’07”, 2016. <https://vimeo.com/187880508>

GALLERIA CONTINUA. “ANISH KAPOOR 'Descension' solo show”, Video de YouTube 11m 11s, 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=x7sx0zsUjP4&list=WL&index=6>

Hyundai Worldwide. “Hyundai Pavilion wins Cannes Lion” Video de YouTube, 1m 48s, 04 de julio de 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=I9v15HZPD5A>

IGN. “We Played CoD: Black Ops 4 in a Room That Absorbs 99.965% of Visible Light” Video de YouTube 3m 17s, 2019. https://www.youtube.com/watch?v=efPw2VSNz_s

La Ciencia más allá del aula. “Arte y ciencia. La materialidad del patrimonio cultural”, Video de YouTube 01h 07m 58s. https://www.youtube.com/watch?v=Cq_BARPO_AA

NanoLab, Inc. “How to use Singularity Black” Video de YouTube, 10m 04s, 21 de junio de 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=A5Ypt-P10zs&t=9s>

NanoLab, Inc. “Singularity Black with improved abrasion resistance” Video YouTube, 37s, 24 de mayo de 2017. https://www.youtube.com/watch?v=qFCGEtu_1mA&t=37s

Nicholas Girard. *An Absence Of Color*, Video Vimeo, 4m48s”, 2019. <https://vimeo.com/344829404>

Stern, Mathieu. “I Used The World’s Blackest Material As A Photography Backdrop”. Video YouTube, 2021, 5m20s. <https://www.youtube.com/watch?v=5y2NRtmpZbc>

TedTalk. “Frederik De Wilde: The blackest black in the world”, Video YouTube, 7m04s, 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=WX4ldIj1JNI&t=173s>

TEDxNaperville. “Painting with carbon nanotubes, the blackest black Paint” Video YouTube, 3m05s, 16 de diciembre de 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=-uCY2pVi2PI&list=WL&index=16>

The Art History Babes. “SINGULARITY BLACK | Blackest Little Black Dress | Nanolab” Video de YouTube, 11m55s, 28 de diciembre de 2018. <https://youtu.be/ZZVnJ5oQAPc?t=717>

Evolve Automotive. “The Ultimate Murdered out X6 - BMW x VANTABLACK” Video de YouTube 8m 12s, 30 de agosto de 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=83lQ9qDgprM&list=WL&index=34>

Podcast

Jason Chase «Singularity Black w Jason Chase & Dr. Colin Preston». *The Art History Babes*, marzo de 2018. Podcast, 1h39m30s. https://open.spotify.com/episode/6zzyD6tED4BquoT8FVHKvh?si=ZLHikob_QeayRcbKremUP_Q

Jason Chase y Taryn Johnson «The Blackest, Little-Black Dress With Jason Chase and Taryn Johnson». *The Art History Babes*, diciembre de 2018. Podcast, 1h 02m 16s.
<https://www.arthistorybabes.com/episode-108-the-blackest-little-black-dress-with-jason-chase-and-taryn-johnson>

Johnathan y Sarah «#025 Vantablack X6: The world's blackest car | BMW Podcast». *The changing lanes*, agosto de 2020. Podcast, 8m 55s.
https://open.spotify.com/episode/2MUekYbA15udciElyMiyXd?si=3F1TEVWzQeyRrjDyUcG-CA&dl_branch=1