



Universidad Nacional Autónoma de México

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
Campo de conocimiento Tecnologías

LUMINISCENCIA EN PASTAS ARQUITECTÓNICAS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:

Arq. Gerónimo Segura González

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. en Arq. Maribel Jaimes Torres

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

Dr. Alejandro Solano Vega

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

M. en Arq. Ernesto Ruiz Ocampo

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, UNAM

Ciudad universitaria, Ciudad de México. Septiembre de 2020



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.



LUMINISCENCIA EN PASTAS ARQUITECTÓNICAS

“Influencia de los pigmentos
fotoluminiscentes en las pastas
arquitectónicas”

T E S I S

Que postula:
Arq. Gerónimo Segura González

Campo de conocimiento Tecnologías

Módulo III SISTEMAS Y MATERIALES

Tutora de la investigación:
Dra. en Arq. Maribel Jaimes Torres

Septiembre de 2020

Agradecimientos:



Universidad Nacional Autónoma de México

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Tutora de Investigación:

Dra. en Arq. Maribel Jaimes Torres

Sinodales:

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

Dr. Alejandro Solano Vega

M. en Arq. Ernesto Ruiz Ocampo

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez



Agradecimientos:



Instituto Eduardo Torroja

Asesora durante estancia de Investigación:

Dra. en Ciencias. Quim. María Teresa Blanco Varela

GRUPO QUÍMICA DEL CEMENTO

Dra. en Ciencias Físicas: Gloria Pérez Álvarez-Quñones
GRUPO MATERIALES ECO-EFICIENTES DE CONSTRUCCIÓN

Dra. Ciencias Ambientales: Eva Jiménez Relinque
LABORATORIO DE FLUORESCENCIA

Técnicos Especialistas
LABORATORIO DE PRUEBAS MECÁNICAS



Aportaciones Especiales:

M. en Arq. Mónica Aguilera Portillo

M. en Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Dedicatorias:

Sra. Lucila González Ortiz

Sr. Roberto Segura García

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
2. OBJETIVOS.....	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. HIPÓTESIS.....	14
5. VARIABLES.....	15
6. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO I.....	17
1.1 FACHADAS ARQUITECTÓNICAS.....	19
• 1.1.1 Fachadas pétreas	21
• 1.1.2 Fachadas de madera	22
• 1.1.3 Fachadas de vidrio.....	22
• 1.1.4 Fachadas metálicas	24
• 1.1.5 Fachadas poliméricas	25
• 1.1.6 Fachadas de concreto.....	26
• 1.1.7 Nuevos materiales utilizados en fachadas.....	26
1.2 CONCRETOS ARQUITECTÓNICOS UTILIZADOS EN FACHADAS	28
• 1.2.1 Concreto tradicional	29
• 1.2.2 Concreto translúcido	30
• 1.2.3 Concreto Polimérico.....	31
• 1.2.4 Concreto luminiscente.....	32
• 1.2.5 Concreto GRC.....	33
• 1.2.6 Concreto biológico	34
1.3 RECUBRIMIENTOS ARQUITECTÓNICOS.....	35
1.4 COMPONENTES DE LAS PASTAS Y MORTEROS ARQUITECTÓNICOS.....	36
• 1.4.1 Cemento.....	36
• 1.4.2 Agregados.....	38
• 1.4.3 Agua efectiva en la mezcla	41
• 1.4.4 Aditivos, clasificación y tipos.....	42
1.5. LUMINISCENCIA	43
• 1.5.1 Minerales luminiscentes.....	45
• 1.5.2 Pigmentos fotoluminiscentes	46
CAPITULO II.....	47
2.1. MATERIAS PRIMAS	49
2.2. TÉCNICAS INSTRUMENTALES EMPLEADAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	49
• 2.2.1. Difracción de Rayos X (DRX).....	50
• 2.2.2. Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	51
• 2.2.3. Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Termogravimétrico (TG).....	52
• 2.2.4 Calorimetría.....	53
• 2.2.5. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	54
• 2.2.6. Espectroscopia Raman.....	55
2.3. ELABORACIÓN DE PROBETAS Y ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS EN PASTAS.....	56
• PASO 1. Diseño de mezclas.....	56
• PASO 2. Dosificaciones cemento-agua y pigmento fotoluminiscente	57
• PASO 3. Distribución del compuesto	57
• PASO 4. Consistencia de la mezcla	58
• PASO 5. Elaboración de probetas	59
• PASO 6. Determinación de los tiempos de fraguado	59
• PASO 7.- Determinación de resistencias mecánicas	60
• PASO 8. Resistencia a la flexión	60
• PASO 9. Resistencia a la compresión	61

• PASO 10. Propiedades luminiscentes	61
• PASO 11. Absorción espectroscópica	62
• PASO 12. Fosforescencia	62
CAPITULO III	63
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTOS	65
• DRX de los cementos BL I 52.5 y BL II 42.5 R	65
• FTIR de los cementos BL I 52.5 R y BL II 42.5 R	66
• Calorimetría de conducción	68
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS FOTOLUMINISCENTES	68
• 3.2.1 Pigmento fotoluminiscente ZnS	69
• DRX Pigmento fotoluminiscente ZnS	69
• SEM pigmento Fotoluminiscente ZnS	70
• MICRO-RAMAN del pigmento fotoluminiscente ZnS	71
• Absorción y Emisión	71
• 3.2.2 Pigmentos fotoluminiscentes de SrAl ₂ O ₄ (YG-1012, YG-1018 Y YG-1300)	72
• DRX de los pigmentos fotoluminiscentes de SrAl ₂ O ₄ : YG-1012, YG-1018 e YG-1300	72
• ATD del pigmento fotoluminiscente YG-1012	73
• ATD del pigmento fotoluminiscente YG-1018	74
• FTIR del pigmento YG-1012 después del ATD	74
• Micro Raman de los pigmentos YG-1012, YG-1018 e YG-1300	75
• Morfología de YG-1012, YG-1018 e YG-1300	76
• SEM del pigmento fotoluminiscente YG-1012	77
• SEM pigmento fotoluminiscente YG-1018	78
• SEM pigmento fotoluminiscente YG-1300	79
• Calorimetría del pigmento fotoluminiscente YG-1300	81
• DRX y FITR de los residuos derivados de la calorimetría del SrAl ₂ O ₄	82
• ATD del residuo blanco derivado de la calorimetría del SrAl ₂ O ₄	83
• ATD del residuo amarillo derivado de la calorimetría del SrAl ₂ O ₄	83
• Fosforescencia	84
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PASTAS ZNS	84
• 3.3.1 FTIR de la pasta de ZnS	84
• 3.3.2 SEM de la Pasta ZnS	85
• 3.3.3 Fosforescencia	88
• Absorción y emisión en las pastas con ZnS	88
• ABSORCIÓN	89
• FOSFORESCENCIA	90
• 3.4. Resistencias Mecánicas:	91
• Resultados de consistencia	91
• Resistencia a la compresión	92
• Resistencia a la flexotracción	93
CONCLUSIONES	95
1. CONCLUSIONES	96
2. ANEXOS	98
3. GLOSARIO	109
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
5. LISTADO DE IMÁGENES	113
6. LISTADO DE TABLAS	114
7. LISTADO DE DIAGRAMAS	114

Resumen

La luminiscencia es un tema de estudio de diferentes disciplinas de la ciencia y tecnología en distintos países, donde se busca lograr el entendimiento de este fenómeno natural. Es tan común que se encuentra desde las profundidades de los océanos hasta lo más alto de la atmosfera, y por ello el hombre, en su afán de imitar a la naturaleza, ha logrado entender la luminiscencia y producirla, por lo que tiene ya significativas aplicaciones en productos de uso cotidiano. Sin embargo, la luminiscencia no se ha implementado en el uso de recubrimientos arquitectónicos que puedan ser utilizados en fachadas arquitectónicas

Los objetivos de esta investigación son generar y desarrollar una pasta con propiedades fotoluminiscentes para el recubrimiento de fachadas arquitectónicas y caracterizar los materiales que la integran a través de un proceso experimental basado en diferentes tipos de pruebas físicas, químicas y mecánicas.

Con la utilización de pigmentos fotoluminiscentes como adición en pastas, se obtendrá un nuevo material, el cual se podrá utilizar en recubrimientos de fachadas arquitectónicas. Dicho recubrimiento será capaz de generar un efecto fotoluminiscente conservando las características físicas y mecánicas propias de las pastas.

Se desarrolló una pasta con propiedades luminiscentes utilizando pigmentos derivados del Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4) y del Sulfuro de Zinc (ZnS), los cuales se adicionaron a la pasta fresca. A través de las pruebas de laboratorio, se comprobó que el uso de estos pigmentos en las pastas no modifica las propiedades mecánicas del concreto, y se pudo garantizar la durabilidad de las pastas con estos pigmentos sin perder o afectar sus propiedades.

Se estudió la estabilidad de dichos pigmentos en un medio cementante, el cual es esencial para garantizar las propiedades luminiscentes en las pastas, mismas que pueden ser utilizadas en Prefabricados para fachadas, Detalles arquitectónicos y Señalamientos de seguridad.

Abstract

The luminescence is a field of study where multiple disciplines, belonging to science and technology, are involved. Its purpose is understanding this natural phenomenon, being quite common as to find from the depths of the oceans to the highest parts of the Earth atmosphere. For this reason, the human being, in his eagerness to imitate nature, has understood luminescence and managed to reproduce it, giving it significant applications in daily-use products. However, luminescence has not been implemented in the field of architectural coatings, which could be used on facades.

The main objectives of this investigation are: to generate and develop a paste with photoluminescent properties for the coating of architectural facades and characterize the materials that contribute to the paste's composition with the help of an experimental work that involves different physical, chemical and mechanical tests.

With the use of photoluminescent pigments as additives in pastes, a new material will be obtained which could be used as coating in architectural facades. Said coating will be able to generate a photoluminescent effect while retaining the characteristic physical and mechanical properties of a paste.

In order to develop a paste with photoluminescent properties, some pigments have to be added. In this case, pigments made with SrAl_2O_4 and ZnS were added to fresh paste. The use of these pigments modifies the properties previously mentioned. Those modifications need to be identified and measured with the help of experimental tests performed in specialized laboratories so we can reassure the durability of the pastes with pigments without losing or affecting significantly the mechanical properties.

The study of the stability of said pigments embedded on a cementing environment is essential for confirming the luminescent properties in the final product. This final product can be used in prefabricated concrete panels, architectural details and security signs.

LUMINISCENCIA EN PASTAS ARQUITECTÓNICAS

Para entender el término de "Luminiscencia en pastas arquitectónicas" se tendría que separar la definición de luminiscencia y pastas arquitectónicas, donde luminiscencia se atribuye al fenómeno de la generación de la luz, *"de hecho cualquier emisión de luz de una sustancia por cualquier razón, con excepción de la radicación de un cuerpo negro, se puede llamar luminiscencia"*.¹ La segunda definición utilizada en esta investigación es la de pastas arquitectónicas, las cual se atribuye directamente a la mezcla de agua – cemento y en este caso se le adicionaran materiales los cuales modifiquen las propiedades y características de la mezcla.

Las pastas arquitectónicas se utilizan en los recubrimientos para fachadas, estos se fabrican con diferentes materiales, colores y texturas. Para ampliar los materiales disponibles para la construcción de recubrimientos para fachadas arquitectónicas, se pretende obtener una pasta con adiciones de pigmentos fotoluminiscentes derivados del Aluminato de Estroncio y del Sulfuro de Zinc, donde dicha pasta tendrá la particularidad de ser luminiscente bajo ciertas condiciones.

Para obtener un recubrimiento luminiscente se diseñará una mezcla para generar una pasta con agregados fotoluminiscentes, se caracterizarán los materiales y se analizarán las afectaciones físicas y mecánicas para garantizar que se cumplan con los requerimientos estéticos y de seguridad para que pueda ser utilizado como un recubrimiento en fachadas. La generación de una pasta con agregados fotoluminiscentes permitirá a las nuevas generaciones de constructores que conozcan y puedan aprovechar las oportunidades, tendencias e innovaciones que se están desarrollando en los recubrimientos arquitectónicos.

¹Shackelford, J. F. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. Madrid, Esp.: Pearson Educación, S. A.

1. Definición del problema

Al utilizar elementos prefabricados de concreto en fachadas, los diseñadores tienen diferentes opciones para elegir el acabado que se adecue a sus necesidades, deberán de considerar las características estéticas y las especificaciones mecánicas que requieren y comunicárselas a los fabricantes, que, en la mayoría de los casos, realizaran la cantidad de piezas solicitadas. Por lo tanto, cuando se requiere de algún diseño especial de acabados, se deberá de recurrir a trabajos previos y se procederá a la realización de los elementos con los recubrimientos solicitados. Sin embargo, si el proyecto arquitectónico requiere utilizar un acabado luminiscente y al no haber un recubrimiento para prefabricados con adiciones fotoluminiscentes, se hace evidente la necesidad de contar con uno para poder ampliar la disponibilidad de materiales. Los procesos constructivos y los materiales utilizados en fachadas van aumentando, Esto no es nuevo, *“Si bien hasta finales del siglo XIX los sistemas de cerramiento de los edificios no variaron substancialmente, uno de los principales cambios en la arquitectura moderna surgió a raíz de la incorporación de nuevos materiales más moldeables y ligeros, como el aluminio y el vidrio, algo que ha permitido la expansión de las llamadas “fachadas ligeras” o “muros cortina”. Estas fachadas funcionan como una piel que recubre el edificio, ofreciendo mucha más libertad a arquitectos y diseñadores para dotar a la estructura de una personalidad propia y única”*.² En esta investigación con la adición de pigmentos fotoluminiscentes en un medio cementante se busca continuar con la tendencia incorporando nuevos materiales para ser utilizados como recubrimientos arquitectónicos.

Las investigaciones en el campo de la física y química del concreto han permitido conocer lo que sucede a nivel microscópico y macroscópico con los materiales y adicionados en el concreto. Esto ha dado la posibilidad de aprovechar al máximo todas sus propiedades. Para crear una pasta con adiciones fotoluminiscentes se necesitará conocer las teorías expuestas para caracterizar los materiales y aplicarlos en recubrimientos para fachadas.

Al término de la investigación se tendrá una pasta con adiciones fotoluminiscentes que podrá usarse en fachadas y que representará un nuevo material en la industria de la construcción. Se tiene contemplado que la nueva pasta se utilice en prefabricados de concreto, recubrimientos para fachadas verticales, diferentes usos en seguridad vial, señalamientos de emergencia y parques, aun pudiendo tener un amplio campo de aplicación.

² Muñoz Tamara, J. (2010). La piel de la nueva arquitectura esta hecha de valores sostenibles. *Nueva construccion* , 24.

2. Objetivos

Objetivo general:

- Desarrollar y caracterizar una pasta con agregados fotoluminiscentes la cual pueda ser utilizada para el recubrimiento de fachadas arquitectónicas, identificar los materiales que la integran y realizar a través de un proceso experimental pruebas físicas, químicas y mecánicas para demostrar la viabilidad, calidad y seguridad del material al momento de ser utilizado.

Objetivos Específicos:

- Demostrar mediante pruebas físicas, químicas y mecánicas la influencia del uso del Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4) y Sulfuro de Zinc (ZnS) como agregados fotoluminiscentes en la fabricación de pastas arquitectónicas.
- Realizar la caracterización de los agregados fotoluminiscentes y analizar las afectaciones de su utilización en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las pastas arquitectónicas.

3. Justificación

En la industria de la construcción no se cuenta con una pasta o un mortero que tenga la particularidad de emitir luz, surgiendo así la necesidad de crear un recubrimiento arquitectónico capaz de poder emitir luminiscencia. Actualmente se conocen las fuentes y materiales luminiscentes, pero se desconoce la compatibilidad con las pastas arquitectónicas con base de cemento portland, ordinario o compuesto, por lo que, para lograr establecer esta compatibilidad, se necesitará identificar qué pigmentos cuentan con esta característica y el proceso adecuado que se debe utilizar para obtener como producto final un recubrimiento fotoluminiscente.

El concreto es el material de construcción más usado del mundo, tan solo después del agua. La utilización y la forma de como se conoce a dicho material no se ha modificado en mucho tiempo. Uno de los principales elementos que lo conforman es el cemento Portland, que *"es un material inorgánico finamente molido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece en virtud de un conjunto de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva sus resistencia y estabilidad e incluso bajo el agua"*.³ Es sabido que el uso de aditivos específicos mejoran sus capacidades mecánicas, sin embargo, los acabados estéticos sigue siendo los mismos en los recubrimientos de concreto. La apariencia cambia por las texturas y colores, pero una pasta con adiciones fotoluminiscentes para recubrimientos aumentaría las opciones que los diseñadores tienen disponibles al momento de realizar sus propuestas para fachadas arquitectónicas, detalles arquitectónicos y señalamientos de seguridad.

El proceso que se debe seguir para obtener una pasta luminiscente contempla una etapa de investigación y posteriormente pruebas en el cual bajo las Normas vigentes se realizaran los pasos establecidos para poder observar, comprobar y garantizar los resultados, para que la pasta pueda utilizarse en espacios donde actualmente se utiliza energía eléctrica para iluminar fachadas, como es el caso de hoteles, casinos, parques y espacios públicos donde el impacto lumínico no sea una condicionante de diseño.

Es importante desarrollar una pasta Arquitectónica con propiedades luminiscentes porque a pesar de no contar con ella, es necesario analizar la influencia que los pigmentos fotoluminiscentes en un medio cementante para poder desarrollar productos prefabricados que puedan utilizarse en sistemas de protección y seguridad vehicular ampliando con ello la posibilidad de crear nuevos usos, lo cual aumentaría la investigación para mejorar y optimizar el uso de dichos pigmentos en el concreto.

³ P. Gu. J.J. B. (1997). A conduction calorimetric study of early hydration of ordinary Portland cement/high alumina cement pastes. Sci: J. Mater. Pág. 3875-3881

4. Hipótesis

En una pasta arquitectónica, es importante garantizar las resistencias mecánicas y físicas sin importar los materiales con los cuales se fabriquen, en el caso de los pigmentos fotoluminiscentes comerciales que tienen como base el Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4) y el Sulfuro de Zinc (ZnS), si se analizan y se utilizan como agregados en pastas, se obtendrá un nuevo material, el cual se podrá utilizar en recubrimientos arquitectónicos. Este material podrá ser utilizado en fachadas arquitectónicas; donde dicho recubrimiento será capaz de generar un efecto fotoluminiscente conservando las características físicas y mecánicas propias de las pastas.

Para que la realización del recubrimiento luminiscente sea posible, se propone el diseño de una mezcla en la cual se incorpore en las pastas el uso de pigmentos fotoluminiscentes, se tomara como Marco Normativo lo expuesto en las Normas ASTM C979/C979M -10, que incluye lo referente al uso de los pigmentos para la coloración integral del concreto, la UNE-EN 196-1: 2005 la cual es referente a los Métodos de ensayos de cementos, específicamente en la Parte 1: Determinación de resistencias, la NOM N-CMT-2-02-001/02: Calidad del Cemento Portland, La ANSI/ASTM C348-77 y la ANSI/ASTM C349-77 referentes a las resistencia de flexión y compresión de los cementos.

El resultado al combinar los pigmentos fotoluminiscentes con el comento podría ser que, bajo ciertas condiciones de radiación, se generará un efecto de luminiscencia, permitiendo con ello la utilización de este nuevo recubrimiento en fachadas arquitectónicas.

5. Variables

Para despejar las variables y cumplir con los objetivos planteados es necesario utilizar técnicas de caracterización para identificar la composición de los que materiales a utilizarse, y realizar diferentes dosificaciones para determinar las variaciones en cuanto a la proporción que debe de usarse. Así mismo, es importante determinar bajo qué condiciones se podrá generar el efecto de luminiscencia en las pastas, como se controlará y optimizará su funcionamiento.

Una de las primeras variables que se tiene es el tipo de cemento que se utilizará. Para este caso de estudio se tienen dos cementos disponibles: el BL I 52.5 R y el BL II 42.5 R (Cementos Lafarge), los cuales contienen diferentes resistencias mecánicas y composición química. Las pruebas de caracterización determinaron cual es el idóneo a utilizarse. Una variable más es el agregado fotoluminiscente que se usara en el cemento, y de igual manera se tienen diferentes pigmentos: uno derivado del Sulfuro de Zinc (ZnS) y tres derivados del Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4).

En el caso de los pigmentos fotoluminiscentes, se tiene que considerar los elementos dopantes presentes y las afectaciones de estos elementos en los componentes químicos del cemento. Se tendrá que despejar las variables en relación a las características físicas, que varían de acuerdo a la pureza de los pigmentos. Por tal motivo, el determinar cuál se tiene que utilizar es sin duda una de las variables de mayor importancia para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

Se dosificará con diferentes porcentajes de pigmento (5, 10 y 15 %), esto con la finalidad de determinar la cantidad idónea de pigmento en el cemento. Otras variables que se tienen son los tiempos de fraguado y las resistencias mecánicas obtenidas, de las cuales se desprenderá gran cantidad de variables independientes y dependientes, cambiando de acuerdo al tipo de prueba que se realice en las pastas.

6. Preguntas de investigación

En el planteamiento de este trabajo surgen las siguientes preguntas como punto de partida de la investigación:

- 1.- ¿Qué ventajas nos proporcionarán las pastas con pigmentos luminiscentes con respecto a las actuales que son con cementos hidráulicos?
- 2.- ¿Qué efectos ocasionan en las variaciones de las características físicas (temperatura, humedad, luminosidad) y mecánicas (compresión, resistencia, fatiga) el utilizar un pigmento luminiscente en un medio cementante?
- 3.- ¿Qué efectos pueden ocasionar en el pigmento fotoluminiscente, referente a la humedad de los materiales como los agregados y el cemento?
- 4.- ¿Qué tipo de aditivos y/o cargas se podrán incluir con el pigmento fotoluminiscente y qué comportamientos físicos y mecánicos aportarán?
- 5.- ¿Cómo se verán afectadas las características de la pasta por la inclusión de material luminiscente, fibras y cargas?
- 6.- ¿Cuánto tiempo se podrá lograr el efecto de luminiscencia en una pasta con pigmento fotoluminiscente?
- 7.- ¿En qué porcentaje se podrá aumentar en una pasta luminiscente su resistencia a la compresión, tensión, fatiga, elasticidad con respecto a una pasta tradicional?
- 8.- ¿Qué efectos ocasiona el medio ambiente a los materiales fotoluminiscentes?
- 9.- ¿Qué efectos ocasiona los rayos ultravioletas a los materiales luminiscentes?
- 10.- ¿Qué tanto aumentarán o disminuirán los tiempos de elaboración de pastas con pigmentos fotoluminiscentes con respecto a los tradicionales?
- 11.- ¿Qué tan costosa será la elaboración de pastas con pigmentos fotoluminiscentes con respecto a los actuales que son con cementos hidráulicos?



CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

Capítulo I

ESTADO DEL ARTE

En este Capítulo se cita la información que precede a la investigación, está enfocado a introducirnos a las pastas arquitectónicas, se analiza el contexto tanto técnico como histórico de las fachadas, los concretos arquitectónicos, las propiedades de las pastas la luminiscencia y los pigmentos fotoluminiscentes con el fin de establecer las bases para desarrollar y caracterizar una pasta con adición de pigmentos fotoluminiscentes.

1.1 Fachadas arquitectónicas

Para identificar la aplicación que puede tener la pasta con adiciones fotoluminiscentes se entiende y se le llama por fachada "a cualquier paramento exterior de una edificación. Al utilizar este término, es frecuente que se aluda a la fachada frontal, que suele ser la principal. De hablarse de una de las otras suele especificarse si es una de las fachadas laterales o la trasera".⁴ Cabe señalar que existen diferentes materiales para su construcción.

Se pueden clasificar en 3 tipos de fachada según su composición material:

Fachada in situ: Son cerramientos constituidos por elementos pequeños (ladrillos, bloques de concreto, concreto armado, etcétera). Se colocan en obra sin necesidad de una modulación previa.

Fachadas Mixtas: Aquellas que, aunque basándose en el tipo de cerramiento anterior, incorporan elementos prefabricados.

Fachadas prefabricadas: Son elementos prefabricados, que llevan incluidas las partes o componentes para la sujeción del panel en la obra, el acabado al exterior, y que solamente sufren el proceso de montaje racionalizado y mecanizado.



Ilustración 1 Extraída con fines didácticos: Reforma 222-2007 - Arquitecto: Teodoro González de León- Ciudad de México, México- Google Maps, 26/08/2017-https://www.google.com.mx/maps/@19.4284836,-99.1607398,3a,75y,267.81h120.11t/data=!3m6!1e1!3m4!1sw0uFTC9_7BQid

Evolución de las fachadas arquitectónicas

La fachada, al ser el elemento que se percibe desde el exterior del edificio, siempre ha sido la parte que mayor y especial cuidado tiene en el diseño arquitectónico. En muchas ocasiones se cuidan tanto los materiales como la forma, porque es bien sabido que, en un edificio, "la fachada es prácticamente el único recurso disponible para expresar o caracterizar la construcción".⁵ A lo largo de la historia las materias primas con las cuales se construyen fachadas han estado en constante cambio, algunas han dejado de usarse de forma masiva, y otras no pasan de moda. Sin embargo, con las nuevas necesidades de habitabilidad humana se han tenido que incorporar nuevos elementos, como las medidas de seguridad, o simplemente fueron sustituidos por elementos con avances tecnológicos, como los contrafuertes de las construcciones góticas.

⁴ Revista educativa ARQHYS.com, equipo de redacción profesional. (2012, 12). Definición de Fachada. Terminadas. Consulta realizada el día 25/09/2017, desde el sitio web: <http://www.arqhys.com/articulos/fachada-arquitectura.html>.

⁵ Abeldía, C. (17 de 08 de 2010). ArtículoTV. Recuperado el 14 de 03 de 2017, de http://www.articulo.tv/Fachadas-casas_4077

Materiales en las fachadas arquitectónicas

Las fachadas arquitectónicas, al igual que los materiales que las componen, además de la función estética, deben satisfacer otros requisitos: "deben ser impermeables al agua, y aislar el interior térmica y acústicamente".⁶

La certificación internacional LEED cuenta con apartado de Materiales y Recursos, que clasifica y describe las características de los materiales en los siguientes grupos:

- **Materiales sostenibles:** Aquellos que tengan bajo impacto durante el proceso de producción.
- **Materiales locales:** Se consideran materiales locales los extraídos y procesados dentro de un radio de 500 millas del sitio de la construcción.
- **Materiales renovables:** Son producidos con materias primas cultivables y/o de crianza animal, como madera, fibras vegetales, cueros y fibras animales.
- **Reciclaje de materiales:** Con excepción de algunos productos compuestos (elementos de diversos materiales reforzados con fibra de vidrio, caucho con fibras de acero, etc.), casi todos los materiales son reciclables.
- **Materiales reutilizables:** La reutilización de materiales implica tomar elementos de una construcción existente y utilizarlos nuevamente en otra construcción.
- **Materiales durables:** La resistencia a la abrasión, al agua, al viento y a la radiación solar, entre otros, son características que hacen que los materiales sean durables.
- **Materiales de fácil mantenimiento:** Este mantenimiento consiste básicamente en aseo, reparaciones menores y reposición de elementos que por el uso continuo y las condiciones climáticas presenten deterioro.

Las clasificaciones de las fachadas de acuerdo a sus materiales de construcción son:



Diagrama 1- Realizado con fines didácticos: Tipos de fachadas arquitectónicas, Imagen Fachadas Pétreas: El patio del Museo del Louvre por la noche. (París, Francia), Museo de Louvre, París, Francia. Extraída con fines didácticos de <https://datainfox.com/2016/02/el-louvre-es-el-museo-mas-seguido-en-facebook/> 09/08/2018. Imagen Fachadas de Madera: Museo de la Cultura, Hyogo, Japón, Arq. Tadao Ando, 1994. Extraída con fines didácticos de <http://arquitecturaespectacular.blogspot.com/2010/03/museo-de-la-madera-japon.html>, 09/08/2018 Imagen Fachadas de Concreto: Museo Guggenheim, Nueva York, EUA. Frank Lloyd Wright, 1959. Extraída con fines didácticos de <http://www.peruarki.com/arquitectura-para-vivir-el-guggenheim-muestra-la-humanidad-de-frank-lloyd-wright/> 09/08/2018 Imagen Fachadas de Vidrio: Museo de los Derechos Humanos, Winnipeg, Canadá. Antoine Predock 2014. Extraída con fines didácticos de <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/14975.html#.XBfusFxiUk> 09/08/2018. Imagen Fachadas Metálicas: Museo Guggenheim, Bilbao, España. Frank O. Gehry, 1997. Extraída con fines didácticos de <https://www.posta.com.mx/museos/el-guggenheim-bilbao-de-los-mejores-museos-del-mundo> 09/08/2018 Imagen Fachadas Poliméricas: Centro Acuático Nacional, Pekín, China. PTW Architects australiana, 2008. Extraída con fines didácticos de <http://newsteccl.blogspot.com/2012/01/el-cubo-olimpico-de-pekín-ha-sido.html> 09/08/2018

⁶ Abeldía, C. (17 de 08 de 2010). *ArtículoTV*. Recuperado el 14 de 03 de 2017, de http://www.articulo.tv/Fachadas-casas_4077

- **1.1.1 Fachadas pétreas**

Las fachadas pétreas se han utilizado desde principios del sedentarismo. “Las características de las piedras naturales que las convierten en uno de los mejores materiales de revestimiento para fachadas y cubiertas es su versatilidad, durabilidad y sostenibilidad”.⁷ Son elementos disponibles en abundancia y fueron por excelencia el material de construcción de siglos pasados. Sin embargo, han habido cambios que mejoraron las técnicas en las que se extrae y utiliza a lo largo de la historia, si bien se ha comprobado que “las principales propiedades de la piedra natural en fachadas que se pueden considerar son: la resistencia a la compresión y a la tracción, la inalterabilidad ante el fuego, la compacidad y la dureza”.⁸



Ilustración 2 - Imagen Fachadas Pétreas: El patio del Museo del Louvre por la noche. (París, Francia), Museo de Louvre, París, Francia. Extraída con fines didácticos de <https://datainfox.com/2016/02/el-louvre-es-el-museo-mas-seguido-en-facebook/09/08/2018>.

Algunos de los tipos de piedra para fachadas presentan características únicas que permiten su máximo aprovechamiento. El peso específico varía entre 2 y 3 Tm/m³ y en algunos casos puede llegar hasta 3.5 Tm/m³. En la tabla 1 se presentan las más utilizadas en una construcción.

Piedras naturales más utilizadas en la construcción:		
Nombre	Descripción	Tm/m ³
Granito	Es un tipo de piedra fuerte y duradera, de la cual cabe destacar su aspecto, densidad y durabilidad, así como su fácil combinación con otros materiales.	2.55 a 3.0 ton/m ³
Pizarra	Esta roca metamórfica es de color oscuro, fuerte y resistente a los cambios de temperatura. Su variedad de tonos y superficies permite múltiples opciones de diseño. Se trata de uno de los materiales más utilizados actualmente en las fachas de arquitectura moderna.	2.6 a 3.5 ton/m ³
Caliza	Compuesta en su mayor parte por carbonato cálcico. Se ha utilizado en la construcción durante mucho tiempo como muro portante. Es extremadamente homogénea y muy utilizada en revestimientos de fachadas exteriores y suelos.	1.5 a 3.0 ton/m ³
Arenisca	Color variable, está compuesta por arena de tamaño mineral o de roca, que pueden ser granos de cuarzo y feldespato. Se ha usado en suelos por su resistencia y variedad de colores. Además, se ha usado en fachadas.	1.9 a 2.7 ton/m ³
Mármol	Se trata de un tipo de piedra caliza metamórfica de estructura cristalina. Destaca su aspecto con depósitos minerales venosos y su estética. Se usa en recubrimiento de paredes aunque no como fachada, puesto que las lluvias y los cambios de temperatura pueden afectar su durabilidad.	2.5 a 2.9 ton/m ³

Tabla 1- Piedras naturales más utilizadas en la construcción

⁷ Pacheco, A. y M. (10 de 10 de 2010). *Empresa constructora, de reformas y mantenimiento de edificios*. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de <http://www.pachecoam.com/site1/revestimiento-piedra-fachadas/>

⁸ Domínguez Kestler, O. A. (2003). *Materiales, requerimientos de diseño y construcción para locales en centros comerciales modernos*. Cd. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- **1.1.2 Fachadas de madera**

La madera, sin duda alguna, ha sido uno de los materiales que se utiliza hoy en día para la fabricación de fachadas. Es un material noble por naturaleza, es cómoda y elástica, mala conductora del frío y calor, su composición favorece a que sea un material aislante del ruido. Dentro de sus desventajas esta su fácil combustibilidad y poca duración comparada con otros materiales.

Las fachadas de madera forman parte de la arquitectura tradicional de Países como China y Japón. Sin embargo, debido a que es un material que en algunas regiones existe en abundancia, se ha permitido su uso y explotación a tal grado que es uno de los materiales que más se utilizan.



Ilustración 3 - Imagen Fachadas de Madera: Museo de la Cultura, Hyogo, Japón, Arq. Tadao Ando, 1994. Extraída con fines didácticos de <http://arquitecturaespectacular.blogspot.com/2010/03/museo-de-la-madera-japon.html>, 09/08/2018

Las fachadas de madera son tratadas para garantizar que contarán con las resistencias buscadas. Dicho tratamiento consiste principalmente en un secado controlado que permita la pérdida del agua y el uso de aditivos para prolongar su durabilidad y resistencia a la deformación.

- **1.1.3 Fachadas de vidrio**

Las fachadas de vidrio son muy utilizadas debido a la elegancia, luminosidad y que son estéticamente agradables en las edificaciones. El vidrio es un material duro, frágil y transparente que ordinariamente se obtiene por fusión de arena de sílice (SiO_2), carbonato sódico (Na_2CO_3) y roca caliza (CaCO_3) a $1500\text{ }^\circ\text{C}$. "El sustantivo "cristal" es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto debido a que el vidrio es un sólido amorfo y no una estructura ordenada a nivel atómico como si lo son los cristales".⁹ Se puede fabricar en varios colores, a temperatura ambiente es un buen aislante, no es inflamable, y es prácticamente insoluble en agua y solventes.

⁹ Vitralva. (2010). *Vitralva Cristalería*. Recuperado el 07 de 10 de 2017, de <http://www.vitralba.com/vidrio-plano.php>

La función inicial del vidrio en la construcción era la de proteger del exterior y dar iluminación natural al interior de los espacios. Actualmente este material ha evolucionado con el paso del tiempo y actualmente ofrece otras características, tales como aislamiento acústico, térmico, control de radiación solar y control de ahorro energético.



Ilustración 4 - Imagen Fachadas de Vidrio: Museo de los Derechos Humanos, Winnipeg, Canadá. Antoine Predock 2014. Extraída con fines didácticos de <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/14975.html#.XBfusFxKiUk> 09/08/2018.

Existen diferentes sistemas constructivos de acristalamiento. Entre los más comunes están:

Sistema de Acristalamiento	
Nombre	Descripción
Muro cortina	Sistema aplicado a edificios de pequeña a mediana envergadura, instalado frente a losas.
Cinta ventana	Sistema, instalado entre losas. Permite un rápido cierre de recintos, puesto que cada piso es independiente entre sí.
Sistema Spider	Sistema en donde el soporte es provisto por conectores de estabilización como tensores, costillas de vidrio o pilares de acero, que se ubican adosados a la superficie de vidrio mediante herrajes estructurales llamados arañas.
Fachada ventilada	Sistema de acristalamiento en doble piel sobre un muro cortina instalado. Permite un control de temperatura del edificio, fachadas decorativas con cristal templado impreso.

Tabla 2 - Sistema de Acristalamiento

Debido a sus características para poder adaptarse a las necesidades de los proyectos arquitectónicos, existen diferentes vidrios utilizados en las fachadas:

Vidrios utilizados en las fachadas	
Nombre	Descripción
Vidrio de seguridad	Es un vidrio laminar de protección contra robos.
Vidrio templado	Tiene propiedades térmicas y mecánicas notables. Si sufre rotura, se fragmenta en pequeños trozos, lo cual disminuye riesgos de accidente.
Vidrio impreso templado	Es empleado donde no se requiere transparencia, pero sí paso de luz.
Vidrio antirreflectante	Disminuye la reflexión de la luz sin distorsión de colores, lo cual se observa en las dos caras del vidrio.
Vidrio laminado	Está formado por vidrios simples unidos mediante láminas plásticas que poseen adherencia, transparencia, resistencia y elasticidad. Absorbe las radiaciones ultravioleta y ofrece ventajas acústicas. Su mayor cualidad es su alta resistencia al impacto.

Tabla 3 - Vidrios utilizados en las fachadas

- **1.1.4 Fachadas metálicas**

Se considera que el hierro fue el primer material utilizado por el hombre, llegándose a creer que ya era conocido siete mil años antes del inicio de nuestra era. Sin embargo, no se ha podido establecer con exactitud su edad.

El uso de metales en la construcción de fachadas se ha presentado con mayor frecuencia en años recientes. Esto se debe a que los avances tecnológicos han mejorado el proceso de fabricación y, con ello, la reducción del costo. El uso de fachadas metálicas reduce el personal en obra, ahorra tiempos de ejecución y, dependiendo de la calidad de los materiales, se puede tener una estructura resistente y durable.



Ilustración 5 - Imagen Fachadas Metálicas: Museo Guggenheim, Bilbao, España. Frank O. Gehry, 1997. Extraita con fines didácticos de <https://www.posta.com.mx/museos/el-guggenheim-bilbao-de-los-mejores-museos-del-mundo> 09/08/2018.

Estas fachadas generalmente no están constituidas de un solo material, debido a que los metales no presentan buenas condiciones de aislamiento térmico y acústico, por lo que suelen ir acompañadas de otros materiales que funcionan como aislantes. Un ejemplo de esto es "el panel sándwich de aluminio-polietileno, es un material que normalmente consiste en dos láminas de aluminio (de espesor entre 0.3 - 1.0 mm) que encierran un núcleo termoplástico de polietileno, espuma de polietileno, poliestireno o polipropileno (de espesor aproximado de 3.0 mm)."¹⁰ El panel combina la durabilidad y la resistencia del aluminio con la baja densidad y flexibilidad del núcleo y tiene una resistencia térmica importante. Una fachada metálica se compone principalmente de 4 elementos: soporte, aislamientos, acabados exteriores y accesorios.

Los materiales más utilizados en las fachadas metálicas se centran en solo algunos metales como el cobre, zinc, acero inoxidable, aluminio, titanio y plomo. Estos metales han demostrado ser estéticamente agradables al presentar variedad de colores cuando existen aleaciones con otros metales, y se puede conseguir diferentes acabados gracias a la versatilidad de los materiales. El uso de metales en fachadas económicamente es factible, en algunos casos. "Más allá de la hegemonía que el acero ha ejercido en la historia de la arquitectura del último siglo, la aplicación que el mundo de la edificación hace de los metales está lejos de resultar caduca, cuando con ellos se acrecientan las virtudes tanto técnicas como expresivas de las obras."¹¹

¹⁰ González Morán, I. (2011). *Estudio sobre la viabilidad de la introducción de nuevos materiales a base de titanio para la construcción de fachadas*. Madrid, Esp.: Universidad Politécnica de Madrid.

¹¹ Muñoz Pérez, L. (2009). *Más allá del acero: otros metales y sus usos en la arquitectura del siglo XXI*. Universidad de Salamanca: Ars Longa.

- **1.1.5 Fachadas poliméricas**

Existen diferencias físicas y visibles dependiendo de la consistencia que tenga el material utilizado en este tipo de fachadas. La utilización de polímeros utilizados como elementos para revestimientos de interiores y exteriores se divide en dos tipos, principalmente: láminas flexibles y láminas de plásticos rígidos.

Ilustración 6 Centro Acuático Nacional, Pekín, China. PTW Architects australiana, 2008. Extraída con fines didácticos de: <http://newsteccl.blogspot.com/2012/01/el-cubo-olimpico-de-pekín-ha-sido.html> 09/08/2018



Láminas flexibles: Este tipo de revestimiento es el de menor grosor que se fabrica, pues corresponde aproximadamente al de un papel pintado o coloreado para empapelar paredes, del mismo grosor que el revestimiento de láminas flexibles. Se halla formado por una capa resistente y sumamente flexible de una resina sintética del grupo vinílico, por lo general el cloruro de polivinilo (PVC), unido a un soporte de lámina igualmente delgada, con la que forma un cuerpo resistente.

Láminas de plásticos rígidos: Actualmente se fabrican placas a partir de resinas sintéticas, en su inmensa mayoría de PVC, termoestables, de diversas formas, colores y acabados, que tienen aplicaciones decorativas para el revestimiento de paredes y techos. Estas placas, de gran ligereza por su escaso peso, son rígidas y, por lo tanto, se diferencian del grupo anterior por el hecho de que no se instalan directamente a las superficies por medio de un adhesivo, sino que precisan de un elemento intermediario emparrillado de la parte de revestir.

También encontramos las que son en base a revestimientos con pinturas. Estas mezclas líquidas, generalmente coloreadas, y que son aplicadas por extensión, pulverización o inmersión, forman una capa o película opaca en la superficie de los materiales de construcción a los cuales protege o decora. Las pinturas están constituidas por un pigmento sólido y el aglutinante o vehículo líquido, formando una dispersión entre ambos. Las pinturas se clasifican por el color y naturaleza de los pigmentos (blanco de cinc, azul cobalto, etc.), por el vehículo (pinturas de agua, cola, aceite) o por el papel que desempeñan (decorativas, antioxidantes, ignífugas, lavables).

Dentro de las fachadas poliméricas, la aplicación de las nuevas tecnologías y la innovación ha conseguido fabricar productos con una menor inflamabilidad y propagación del fuego. De igual manera, las fachadas con materiales plásticos suelen ser sistemas ventilados, proporcionando una corriente de aire continua para evitar la posible dilatación térmica del material.

- **1.1.6 Fachadas de concreto**

El concreto en la construcción es el material más utilizado ya que tiene altas propiedades como alta resistencia a la compresión, rigidez y durabilidad. Por lo tanto, las fachadas de concreto arquitectónico presentan las características propias de este material, es decir, tienen resistencia mecánica, resistencia al fuego, aislamiento acústico, y reducen el ruido. También presentan propiedades térmicas y con aditivos especiales se puede ampliar su durabilidad.

Las fachadas de concreto arquitectónico satisfacen los criterios de seguridad, integridad y proporcionan un aislamiento considerablemente bueno ante la amenaza de éste. El concreto se caracteriza principalmente porque está relacionado y se rige en función de su espesor.



Ilustración 7 Museo Guggenheim, Nueva York, EUA. Extraída con fines didácticos de: http://www.fanpop.com/clubs/i_love_me%2560s-world/images/23103458/title/guggenheim-new-york-museum-photo 10/08/2018

- **1.1.7 Nuevos materiales utilizados en fachadas**

Los materiales que se consideran nuevos son aquellos que están pasando a sustituir a los usados frecuentemente. Sin embargo, en su mayoría son producto de investigaciones tecnológicas que dan como resultado un nuevo material con aplicaciones distintas la construcción. Dentro de los nuevos materiales que se utilizan en fachadas están los siguientes.

ETFE: Las siglas son el acrónimo en inglés del etileno-tetrafluoroetileno, el cual se trata de un material polimérico con excelentes propiedades térmicas, químicas y eléctricas, y una resistencia elevada al corte y a la abrasión. La lámina de ETFE es reciclable y puede soportar todas las agresiones climatológicas (hielo, lluvia, humedad) por más de 25 años. No hay riesgo de contaminación durante las fases de fabricación, ni en las fases de reciclado, por lo que se le considera un material ecológico.



Ilustración 8 Etileno-Tetrafluoroetileno. Extraída con fines didácticos de: <http://publiditec.com/blog/efte-un-material-para-la-envolvente-arquitectonica/> 10/08/2018

Swisspearl (paneles): Este sistema de revestimiento completamente desarrollado y probado protege eficazmente la envolvente del edificio de los elementos externos durante décadas. Los paneles son resistentes a la putrefacción, incombustibles y prácticamente libres de mantenimiento.

Ilustración 9 Swisspearl (paneles). Extraída con fines didácticos de: Swisspearl (paneles). <https://www.swisspearl.com/> 10/08/2018



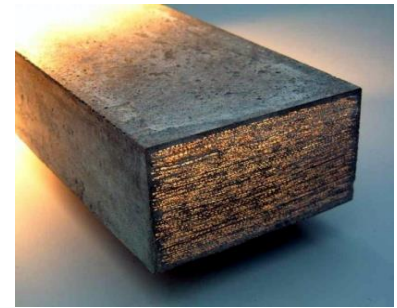
Kapilux: Fue desarrollado especialmente para el acristalamiento de techos. El eje capilar insertado diagonalmente al vidrio evita que el sol entre en la habitación cuando se monta en consecuencia. En combinación con la coloración blanca de los capilares, se pueden cumplir los altos requisitos de protección contra el sol y el deslumbramiento.

Ilustración 10 Kapilux. Extraída con fines didácticos de: Kapilux. <https://www.okalux.de/products/product-finder/kapilux/detail/kapilux-t-1/> 10/08/2018



Litracon: "Light Transmitting Concrete" es un material que tiene como base el incorporar fibra óptica en el interior del concreto en masa. Esto permite conducir pequeños puntos de luz desde una cara a otra del muro. Es un material muy resistente que permite el paso de la luz a través de su espesor y con el que podemos conseguir una atmósfera especial en el proyecto.

Ilustración 11 Litracon. Extraída con fines didácticos de: Litracon. <https://www.pinterest.es/pin/392235448783988832/?autologin=true> 10/08/2018



Ladrillo a base de plástico: El proceso de fabricación de estos ladrillos comienza con el triturado de los plásticos para luego mezclarlo con cemento portland como aglomerante para dar cohesión a la mezcla y un aditivo químico que mejora la adherencia de las partículas de plástico. Esta mezcla se coloca en moldes como si fuese una pieza de hormigón prefabricada y se deja fraguar.



Ilustración 12 Ladrillo a base de plástico. Extraída con fines didácticos de: <http://wp.cienciaycemento.com/ladrillos-pet-a-base-de-residuos-plasticos/> 10/08/2018

"Los materiales compuestos son el resultado de nuevos materiales y tecnologías de construcción, incorporando un mayor valor estético, aumenta la productividad, y reduce las cargas al ser elementos ligeros."¹²

¹² Jaimes Torres, M. (2017). *Materiales compuestos una alternativa para fachadas prefabricadas*. Cd.Méx.: Tesis Doctoral.

1.2 Concretos arquitectónicos utilizados en fachadas

El concreto es una mezcla de diversos elementos utilizada en la construcción. La adecuada dosificación es indispensable para poder preparar un concreto con las normas de calidad requeridas. “Es la unión de cemento, agua, aditivos, grava y arena lo que nos da una mezcla llamada concreto”.¹³ Los materiales que forman un concreto pueden ser variados y con diferentes características. Sin embargo, su producción es una de las industrias contaminantes debido a que el proceso de fabricación incluye incinerar cenizas y rocas.

Existen varios tipos de concretos arquitectónicos, entre ellos el tradicional, luminiscente, polimérico, reforzado con fibra de vidrio, translucido y el biológico. Estos concretos tienen usos distintos en la construcción. Algunos están en desarrollo y no son muy usados en la industria, como es el caso del luminiscente.



Diagrama 2 Concretos Arquitectónicos: 1.-Concreto Tradicional, Fotografía: Obrasweb; Cortesía Cemex. 2.-Concreto Translucido, Fotografía: arqhys.com 3.-Concreto Biológico, Fotografía: Revistacyt. 4.- Concreto Polimérico, Fotografía: Mx.all.biz. 5.- Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio, GRC o GFRC, Fotografía: Mundoarquitectura. 6.- Concreto Luminiscente, Fotografía: Mxcity.mx.

Un buen concreto deberá cumplir con características necesarias para cubrir la necesidad del proyecto, tanto en estado fresco como un sólido.

¹³ holcim. (2017). *productos-y-servicios*. Recuperado el 10 de 15 de 2017, de <http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html>

- **1.2.1 Concreto tradicional**

Actualmente el concreto es un material de la mayor variabilidad, que puede adaptarse, eligiendo el tipo y la composición de la mezcla a las más distintas exigencias. En fachadas prefabricadas el concreto se vierte sin grandes pérdidas de material y con poco empleo de mano de obra, mientras que en moldes preparados puede considerarse como el prototipo del material moderno de construcción, lo que justifica su posición dominante. Es un producto manufacturado, pero contiene materiales naturales.

“De hecho, es la belleza natural propia de los materiales, como la arena y la grava, la que más frecuentemente se expresa en el concreto arquitectónico.”¹⁴

La versatilidad del concreto tradicional lo ha mantenido como el favorito a utilizarse en la construcción de fachadas. Esto es debido a que su utilización no representa un aumento significativo en los costos y se pueden obtener diferentes acabados dependiendo de las necesidades del proyecto y, sobre todo, no requiere de mano de obra especializada.



Ilustración 13 Unidad de Posgrados UNAM, 2013, Ciudad de México, México, Dirección General de Obras y Conservación (DGOC). Extraída con fines didácticos de: Fotografía: @terejaromo https://www.instagram.com/p/BQyRC_53FN5N/?taken-by=terejaromo

¹⁴ O'Farrill Madrigal, J. A. (2000). *La prefabricación de fachadas como una mejor opción en la edificación*. Queretaro, Méx.: Instituto Tecnológico de la Construcción. okalux. (2013). okalux. Recuperado el 09 de 11 de 2017, de <https://www.okalux.de/products/product-finder/products/kapilux/detail/kapilux-ws/>

- **1.2.2 Concreto translúcido**

“El concreto translúcido fue mencionado por primera vez en una patente canadiense de 1935 por Bernard Long, quien trabajó para el fabricante de vidrio Saint-Gobain. En los años 90, el arquitecto e inventor Bill Price exploró el concepto e incluso llegó a realizar pruebas de resistencia en algunas muestras mientras trabajaba (Office for Metropolitan Architecture – OMA: Rotterdam, Holanda. Pero no fue hasta principios del siglo XXI, cuando el arquitecto húngaro Áron Losonczy patentó su concreto transmisor de luz LitraCon, que el concreto translúcido se volvió comercialmente viable.



Ilustración 14 - Extraída con fines didácticos: Prototipo de Litracon, de Áron Losonczy en la exposición "Liquid Stone: New Architecture in Concrete" <https://www.interiorsandresources.com/article-details/articleid/2374/title/concrete-the-once-future-liquid-stone>

En abril de 2006, en el National Building Museum de Washington D.C., EUA, durante la exposición "Liquid Stone: New Architecture in Concrete" se expuso el tema Translucent, que hizo referencia a la propuesta de concretos translucidos presentando tres variantes diferentes: la primera presentación, por Bill Price, con el nombre "Pixel Panels"; Áron Losonczy presentó Litracon; y Translucated Panel, desarrollado por Will Witting, profesor asistente de la universidad de Detroit. Las tres propuestas utilizaban fibras ópticas dentro del concreto para permitir el paso de la luz. En México, una investigación a cargo de Sergio Galván y José Sosa, de la Universidad Autónoma Metropolitana, no utiliza morteros de cemento Portland, sino que reemplazan la pasta de concreto por un polímero.

- **1.2.3 Concreto Polimérico**

Los estudios sobre el uso de polímeros en concretos se iniciaron en la década de los 60's con la adición de resinas a morteros elaborados a base de cemento Portland, con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste del material, primordialmente cuando eran aplicados en medios en donde se requería resistencia al ataque químico. Dentro de esta clase de concretos se encuentra el concreto polimérico, que es un material compuesto que se elabora con resinas poliméricas y agregados minerales.



Ilustración 15 Extraída con fines didácticos: Parque Tereo 2014, Ciudad de México, México, Sordo Madaleno Arquitectos. Render por 3Difica <http://www.archdaily.mx/mx/622173/sordo-madaleno-arquitectos-presenta-proyecto-de-transformacion-urbana-parque-tereo/5504c62fe58ece2038000085>

La resina polimérica representa al material cementante, es decir, el agente de unión de los minerales incorporados, al cual se le conoce como la "matriz" del material compuesto. Los concretos poliméricos presentan algunas ventajas con respecto al concreto hidráulico elaborado con cemento Portland, entre las que se encuentran: ser ligero (1/4 del peso del hidráulico), alta resistencia mecánica (en compresión, flexión e impacto), resistencia al rayado, alta resistencia química a ácidos, álcalis y otros elementos corrosivos, así como a los rayos UV, baja absorción de humedad y estabilidad bajo condiciones de congelación.

Actualmente, algunas aplicaciones del concreto polimérico son la fabricación de revestimientos delgados, tuberías, componentes prefabricados para puentes y edificios. Las propiedades finales del concreto polimérico dependen del tipo y concentración de resina polimérica, de los agregados minerales, así como de los agentes de curado. Dentro de las matrices poliméricas utilizadas para la elaboración del concreto polimérico, se encuentran diferentes tipos de resinas, tales como poliéster, acrílicas, epóxicas, furánicas, entre otras, mientras que en los agregados minerales es recomendable que con estos el concreto presente bajo volumen y peso y de preferencia menor volumen de vacíos.

- **1.2.4 Concreto luminiscente**

Las nuevas tecnologías hicieron posible el desarrollo y producción de los diferentes materiales luminiscentes. Investigaciones dirigidas han buscado lograr una optimización de los materiales adicionados al concreto para obtener un efecto luminiscente sin alterar sus propiedades mecánicas y químicas.

En 2006, Joschen Möller y Henning Mack dieron forma a NighTec, una propuesta que transforma los adoquines de concreto en fuentes auto recargables que se iluminan en la oscuridad, ya que crea un efecto brillante en el concreto, dando como resultado pavimentos que se iluminan en la oscuridad, sin necesidad de conexiones eléctricas, pudiendo durar varias horas con estado luminiscente.

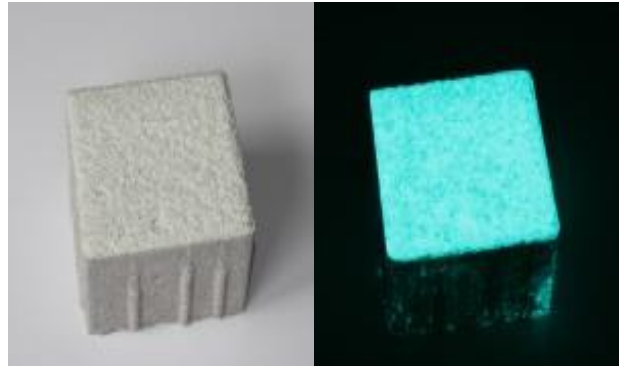


Ilustración 16 Adoquines de concreto NighTec ®
Extraída con fines didácticos de:
<http://zegagreen.com/productos/aconcretorug/> 11/08/2018

Otro de los concretos luminiscentes se creó a partir de un cemento emisor de luz, diseñado por José Carlos Rubio Ávalos, "investigador de la Sección de Innovación Tecnológica en Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)." ¹⁵ Dicha universidad cuenta con la solicitud de patente No. MX/A/2008/001086, registrada el 08 de enero de 2008.



Ilustración 17 Extraída con fines didácticos: Concreto Luminiscente; José Carlos Rubio, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
<http://www.periodicoelnuevomundo.com/2016/04/inventan-cemento-fluorescente-en-mexico.html>

Un avance significativo en la luminiscencia en fachadas es la pigmentación de áridos con distintas finalidades y usos, tanto desde el punto de vista funcional como estético. En algunos casos la pigmentación se realiza por inmersión en pinturas decorativas, o bien, por proyección sobre los propios áridos. La pintura con pigmentación fotoluminiscente dota al árido del propio color que soporta la pigmentación, llevando consigo un cambio del aspecto externo del árido, de manera que, si se trata de una piedra o similar, ésta pierde su aspecto natural, derivando en un producto que nada tiene que ver con el original en lo que al aspecto externo se refiere.

¹⁵ CONACYT prensa. (2015). <http://www.conacytprensa.mx>. Recuperado el 09 de 10 de 2016, de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/3264-crean-cemento-emisor-de-luz-para-la-construccion>

- **1.2.5 Concreto GRC**

El concreto GRC reforzado con fibra de vidrio (GRC, del inglés *glass reinforced concrete*, o también GFRC, *glass-fiber reinforced concrete*) es un material compuesto que surge como alternativa del concreto armado.

Este tipo de materiales está constituido por un cemento Portland y una fibra de vidrio tipo AR Resistente a los Álcalis del cemento con características de rotura de 2500 MPa. En este material el concreto resiste los esfuerzos de compresión y las fibras de vidrio distribuidas se encargan de absorber los esfuerzos de tracción.

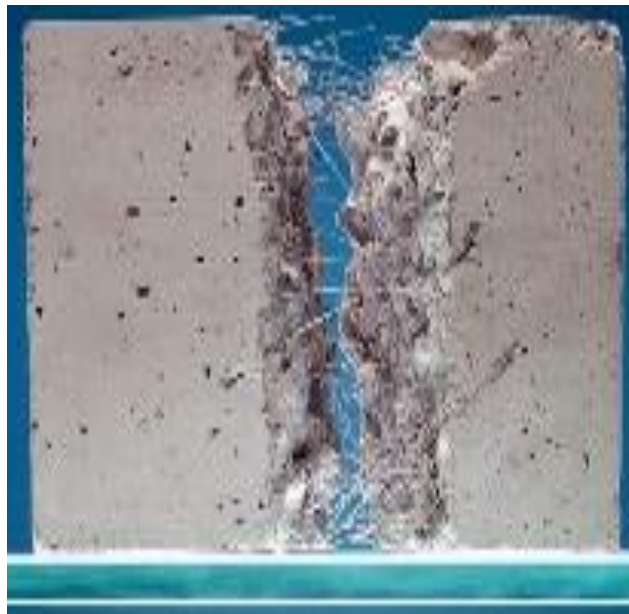


Ilustración 18 concreto GRC reforzado con fibra de vidrio. Extraída con fines didácticos:
Fotografía: Mundoarquitectura.
<http://www.mundoarquitectura.org/fibra-sintetica-estructural-para-la-construccion/>

Como material para la preparación de fachadas, es el único que permite unir la resistencia del concreto con la ligereza de otros materiales, que permiten la fabricación de paneles a bajo costo, mediante moldeado de materiales baratos (como el mortero) sin aumentar espesores que para el mortero tradicional sería imposible conseguir. Con ese aumento de resistencia y dureza que reduce el espesor al mínimo, se abre la posibilidad de moldeado y diseño de formas manteniendo texturas pétreas, disminuyendo la cantidad de material aportado (al disminuir espesor), abaratando costos y reduciendo el peso, con lo que se facilita así su manejo y colocación.

Es muy usado en piezas donde el diseño tiene una forma caprichosa, es muy viable en estos casos por que debido a que los filamentos llegan a casi todos los espacios del molde se asegura que los detalles en relieve puedan tener buena adherencia al resto de la pieza.

- **1.2.6 Concreto biológico**

El nuevo material “verde”, considerado así porque respeta el medio ambiente y cumple una triple función: estructural, funcional y estética. Se concibe como un nuevo tipo de concreto que se puede definir como “concreto biológico”, y que sirve de aplicación para determinadas partes de la fachada del edificio.

Para conseguir la capa de “concreto biológico” que permite que se cree en la superficie un bio-film, se tiene que reducir el pH en dicha capa. Para ello, este concreto ha de ser muy propenso a la carbonatación, por lo que será más ácido que los concretos en base de cemento Portland. Los concretos a base de cemento Portland sometidos a carbonatación acelerada se han conseguido reducir a un nivel de pH de 9. En concretos con conglomerantes a base de magnesia-fosfato se han conseguido niveles de pH entre 6.5 y 7, *a priori*, los más idóneos la proliferación de estos musgos y líquenes. Para ello, se utiliza un cemento rico en fosfato de magnesio, lo cual permite la reducción del pH a los niveles requeridos. Esto junto con una humedad relativa del 60 %, permiten unas condiciones idóneas para el crecimiento de hongos, musgos y líquenes.

Este concreto ha sido desarrollado por el Grupo de Tecnología de Estructuras de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), en conjunto con el Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Barcelona (UB) y el Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la UPC.

El sistema de este nuevo material está compuesto principalmente por tres capas, de las cuales la última es el mencionado “hormigón biológico” y la cual, proporciona mayores ventajas. El sistema consta por tanto de las siguientes capas:



Ilustración 19 Extraída con fines didácticos: Concreto biológico. Fotografía: Revistacyt, <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/contenido/posibilidades-del-concreto/110-concreto-biologico-parte-i-fachadas-vivas>

1. Capa estructural: Esta capa soportará a las posteriores, está compuesta por concreto convencional.
2. Capa impermeabilizante: Esta capa dirige la humedad fuera de la capa estructural y protegerá a la misma de posibles filtraciones.
3. Capa biológica: Contendrá las sustancias químicas necesarias para el crecimiento de los musgos y líquenes. Esta capa es tratada con cemento rico en Fosfato de Magnesio permite la proliferación de los microorganismos, de forma que quedará cubierta por un bio-film, cuya misión es controlar la humedad y funcionar como aislante térmico y acústico.

1.3 Recubrimientos arquitectónicos

Se le conoce como recubrimiento arquitectónico de forma general a todos los materiales de protección o acabado con los que se cubren los paramentos interiores y exteriores de cualquier elemento horizontal o vertical de una construcción. “Los acabados de construcción tienen por función proteger todos los materiales bases o de obra negra así como proporcionar belleza, estética y confort.”¹⁶ Se clasifican en recubrimientos Naturales, Artificiales y Aplanados.



Diagrama 3 Recubrimientos Arquitectónicos. Imagen Rec. Naturales: © Getty Images PHOTO: Taj Mahal, (1654). Sha Jahan. Agra, India. (photo via somchaisom/IStock/Getty Images Plus) Source: <https://pressfrom.info/ca/lifestyle/travel/-108356-taj-mahal-increases-ticket-prices.html> 11/08/2018. Imagen Rec. Artificiales: Cúpula de la Roca o el Domo de la Roca. (691 d.C.) Raja ibn Haywah, Yazid Ibn Salam. Jerusalén. Israel. <http://www.nmidigital.com/wp-content/uploads/2017/12/C%C3%BApula-de-la-Roca.jpg> Imagen Aplanados: Casa Gilardi (1976) Luis Barragán. Ciudad de México. México. <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/casa-gilardi-1976-ultima-obra-arquitectonica-de-luis-barragan>

Los materiales más comunes, dependiendo el tipo de recubrimiento, son:

Recubrimientos Naturales: Mármol, piedra y madera.

Recubrimientos Artificiales: Piedra artificial, azulejos, mosaico bizantino, losetas de barro, plásticos y aleaciones de metal.

Recubrimientos Aplanados: Pastas y Morteros.

Una vez identificados los recubrimientos arquitectónicos más comunes, se realiza una pequeña descripción de las pastas y morteros, debido a que el objetivo principal es el desarrollo y caracterización de una pasta con agregados fotoluminiscentes para el recubrimiento de fachadas arquitectónicas.

¹⁶ ARQUIGRAFICO. (05 de 12 de 2017). <https://arquigrafico.com/los-acabados-de-construccion/>. Obtenido de ARQUIGRAFICO: <https://arquigrafico.com/los-acabados-de-construccion/>

1.4 Componentes de las pastas y morteros arquitectónicos

Cuando las pastas y los morteros se elaboran *in situ* dosificando manualmente la mezcla, es difícil asegurar la cantidad óptima de cada componente, las mismas características en cada amasada o la homogeneidad de la masa. Es preciso dosificar y mezclar los componentes (conglomerante o conglomerantes, áridos, aditivos y adiciones, según corresponda) de manera controlada para garantizar sus propiedades. Las adiciones pueden ser pigmentos de color y los aditivos aquéllos que mejoren o alteren los procesos químicos y mejoren su rendimiento.

Pastas y Morteros

Una pasta es un producto que se obtiene si se mezcla un conglomerante con agua. Por ejemplo, la lechada de cemento es una pasta porque se obtiene a partir de cemento y agua, sin ningún tipo de árido. En función de la proporción de agua que se utilice, la pasta podrá tener más o menos consistencia; si es fluida, se denomina lechada. Dicha pasta tiene propiedades que cambian de un estado fresco a uno endurecido

En cambio, "un mortero es un producto que se obtiene si se mezcla un conglomerante con agua y arena. Por ejemplo, el mortero de cal, que se elabora con cal, agua y arena."¹⁷

PASTAS Y MORTEROS		
PASTAS	PROPIEDADES	MORTEROS
Agua Conglomerante (Yeso, Cal o Cemento) Adiciones Aditivos	1. En estado fresco <ul style="list-style-type: none"> • Plasticidad • Adherencia 2. En estado endurecido <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia • Durabilidad 	Agua Conglomerante (Yeso, Cal o Cemento) Adiciones Aditivos Arena

Tabla 4 Componentes de las pastas y morteros. Realizada con fines didácticos. 18/08/2017.

• 1.4.1 Cemento

El cemento Portland "es un material inorgánico finamente molido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece en virtud de un conjunto de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad e incluso bajo el agua."¹⁸

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, entre otros. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que, en construcción e ingeniería civil, se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación del

¹⁷ Herruela García, F. (01 de 06 de 2014). PASTAS y MORTEROS. Recuperado el 04 de 11 de 2017, de http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/CP_PASTAS_MORTEROS.pdf

¹⁸ A., W., & O.M., J. (2009). *Synthesis of pure Portland cement pastes*. Cement and Concrete Research.

concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer bajo o sumergidos en agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ésta, por lo que se denominan cementos hidráulicos. Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse en cementos naturales, cementos portland y cementos de alta alúmina.

Antecedentes y generalidades

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. En la época megalítica se utilizaban bloques de piedra de gran tamaño, cuya estabilidad dependía de su colocación. Posteriormente, los egipcios emplearon ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados de forma regular, uniéndolos entre sí con arcilla del Nilo.

Los griegos y romanos desarrollaron el uso de materiales derivados de la caliza. Se percataron de que ciertos depósitos volcánicos de la localidad de Pozzuli (Italia), mezclados con cal y arena, producían morteros de gran fuerza capaces de resistir la acción del agua. Este tipo de mortero se usó para levantar construcciones como el Coliseo y el Partenón, así como un gran número de edificaciones distribuidas por todo el Imperio Romano. Con la caída del imperio, el interés por el conocimiento de los materiales cementantes desapareció, y hasta el siglo XVIII no hubo ningún avance tecnológico significativo.



Ilustración 20 Coliseo, Roma, Italia. 80 d C. Extraída con fines didácticos de: <https://www.arquitecturapura.com/coliseo-romano/> 18/08/2017

En 1756 Jonh Smeaton construyó el faro de Eddystone (Inglaterra). El emplazamiento de dicho faro, rocoso y prácticamente al nivel del mar, hacía necesario el empleo de un conglomerante capaz de resistir las condiciones agresivas del entorno; esto llevo a Smeaton a profundizar en el estudio de distintos tipos de calizas. Observó que las calizas con mayores contenidos en impurezas arcillosas eran las que presentaban las mejores propiedades mecánicas tras su calcinación, mientras que las más puras se desmoronaban por la acción del agua. Las cales hidráulicas obtenidas por Smeaton se consideran un paso intermedio entre las cales hidratadas (no hidráulicas) utilizadas en la antigüedad y el cemento Portland actual.

En 1817 el químico francés Vicat estableció un sistema de fabricación de cemento basado en calizas y arcillas previamente dosificadas y molidas conjuntamente. Dado que este sistema se sigue empleando en la actualidad, se considera que Vicat fue el padre del cemento.

En 1824 Joseph Aspdin fabricó y patentó un material grisáceo y pulverulento que, amasado con agua y arena, endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido al de las calizas Portland (Inglaterra); de ahí que lo patentara con el nombre "cemento Portland". Unos años más tarde, Isaac Johnson observó que, si aumentaba la temperatura de calcinación de la mezcla de caliza y arcilla, el material obtenido, pese a endurecer con mayor lentitud, presentaba mejores propiedades mecánicas. El producto que obtuvo no era sino un clinkler muy parecido al Portland actual.

En la segunda mitad del siglo XIX, el intenso desarrollo en la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos y diques extendió su uso. La invención y desarrollo de los hornos rotatorios para la calcinación y el molino tubular para la molienda, redujeron los costes de fabricación e incrementaron la disponibilidad de este material, pudiendo así producir el cemento portland en cantidades comerciales.

Las investigaciones posteriores se encaminaron a realizar diversos estudios con el fin de conocer la dosificación adecuada de las arcillas y calizas, así como la temperatura que se debía alcanzar para optimizar su calcinación. Los primeros estudios sistemáticos se deben a Le Chatelier y Michaelis, y desde entonces otros muchos autores han seguido en el estudio de este conglomerante hidráulico. Actualmente las investigaciones sobre el cemento Portland han ido de la mano del desarrollo de nuevas propiedades del mismo, centrándose fundamentalmente en la reducción del consumo energético y en la disminución de las emisiones de CO₂ generados durante el proceso de fabricación de este material.

- **1.4.2 Agregados**

Al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregados, y la calidad es de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto. Los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, como sucede en las construcciones de mampostería. Son inertes y sus propiedades físicas, térmicas y, a veces, químicas, influyen en el comportamiento del concreto.

Los agregados son más baratos que el cemento; no obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados. Éstos proporcionan además al concreto una enorme ventaja técnica, al darle mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara únicamente pasta de cemento.

Clasificación general de los agregados

Los tamaños de agregados utilizados en el concreto están en el rango de unos cuantos milímetros hasta partículas pequeñísimas de décimas de milímetro en sección transversal. El tamaño máximo que se usa en la realidad varía, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diverso tamaño. La distribución de las partículas según su tamaño se llama granulometría.

Cuando se quiere hacer un concreto de baja granulometría, se utilizan agregados que provienen de depósitos que contienen gran variedad de tamaños; a esto se le llama agregado sin cribar o agregado en bruto. La opción más común en la fabricación de concreto de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño. La división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena (no mayor de 5 mm o 3/16 in) y agregado grueso, que comprende el material mayor de 5 mm. La división se hace por medio del tamiz número 4, de 4.75 mm (3/6 in).

Muchas de las propiedades de los agregados dependen de las de la roca original, como las propiedades químicas, la composición mineral, la descripción petrográfica, la densidad, la dureza, la resistencia, la estabilidad física y química, la estructura del poro, y el color. Por otra parte, hay propiedades que posee el agregado, pero que están ausentes en la roca original, entre las cuales están la forma y el tamaño de la partícula, la textura superficial y la absorción. Todas estas propiedades pueden ejercer una influencia considerable en la calidad del concreto fresco o endurecido.

Adherencia del agregado

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante para la resistencia del concreto, especialmente la resistencia a la flexión. La adherencia se debe en parte a que el agregado y la pasta se entrelazan debido a la aspereza de la superficie del primero. Una superficie áspera, como la de las partículas trituradas, da como resultado una mejor adherencia, por causa de entrelazado mecánico que también se consigue cuando se usan materiales compuestos por partículas suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas. Por lo general, las características de textura que no permiten la penetración de las partículas por la superficie, no producen una buena adherencia.

Existen propiedades físicas y químicas en los agregados que afectan la adherencia, esto se debe a su composición mineralógica y a las condiciones electrostáticas de la superficie de la partícula. La determinación de la calidad de adherencia de los agregados es bastante difícil y no existen pruebas aceptadas. "La resistencia causada por la adherencia aumenta directamente con la edad del concreto, por lo que pareciera que la relación de la resistencia de adherencia con la de la pasta de cemento aumenta con el tiempo."¹⁹

¹⁹ Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 81). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

Resistencia del agregado

Está claro que la resistencia a la compresión del concreto no puede exceder la de la mayor parte de los agregados que contiene. Sin embargo, no es fácil establecer cuál es la resistencia de las partículas individuales. De hecho, es difícil probar la resistencia a la trituración de partículas individuales del agregado y la información necesaria se tiene que obtener por medio de pruebas indirectas: valor de trituración de agregado a granel, fuerza requerida para compactar agregado a granel, y comportamiento del agregado en el concreto. Esto último significa que los agregados se habrán probado en experimentos previos, o que se han analizado en una mezcla de concreto con agregados probados de antemano cuya resistencia sea conocida. Si el agregado que se está sometiendo a prueba conduce a una resistencia del concreto a la compresión más baja (en especial si hay muchas partículas fracturadas después de que se ha fracturado la muestra de concreto), entonces la resistencia del agregado es menor que la resistencia nominal a la compresión de la mezcla de concreto en la que se ha incorporado dicho agregado. Por lo tanto, ese tipo de agregado sólo puede utilizarse en un concreto de menor resistencia.

El hecho de que la resistencia de los agregados no sea adecuada representa un factor limitante, pues las propiedades de los agregados influyen, hasta cierto punto, en la resistencia del concreto, aún cuando el agregado tenga suficiente resistencia propia como para no fracturarse prematuramente. Si se comparan concretos hechos con diferentes agregados se observará la influencia de éstos en la resistencia del concreto. Es posible que la influencia del agregado en la resistencia del concreto no se deba sólo a la resistencia mecánica del agregado, sino también, en grado importante, a sus características de absorción y adherencia.

En términos generales, la resistencia y elasticidad de los agregados dependen de su composición, textura y estructura, por lo que una baja resistencia puede deberse a la debilidad de los granos que lo constituyen, o bien, a que siendo éstos suficientemente resistentes, no están bien unidos o cementados unos con otros. Pocas veces se determina el módulo de elasticidad de los agregados. Sin embargo, esto es importante ya que el módulo de elasticidad del concreto suele ser mayor a medida que aumenta el valor del módulo de elasticidad de los agregados que lo constituyen, aunque también depende de otros factores. El módulo de elasticidad del agregado también afecta la magnitud de la fluencia y la contracción que pueda lograr el concreto. "Una incompatibilidad grande entre los módulos de elasticidad del agregado y de la pasta de cemento hidratada afecta adversamente el desarrollo del micro agrietamiento en la interfase agregado-matriz."²⁰

²⁰ Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 83). Ciudad de Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

- **1.4.3 Agua efectiva en la mezcla**

Por regla general, el agregado para los prefabricados debe de estar mojado, y el agua que excede de aquella que se requiere para que el agregado esté en una condición de saturado y superficialmente seco, se considera agua efectiva de la mezcla. Por esta razón, los datos de proporciones de la mezcla, normalmente, se basan en el agua que excede de la absorbida por el agregado, que es el agua libre.

Por otro lado, algunas pruebas de laboratorio se refieren al agua total añadida a un agregado seco. Por lo tanto, es necesario tener cuidado al transferir los resultados del laboratorio a las proporciones de mezcla que se utilizarán en el prefabricado, y toda referencia a la relación agua/cemento debe ser clara si se va a considerar el agua total en vez del agua libre.

Calidad del agua de mezclado

El agua desempeña un papel importante: sus impurezas pueden interferir con el fraguado del cemento y afectar adversamente la resistencia del concreto, causar manchas en su superficie y pueden conducir a la corrosión del refuerzo. El agua no deberá contener cantidades indeseables de sustancias orgánicas ni constituyentes inorgánicos en proporciones excesivas. No obstante, "no existen normas que prescriban explícitamente la calidad del agua de mezclado",²¹ en parte porque no se conocen los límites de los constituyentes perjudiciales, pero principalmente por que las restricciones necesarias podrían ser económicamente dañinas.

En muchas especificaciones de proyectos, la calidad del agua está cubierta por una cláusula que dice que el agua deberá ser apropiada para beber. Tal agua muy raramente contiene sólidos inorgánicos disueltos que excedan 2,000 partes por millón (ppm) y, como regla, menos de 1,000 ppm. Para una relación agua/cemento de 0.5, el último contenido corresponde a una cantidad de sólidos que representan 0.05 por ciento de la masa de cemento, y sería pequeño cualquier efecto de los sólidos comunes. Aunque el empleo de agua potable como agua de mezclado es generalmente satisfactorio, algunas aguas no aptas para beber pueden muchas veces ser empleadas satisfactoriamente en la fabricación de concreto. Como regla, "el agua con pH de 6.0 a 8.0, 4.33 o posiblemente hasta 9.0 y que no tenga sabor salubre es adecuada para usar, pero el color oscuro o el mal olor no necesariamente quiere decir que contendrá sustancias perjudiciales."²²

²¹ H. H. Steinour, j. P. (1960). "Concrete mix water - how impure can it be?". En j. P. H. H. Steinour, *Cem. Assoc. Research and Development Laboratories* (págs. 32-50). Cem. Assoc. Research and Development Laboratories.

²² W. j. McCoy. (1956). "Water for mixing and curing concrete". Publ. núm. 169: (pág. 355-60). ASTM Sp. Tech.

- **1.4.4 Aditivos, clasificación y tipos**

Aunque los aditivos, a diferencia del cemento, el agregado y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla de concreto, son componentes importantes cuyo uso se extiende cada vez más. En muchos países, una mezcla que no contiene aditivos es actualmente una excepción.

Los aditivos son capaces de impartir beneficios físicos y económicos considerables respecto al concreto. Estos beneficios incluyen el uso del concreto en circunstancias en las que previamente existían dificultades considerables, o hasta insuperables. También hacen posible el empleo de una variedad amplia de ingredientes en la mezcla, no representan un gasto adicional pues su empleo puede dar por resultado ahorros. Aunque los aditivos propiamente usados son benéficos para el concreto, no son ningún remedio para ingredientes de mala calidad de la mezcla, para uso de proporciones de mezcla incorrectas, o para mal manejo en la transportación, colocación y compactación.

Un aditivo es un producto químico que, excepto en casos especiales, se agrega a la mezcla de concreto en cantidades no mayores de 5 % por masa de cemento durante el mezclado o durante una operación adicional de mezclado antes de la colocación del concreto, con el propósito de realizar una modificación específica, o modificaciones, a las propiedades normales del concreto. Pueden ser orgánicos o inorgánicos en cuanto a la composición, pero su carácter químico, que difiere del mineral, es su característica esencial. Los aditivos se clasifican comúnmente por su función en el concreto, pero con frecuencia exhiben alguna acción adicional. La clasificación de la norma ASTM C 494-92, la cual hace referencia a la clasificación de los aditivos, indica lo siguiente:

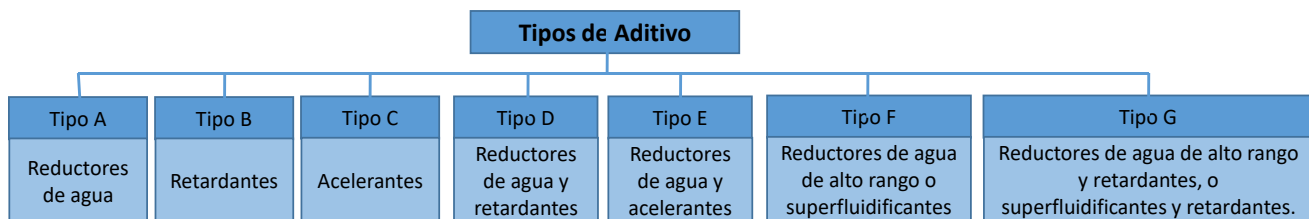


Diagrama 4 Tipos de aditivos y efectos en el concreto. Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. En A. M. Neville, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C

En la práctica, los aditivos se compran o venden como productos patentados. La norma ASTM C 494-92 indica que los efectos específicos producidos pueden variar con las propiedades y proporciones de los otros ingredientes de la mezcla. El efecto de muchos aditivos es influido por la temperatura.

Los aditivos pueden ser utilizados en estado sólido o líquido. El último es el que se utiliza más seguido porque un líquido se puede dispersar más rápidamente de una manera uniforme durante el mezclado del concreto.

1.5. Luminiscencia

De acuerdo con Sir Isaac Newton, el color es una sensación que se produce en respuesta a una estimulación nerviosa del ojo. Este estímulo es causado por los rayos de luz y por las longitudes de onda que la componen. Otra consecuencia es la luminiscencia, en la que la absorción de un fotón (que es la partícula fundamental de la luz) va acompañada por la reemisión de algunos fotones de luz visible.

La luminiscencia es un fenómeno que ha llamado la atención del hombre a lo largo de la historia. Los chinos la llamaban el "fuego frío que emitía la mosca del fuego", en referencia a las luciérnagas. Otro concepto que es muy común en el tema es la bioluminiscencia, que se refiere a la producción de luz de ciertos organismos vivos, entre los cuales se encuentra una gran variedad de bacterias, hongos y organismos invertebrados. Los seres vivos que generan la luminiscencia tiene diferentes funciones, entre las que destacan apareamiento, camuflaje, atracción de presas y defensa ante depredadores, distracción y comunicación.

Dependiendo de la energía de la radiación emitida respecto a la original y al método de producción, la luminiscencia se divide en fotoluminiscencia, fluorescencia, fosforescencia, termoluminiscencia, quimioluminiscencia, triboluminiscencia, electroluminiscencia y radioluminiscencia.

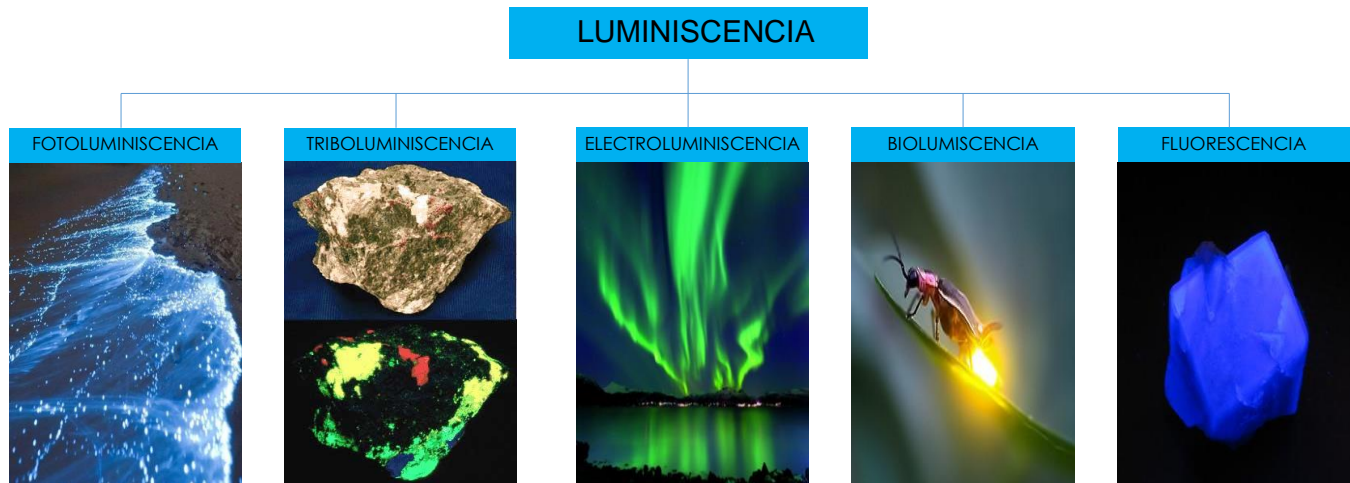


Diagrama 5 Luminiscencia y clasificación de acuerdo con su obtención. Imágenes obtenidas con fines didácticos. Imagen 1.- <https://www.ecured.cu/Luminiscencia>
imagen 2 <http://www.mineraltown.com/reports/3/3.php?idioma=1> imagen 3 https://ia.wikipedia.org/wiki/Aurora_boreal imagen 4 <https://lucienagaalatardecer.blogspot.com> imagen 5 <https://isqch.files.wordpress.com>

Se considera luminiscencia a todo proceso de emisión de luz cuyo origen no radica exclusivamente en las altas temperaturas, sino que, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja.

El concepto de luminiscencia también permite describir la emisión de luz visible que acompaña la absorción de otras formas de energía (térmica, mecánica, y producto químico) o de partículas (por

ejemplo, electrones de gran energía). En general, los átomos de un material emiten fotones de la energía electromagnética cuando vuelven al estado fundamental después de estar en un estado excitado por la absorción de energía.

En la Ilustración esquemática del mecanismo para la luminiscencia, se observan distintos niveles de energía de estados excitados dentro del espacio (o *bandgap*) entre la banda de valencia y la banda de conducción. Dichos estados adicionales se producen por la adición de impurezas al material aislante. “Después de la excitación de un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción, hay movimientos de electrones entre estos estados metaestables sin emitir la radiación, hasta que decaen eventualmente al nivel fundamental con la emisión de un fotón de luz.”²³

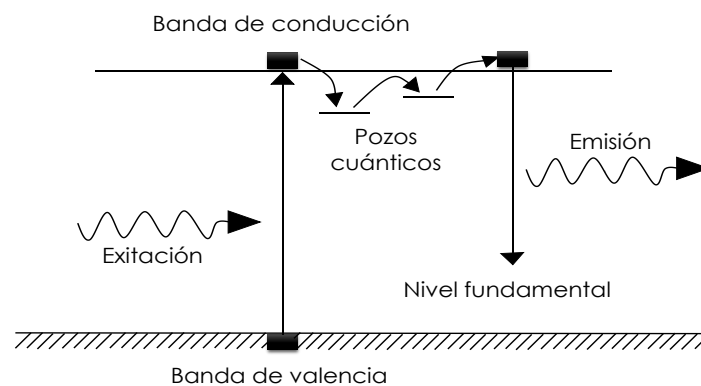


Ilustración 21 Extraída con fines didácticos: Ilustración esquemática del mecanismo para la luminiscencia. (Shackelford J., 2005) James F. Shackelford, introducción a la ciencia de los materiales, 2005, Madrid, España, Pearson educación, S.A. pp 575.

El tiempo es un factor para distinguir dos tipos de luminiscencia. Si ocurre la reemisión rápidamente (10 nanosegundos), el fenómeno generalmente se llama fluorescencia. Por tiempo más largos el fenómeno se denomina fosforescencia. Una variedad amplia de materiales exhibe estos fenómenos, incluyendo muchos sulfuros y óxidos cerámicos. Normalmente, los fenómenos son producidos por la acción controlada de impurezas.

Las sustancias fluorescentes (como la quinina o la fluoresceína) necesitan ser irradiadas para mostrar luminiscencia (fotoluminiscencia). Estas sustancias absorben radiación de longitud de onda menor de la que emiten, normalmente absorben luz ultravioleta y emiten luz visible. Cuando se apaga el foco emisor de radiación, la sustancia deja de emitir luz. Según la forma de excitar el electrón, la luminiscencia recibe distintos nombres: fotoluminiscencia si es por acción de la luz, triboluminiscencia si es por fricción, electroluminiscencia si es por impacto con partículas cargadas, quimioluminiscencia si es por efecto de una reacción química, entre otras.

²³ R. M. Rose, L.A. Shepard y J. Wulff, Structure and Properties of Materials, Vol. 4, Electronic Properties, John Wiley and Sons.,NY. 1996.

- **1.5.1 Minerales luminiscentes**

La luminiscencia se encuentra en algunos minerales, y los procesos para que se produzca pueden variar. Por ejemplo, la fluorita, willemita, o el cuarzo presentan luminiscencia al ser frotadas (triboluminiscencia). La termoluminiscencia se produce en la fluorita y el diamante cuando son calentados por debajo de su punto de fusión. También se presenta fluorescencia y fosforescencia en ciertos minerales, existiendo el primer fenómeno en minerales como algunas fluoritas, scheelitas y sodalitas, y el segundo en especímenes como la estroncianita y el diamante. Cuando se utiliza luz ultravioleta, los bitúmenes y los minerales que lo contienen (ópalo) son también luminiscentes. Esta luminiscencia se pone de manifiesto al exponer el mineral a una lámpara de luz ultravioleta con filtro oscuro.

Entre los materiales disponibles con la propiedad de luminiscencia, existen minerales fluorescentes que podrían agregarse al concreto. La fluorita (CaF_2) es un mineral que tiene la capacidad de ser luminiscente cuando se expone a una onda de luz larga, es decir, que oscile entre los 385 y 315 nanómetros. Es un mineral que se utiliza en la fabricación del clinker para la fabricación de cemento, tiene una dureza categoría 4 en la escala de Mohs y presenta un brillo tipo 3. México cuenta con la mina más grande del mundo dedicada a la extracción de este mineral. Además, el país es segundo lugar en cuanto a producción del mismo, mientras que China ocupa el primer sitio. La fluorita es un mineral que se utiliza en diferentes industrias, ya que el fluoruro de calcio es muy utilizado en diferentes productos. Sin embargo, la luminiscencia en este material no es muy intensa, por lo que existen mejores opciones para producir dicho efecto en el concreto y con ello se pueda contar un recubrimiento para fachadas.

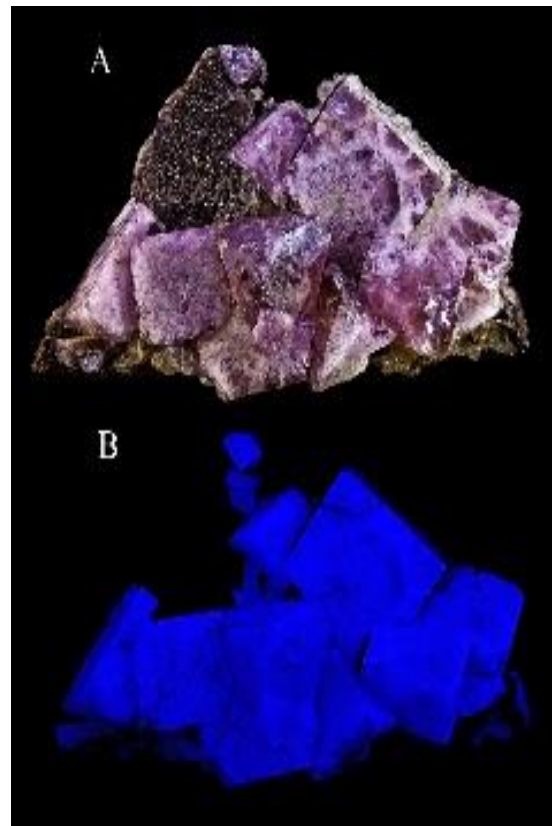


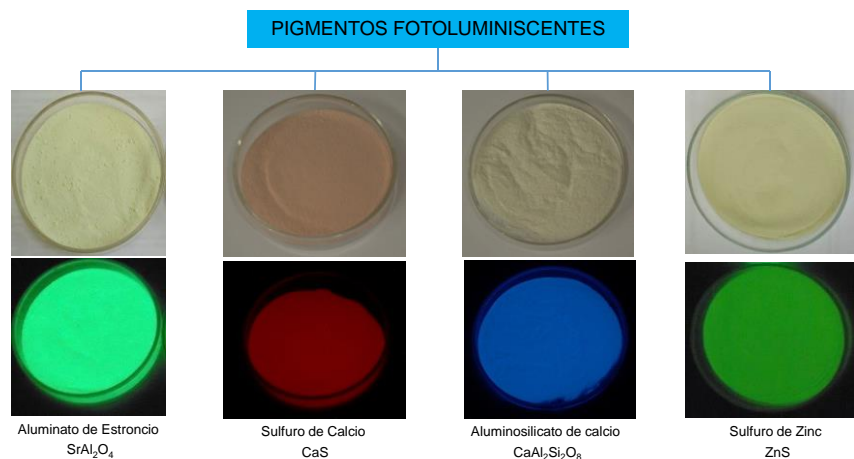
Ilustración 22 imagen obtenida con fines didácticos. Fluorita mostrando su fenómeno de fluorescencia,2009. <https://es.wikipedia.org/wiki/Fluorita#/media/File:FluoriteUV.jpg>

- **1.5.2 Pigmentos fotoluminiscentes**

Se puede definir el color como “la sensación producida por la luz que, al variar de longitud de onda, intensidad y pureza, provoca diferentes estímulos que, a su vez, al llegar a la retina, son codificados e interpretados por el cerebro, según la información almacenada en la memoria durante el proceso de aprendizaje.”²⁴ Un pigmento fotoluminiscente es un material que cambia el color de la luz que refleja o transmite como resultado de la absorción selectiva de la luz según su longitud de onda (que es el parámetro determinante del color). Este proceso físico es diferente a la fluorescencia, la fosforescencia y otras formas de luminiscencia, en las cuales el propio material emite luz.

Ciertos materiales absorben selectivamente ciertas ondas de luz, dependiendo de su longitud de onda. Los materiales que los seres humanos han elegido y producido para ser utilizados como pigmentos por lo general tienen propiedades especiales que los vuelven ideales para colorear otros materiales. Algunos de los pigmentos fotoluminiscentes disponibles comercialmente son Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4), Sulfuro de Calcio (CaS), Aluminosilicato de Calcio ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) Y Sulfuro de Zinc (ZnS).

Cada pigmento cuenta con un elemento dopante del que dependerá la intensidad y el tiempo de emisión. La duración está comprendida en periodos desde 30 segundos hasta los 4 minutos en longitudes de onda de 475 – 700 nm perteneciente a la luz visible. Otro factor determinante es la longitud de onda que absorben, ya que ciertos pigmentos presentan mayor eficiencia al exponerse a la



luz ultravioleta, como es el caso de los sulfuros, los cuales desde el momento de exposición presentan una emisión, mientras que los aluminatos no emiten al exponerse a esa misma longitud de onda (200-475 nm). Sin embargo, una vez retirada la fuente de luz, los aluminatos presentan una luminiscencia con gran intensidad por un periodo cerca de los 4 minutos, mayor que el de los sulfuros, que es de 30 segundos.

²⁴ Astudillo, G. S. (2015). Relevancia del parámetro color en el Código Técnico de edificación (CTE). En G. S. Astudillo, *Relevancia del parámetro color en el Código Técnico de edificación (CTE)* (pág. 6). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.



CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODO: LUMINISCENCIA EN PASTAS ARQUITECTÓNICAS

Capítulo II

MATERIALES Y MÉTODO: LUMINISCENCIA EN PASTAS ARQUITECTÓNICAS

Se determina la materia prima que se utilizara en esta investigación y la ruta que se debe seguir para caracterizarla, de igual forma se describen las técnicas de caracterización de materiales que se emplearan, se planifica el proceso de fabricación de las probetas, sus proporciones de cemento y porcentaje de pigmentos fotoluminiscentes, se determinan los tiempos de fraguado y curado, se describen las pruebas mecánicas que se le realizaran a las probetas de la pasta con adición de pigmentos fotoluminiscentes para garantizar las resistencias mecánicas y finalmente se describe el método para obtener los tiempos de emisión y absorción en el espectro electromagnético.

Las actividades y métodos que aquí se presentan fueron propuestos según el cronograma de trabajo establecido durante la estancia de investigación en el Instituto de ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ubicado en Madrid España.

2.1. Materias primas

Se determinó el tipo de materiales con los cuales se desarrolla el proceso experimental. Para la realización de la pasta con pigmentos fotoluminiscentes se caracterizaron dos cementos blancos, el BL I 52.5R y BL II 42.5R, disponibles en LAFARGE México, así como cuatro pigmentos fotoluminiscentes, uno derivado del sulfuro de zinc (ZnS) y tres derivados del aluminato de estroncio (SrAl_2O_4) los cuales quedaron identificados como: pigmento YG-1012, YG-1018 y YG-1300.

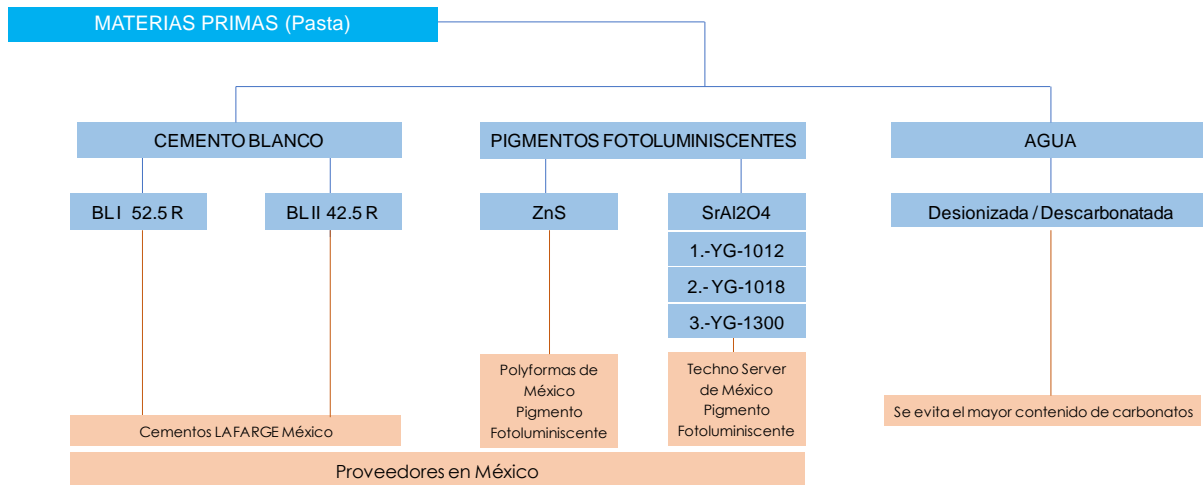


Diagrama 7 Materias primas para las pastas arquitectónicas a caracterizar. Realizado con fines didácticos.

Otro de los materiales utilizados es el agua. Para evitar que presentara mayor cantidad de carbonatos y otras impurezas, se desionizó mediante un proceso de destilación, y se descarbonató elevando su temperatura hasta los 100°C , esto con el propósito de tener la mayor pureza posible.

2.2. Técnicas instrumentales empleadas en la caracterización de materias primas

Para realizar la caracterización química, física y mineralógica de los pigmentos fotoluminiscentes, del cemento y de las pastas luminiscentes que se obtengan de la mezcla de estos, se emplearán técnicas instrumentales y procedimientos conocidos, utilizando la Normatividad específica para cada técnica, y con esto garantizar resultados adecuados.

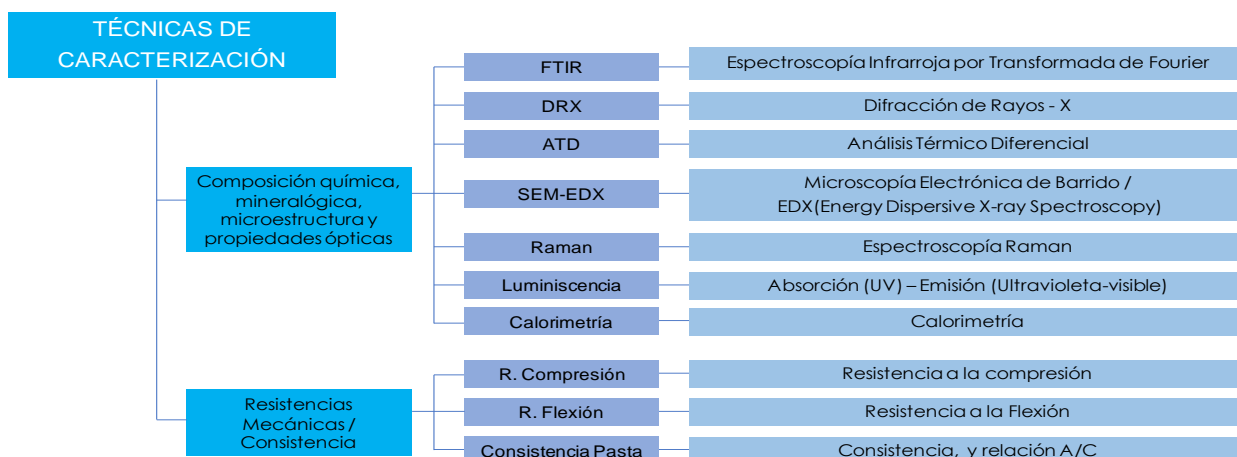


Diagrama 8 - Técnicas de caracterización de materias primas a emplearse en la caracterización de los cementos y los pigmentos fotoluminiscentes.

Todas las técnicas de caracterización que se mencionan en el diagrama anterior se realizaron en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ubicado en Madrid, España. Dichas técnicas fueron supervisadas por la Dra. María Teresa Blanco Varela.

- **2.2.1. Difracción de Rayos X (DRX)**

La técnica de Difracción de Rayos X (DRX) permite conocer la composición mineralógica cualitativa y cuantitativa de las muestras, ya que permite estudiar las fases cristalinas en las que se encuentran dichos elementos. Es una prueba no destructiva adecuada para la identificación de muestras. El método de difracción de rayos X se basa en que los átomos, moléculas o iones de un cristal se disponen de manera regular en el espacio de manera que la distancia entre ellos es del mismo orden que la longitud de onda de los rayos X, por lo que los cristales pueden producir fenómenos de difracción. Cuando un haz monocromático de rayos X incide sobre un cristal con un ángulo de incidencia θ , para que la radiación reflejada esté en concordancia de fase y de lugar a la difracción, es necesario que la diferencia de recorrido de dos rayos sea múltiplo de la longitud de onda. Este requisito viene definido por la ley de Bragg, que dice:

$$n \lambda = 2d \cdot \text{sen}(\theta)$$

Donde d es la distancia interplanar, n es un número entero que representa el orden de difracción, θ es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de la red cristalina y λ la longitud de la fuente de onda de rayos X.

Puesto que cada sustancia cristalina posee un único patrón de difracción, el empleo de esta técnica permite llevar a cabo un estudio preciso sobre diferentes fases cristalinas presentes en los materiales investigados.

Esta técnica se utilizó en la caracterización del cemento BL I 52.5 R, el pigmento fotoluminiscente derivado del sulfuro de zinc (ZnS) y 3 polvos fotoluminiscentes derivados del aluminato de estroncio (SrAl_2O_4). Los registros de los difractogramas se realizaron en un equipo BRUKER modelo D8 ADVANCE, que consta de un generador de alta tensión de 3 KW, un tubo de rayos X con ánodo de cobre (radiación $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$ de 1.540 \AA) que opera habitualmente a 40 Kv y

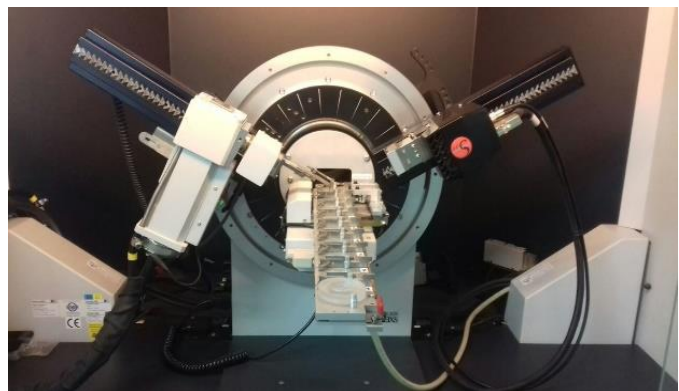
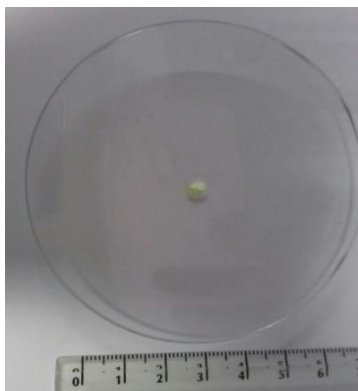


Ilustración 23 Imagen capturada con fines didácticos. Difractómetro D8 ADVANCE, (BRUKER-AXS). (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC)

50 mA. Además, cuenta con un detector Lynxeye, que posee una rendija antidispersión de 3 mm y un filtro KB (0.5 %), sin monocromador (no elimina $K\alpha_2$)



Para la técnica se utilizaron las siguientes condiciones de medición:

Generador de tensión: 40 kV

Generador de corriente: 30 MA

Rendija de divergencia: variable 6 mm

Tiempo/Paso: 0.5 s

Tamaño de paso: 0.01973°

Tiempo de escaneo: 23' 47''

2theta: 5-60°

Ilustración 24 Imagen capturada con fines didácticos; 1 g de pigmento fotoluminiscente para DRX

El registro de las muestras se realizó en polvo y el análisis cuantitativo se llevó a cabo empleando una rendijilla de divergencia variable de 6 mm, en un intervalo comprendido entre 5° y 60° para 2θ, con un valor de tiempo por paso de 0.5 s, y un tamaño de paso de 0.01973°.

• 2.2.2. Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectrometría infrarroja (IR) estudia la interacción entre la materia y la radiación infrarroja. Este tipo de radiación es aquella que corresponde a la región del espectro electromagnético que abarca las longitudes de onda entre 0.7 y 1000 μm , la cual proporciona información sobre las vibraciones de los enlaces químicos del material. La espectroscopia IR es sensible a la presencia de grupos funcionales en una molécula, es decir, a la presencia de fragmentos estructurales con unas propiedades comunes. Esto posibilita la identificación de especies químicas a través de la determinación de la frecuencia (número de ondas) a la que los distintos grupos funcionales presentan absorción en el espectro IR. Además, la intensidad de estas bandas proporciona información en torno a la concentración de la especie que genera dicha señal en la muestra.

Para esta prueba se necesitó una báscula digital de precisión, una prensa hidráulica de 10 toneladas, un espectrómetro y un software para el registro de los datos obtenidos. La prueba consistió en realizar una pastilla que sería sometida al espectro de infrarrojo para obtener la información requerida. Para generar la pastilla se limpiaron perfectamente las herramientas que se utilizaron con alcohol etílico, para poder evitar que las muestras se contaminaran. Así mismo, se utilizaron dos espátulas, una para pesar 1 mg de la muestra y otra para pesar 300 mg de KBr, que fueron necesarios en la generación de las pastillas. Posteriormente se usó un mortero para incorporar los compuestos moliendo y ejerciendo

presión hasta generar una mezcla homogénea. El polvo resultante se colocó en un molde para pastillas y se colocó en la prensa hidráulica durante 3 minutos a 5 toneladas de presión. Una vez transcurrido dicho tiempo, se incrementó la presión hasta 7.5 toneladas y pasados otros 3 minutos se aumentó hasta 10 toneladas, para que el resultado final fuera una pastilla compuesta de KBr más la pasta que deseaba analizarse.



Ilustración 25 - Imagen capturada con fines didácticos; Espectrómetro ATI MATTSON GENESIS, Prensa de 10 toneladas y pastilla obtenida mediante Cem BL I 52.5 R y bromuro de potasio (KBr) para análisis por FTIR. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC)

El espectrómetro IR que se empleó es un espectrómetro Ati Mattson Genesis para Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier. Las muestras sólidas se prepararon por el método comprimido de KBr (bromuro de potasio). En la preparación de las pastillas con el polvo fotoluminiscente se utilizó aproximadamente 1 mg de muestra y 300 mg de KBr. El rango de frecuencias cubierto fue desde 4000 cm^{-1} hasta 400 cm^{-1} . El espectro de infrarrojo se adquirió con 64 barridos y con una resolución espectral de 4 cm^{-1} . La precisión en la longitud de onda fue mejor de 0.01 cm^{-1} para cada punto de dato.

• 2.2.3. Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Termogravimétrico (TG)

La termogravimetría tiene su fundamento base en los cambios de masa como resultado de una variación de temperatura o por haber sometido un material a una temperatura establecida durante un periodo definido. Los cambios de masa identificados permiten determinar bajo qué condiciones los materiales se descomponen. Los resultados se expresan gráficamente a través de termogramas.

El análisis térmico diferencial y termogravimétrico se empleó con el fin de conocer las transformaciones fisicoquímicas que sufren los materiales con la temperatura, así como las variaciones de masa experimentadas. El equipo térmico que se utilizó para estas pruebas es capaz de medir simultáneamente el flujo de calor (DSC) y el cambio de peso (TGA) de una misma muestra desde la temperatura ambiente hasta 1500 °C . El equipo de análisis termogravimétrico tiene instalada una balanza de dos brazos, con sensibilidad de $0.1\text{ }\mu\text{g}$ y el DSC mide el flujo de calor de una muestra en un portamuestras en comparación con un portamuestras de referencia (previamente calibrado con una muestra estándar de zafiro).

El equipo que se empleó consiste en un TA SDT Q600. Las condiciones de trabajo registraron el calentamiento desde la temperatura ambiente hasta 1000 °C con una rampa de calentamiento de 10 °C/min en un crisol de platino bajo atmosfera de nitrógeno. La sensibilidad de la medición fue de 0.001 °C en ATD Y 0.1 µg en TGA.



Ilustración 26 - Imágenes capturadas con fines didácticos; Equipo utilizado para el Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Termogravimétrico (TG) TA SDT Q 600. 30 mg de pigmento fotoluminiscente utilizados para el Análisis, se utilizó un contenedor de platino. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

El SDT Q600 tiene incorporado un horno con movimiento automatizado y un sistema de ingreso de gases de purga en dirección horizontal y se encuentra regulado por un controlador digital de flujo másico. El equipo tiene también la capacidad de conmutar entre dos gases distintos. Además, posee una entrada independiente (tubo hecho de Inconel 600) en dirección al horno para introducir otros gases reactivos en dirección a la muestra objeto de estudio.

• 2.2.4 Calorimetría

La calorimetría es una de las ramas de la fisicoquímica más antiguas que existen, la cual se puede definir como un método analítico con el que es posible realizar la caracterización de un material y sus transiciones de fase de manera termodinámica. Esto se realiza por medio de la evaluación de ciertas propiedades térmicas, tales como capacidad calorífica, entalpía y temperatura de fusión, por mencionar algunas. Estas propiedades son indicadores de los cambios de estado o de las reacciones químicas que se pueden presentar en ciertos valores específicos o intervalos de temperatura.

El uso de un calorímetro permitió evaluar la liberación o consumo de calor llevado a cabo con el paso de los días durante el fraguado del concreto. De esta manera, se puede conocer el efecto de los pigmentos fotoluminiscentes en el tiempo de fraguado y en la velocidad de la reacción de hidratación respecto al concreto sin aditivos fotoluminiscentes.

Ilustración 27 Imagen capturada con fines didácticos. Calorímetro y 5 g de muestra para prueba de calorimetría, Marca Thermometric; Mod. TAM AIR. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC)



Estas pruebas se realizaron a los pigmentos fotoluminiscentes derivados del ZnS y del SrAl₂O₄. Dicha prueba consistió en colocar muestras de 5 g por un periodo de 5 a 7 días, aproximadamente. Durante este tiempo, la muestra quedó expuesta a temperatura ambiente. El material analizado, al presentarse una reacción, liberó o absorbió energía, según fuere el caso. Los resultados obtenidos en la muestra fueron registrados y, con el análisis correcto, fue posible determinar el comportamiento de la muestra analizada.

- **2.2.5. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

El análisis morfológico se realizó mediante microscopía electrónica de barrido. Dicha técnica electrónica permite obtener información local de la muestra, en contraposición de la mayoría de las técnicas que solo aportan una información media del espécimen investigado.

La microscopía electrónica de barrido (SEM) posibilita, no solo la visualización de la morfología característica de los materiales estudiados, sino también el estudio directo de la composición de los mismos. La información que se obtiene es dependiente de los distintos procesos físicos de interacción del haz de electrones de alta tecnología (20 – 1500 kV) con el material de estudio. "Cuando el haz de electrones es enfocado sobre la muestra, se producen una serie de transiciones electrónicas entre los distintos niveles de energía. El ion excitado se relaja a su estado inicial por la transferencia de un electrón de un orbital exterior a una capa interior dando lugar a la emisión de rayos X. Cada elemento tiene un espectro de emisión característico, lo que posibilita el análisis elemental del material." ²⁵

Dentro de los fenómenos que tienen lugar en la muestra bajo impacto de los electrones, uno de los más interesantes es la emisión de electrones secundarios. Los electrones secundarios son emitidos por la muestra en procesos inelásticos de ionización debido a la colisión con el haz incidente. Los electrones secundarios, dada su baja energía, pueden volver a ser absorbidos por átomos adyacentes de manera que no solo pueden escapar del espécimen de electrones secundarios generados en la superficie. Por este motivo, las imágenes formadas por electrones secundarios representan las características superficiales de la muestra.



Ilustración 28 Imagen capturada con fines didácticos. Microscopio JEOL 5400, acoplado a un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X de la marca OXFORD LINK-ISIS-EDX, Evaporador de carbono a alto vacío Cressington 208 CarbonTurbo, Las muestras secadas al vacío y metalizadas con carbón. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

El estudio se llevó a cabo con un microscopio JEOL 5400, acoplado a un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X de la marca OXFORD LINK-ISIS-EDX. Las muestras fueron secadas al vacío y metalizadas con carbón para poder ser observadas por medio de esta técnica, considerando que son muestras naturalmente dieléctricas.

²⁵ Técnicas de análisis y caracterización de materiales, ed. M. Faraldos and C. Goberna. 2002: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Biblioteca de Ciencias.

- **2.2.6. Espectroscopia Raman**

La espectroscopia Raman es una técnica de análisis basada en el proceso de dispersión Raman. Tanto la dispersión como la técnica son nombradas en honor a C. V. Raman, quien observó el fenómeno de dispersión en 1928. De manera general, la espectroscopia Raman evalúa los cambios vibracionales en los enlaces de una molécula al absorber un fotón de luz. Este fotón absorbido lleva la molécula de un estado basal a un estado virtual, en el que hay un exceso de energía, lo que lo hace un estado inestable para la molécula. Es por esto que la molécula liberará la energía adicional en forma de un fotón. Si la energía del fotón emitido es igual a la del fotón absorbido, se habla de una dispersión de Rayleigh o elástica, pero si la energía del fotón emitido es menor que la del fotón absorbido, se habla entonces de una dispersión de Raman o inelástica. La dispersión inelástica ocurre cuando parte de la energía del fotón absorbido se transfiere a la molécula, generando una vibración en los enlaces que la forman. “Dependiendo de los enlaces presentes, se obtendrán fotones dispersos con energías específicas, lo que permitirá identificar las vibraciones presentes y, por lo tanto, las moléculas que forman parte del material evaluado.”²⁶



Ilustración 29 – imagen extraída con fines didácticos. Espectrómetro FT-Raman (Bruker RFS/100) con microscopio acoplado que permite trabajar en bancada (geometrías de 90 y 180°) o en el microscopio (180°). Y 50 mg de pig YG-1300 para Espectroscopia Raman

Debido a que la información vibracional es específica para cada enlace químico, se puede decir que se cuenta con una especie de “huella dactilar química” de cada molécula, que permite una identificación exacta al evaluar la intensidad y el número de onda de cada señal presente. En el caso de la evaluación de concretos, la espectroscopia Raman será de ayuda para determinar qué fases o compuestos se forman en el concreto con la presencia de los agregados fotoluminiscentes y si éstos conservan su integridad después de la hidratación y fraguado del concreto.

²⁶ Smith, E., Dent, G., *Modern Raman Spectroscopy. A Practical Approach*, John Wiley & Sons (2005), pp: 1-20

2.3. Elaboración de probetas y ensayos físico-mecánicos en pastas

Se realizó un diseño de 6 mezclas, así como la dosificación de las materias primas para la elaboración de probetas en diferentes medidas, y proporciones, dependiendo del ensayo mecánico o físico al cual sería sometida. Cabe señalar que se utilizaron procedimientos establecidos y se siguió paso a paso lo establecido por la Norma UNE EN 196-1: 2005 para las pruebas mecánicas de compresión y flexión, así como lo establecido en la Norma UNE-EN 196-3: 2017 para las pruebas de consistencia de las pastas.

Cabe señalar que uno de los objetivos principales de esta investigación es crear una pasta luminiscente, y para obtener datos acerca de la absorción y emisión espectroscópica se estableció utilizar proporciones de pigmento donde se obtuviera como resultado una pasta la cual será perceptible en el espectro correspondiente a la luz visible, es de decir en una longitud comprendida entre los 480-700 mn aproximadamente.

- **PASO 1. Diseño de mezclas**

El siguiente diagrama presenta las cantidades utilizadas en cada una de las mezclas. En todos los casos se necesitaron 130 g de mezcla, en diferentes proporciones de las materias primas utilizadas. La proporción se determinó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C979/C979M -10, que incluye lo referente al uso de los pigmentos para la coloración integral del concreto, la cual indica que puede utilizarse hasta en un 10%, en este caso también se utilizó el 15 y 20% para obtener más datos sobre la influencia que los pigmentos tienen sobre las pastas de cemento.

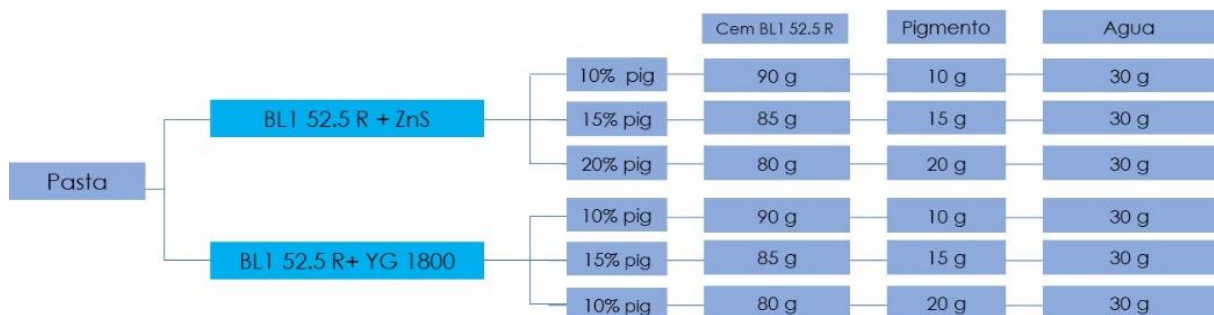


Diagrama 9 Dosificación en diferentes proporciones, la mezcla incluye: Cemento BL1 52.5 R, Pig. Fotoluminiscente ZnS y del YG-1018 derivado del SrAl₂O₄, y agua.

- **PASO 2. Dosificaciones cemento-agua y pigmento fotoluminiscente**

Se realizaron diferentes dosificaciones en las cuales se aumentó la cantidad de pigmento utilizada en cada una. De esta manera se pretende conocer de manera más precisa cuál es la influencia de los pigmentos en el cemento BLI 52. R. Las proporciones fueron de 10, 15 y 20 % de pigmento con una relación agua-cemento de 3, es decir, por cada 100 g de mezcla anhidra, se utilizaron 30 g de agua desionizada y descarbonatada.

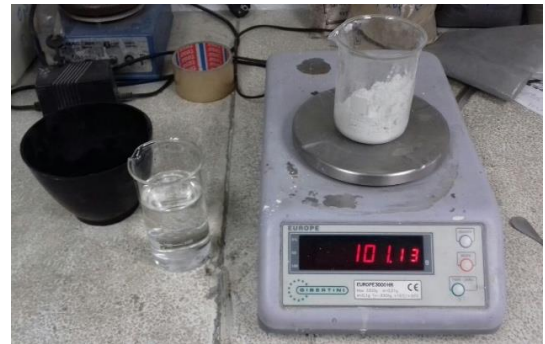


Ilustración 30 imagen obtenida con fines didácticos; dosificación de las materias primas. Se utilizó una báscula digital para mayor exactitud de las mezclas. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

La materia prima permaneció bajo las mismas condiciones de almacenaje y se cuidó que las dosificaciones realizadas no estuvieran expuestas a sufrir una carbonatación, lo cual podría modificar los resultados. Una vez dosificadas, se aislaron las muestras en bolsas selladas para evitar la contaminación de las mismas.

- **PASO 3. Distribución del compuesto**

Cuando la dosificación de las mezclas estuvo completa, el siguiente paso consistió en la distribución de las mezclas. Para poder realizar la distribución se utilizó una túbula, la cual está formada por soportes con recipientes contenedores. En dichos contenedores se depositó la mezcla de los pigmentos y el cemento BL I 52.5 R, adicionando unos balines de caucho para que la mezcla quedara perfectamente homogénea. Una vez cerrado el contenedor de la mezcla anhidra, se activó la túbula por un periodo de 3 minutos, dando como producto final una mezcla perfectamente homogénea.

Una vez que la mezcla anhidra estuviera lista, el siguiente consistió en conseguir una mezcla perfectamente hidratada. Para ello se utiliza una mezcladora, en la cual se añadió agua desionizada y descarbonatada, y se mezcló durante 3 minutos. Una vez más, los materiales que componen la pasta fueron homogenizados.



Ilustración 31 Imagen obtenida con fines didácticos; turbula utilizada para homogenizar las mezclas anhidra, y Mezcladora utilizada para las pastas hidratadas, todas las proporciones estuvieron por 3:00 minutos para garantizar una mezcla hidratada homogénea. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

- **PASO 4. Consistencia de la mezcla**

Para la prueba de consistencia se utilizó un mini cono inspirado en el cono de Abrams, cuyas dimensiones son proporcionales a éste (3:5), siendo una versión reducida de dicho cono. Las medidas del mini cono son un diámetro inferior de 19 mm, un diámetro superior de 38 mm y una altura de 57 mm. Para llevar a cabo el ensayo se colocó el cono en el centro de una placa metálica circular, la cual cuenta con un mecanismo que permite que la pasta se expanda mediante “golpes” que se aplican de manera uniforme en toda la placa. Sobre esta misma se trazan 4 diagonales. Una vez vertido el material en el centro de la placa y transcurrido un lapso de un minuto, se levanta el cono, y después de diez “golpes”, cuando la pasta esté extendida sobre la placa, se calcula el diámetro medio de la pasta a lo largo de las diagonales y se obtiene un promedio de las medidas obtenidas.

El ensayo en mini cono es un ensayo no normalizado, que es utilizado para cuantificar la capacidad de flujo de las pastas de cemento. Generalmente, existe una cierta correlación entre los resultados del ensayo y la relación agua-cemento. “Los resultados obtenidos con el mini cono están relacionados, en ciertos casos, con el límite de comienzo de flujo, siendo la cantidad de tiempo de flujo inversamente proporcional al diámetro del cono: a mayor cantidad de tiempo, menor diámetro”²⁷ La principal ventaja de este ensayo es la facilidad de realizarlo, puesto que requiere de poca preparación y una pequeña cantidad de materiales (un volumen inferior a 40 mL). Además, este ensayo es fácilmente reproducible.

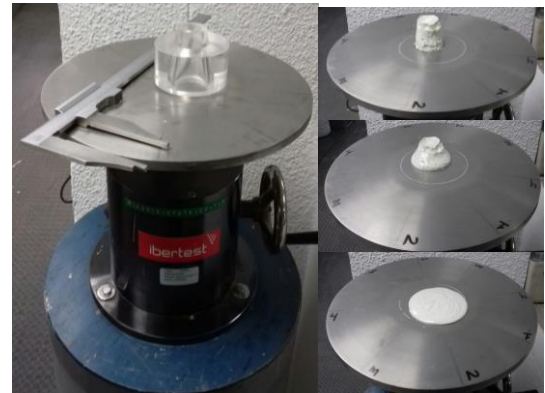


Ilustración 32 Imagen obtenida con fines didácticos; mecanismo utilizada para la prueba de consistencia en las pastas, se puede observar el proceso de expansión de la pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

Los resultados obtenidos muestran que el modelo reológico de la pasta puede emplearse en el diseño de mezclas y reduce el trabajo intensivo en el laboratorio, el tiempo de ensayo y los materiales empleados. Estudiando la pasta de cemento, es posible prever el comportamiento de la misma. Para la determinación de la fluidez de la pasta de cemento, se utiliza un cono de Marsh con el propósito de medir los tiempos de flujo de un volumen de referencia de pastas de diferentes composiciones. El objetivo consiste en medir el tiempo empleado por la pasta de cemento para fluir por gravedad a través del cono rellenando un volumen de referencia (40 mL para el presente trabajo de investigación). Al tratarse de un volumen pequeño, la complejidad y la duración del ensayo son menores.

²⁷ A. Mebrouki, N. B. (17-31 abril-junio 2010). Aplicación del diseño estadístico de mezclas para la formulación de pasta autocompactante. *Materiales de Construcción* Vol. 60, 20-21.

- **PASO 5. Elaboración de probetas**

Fue necesaria la elaboración de probetas con los tamaños y las dosificaciones ya establecidas para someterlas a los ensayos de flexión y compresión, así como para las pruebas de absorción y emisión. En el caso de las resistencias mecánicas las probetas son del mismo tamaño. El procedimiento consistió aplicar desmoldante a moldes metálicos y agregar las pastas ya dosificadas y mezcladas. Para poder fabricar las probetas que fueron sometidas a ensayos mecánicos de flexión y compresión se utilizaron moldes de 6.0x1.0x1.0 cm.



Ilustración 33 imagen obtenida con fines didácticos; moldes para la elaboración de probetas de pastas para pruebas mecánicas y de luminiscencia, a dichos moldes se les aplico una capa de desmoldante, para pruebas de flexión y compresión 6.0x1.0x1.0 cm. Y para pruebas de luminiscencia 6.0x7.0x1.0 cm.

Por otro lado, para las pruebas de luminiscencia, en las cuales se obtendría la absorción y emisión, se necesitaron moldes de 6.0 x7.0x1.0 cm. En total se realizaron 7 probetas, de las cuales 1 es de cemento BL I 52.5 R, 3 contienen pigmento fotoluminiscente en proporciones de 10, 15 y 20% de ZnS y 3 más con 10, 15 y 20% del pigmento derivado del SrAl₂O₄

Todas las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas a partir de su elaboración, así mismo fueron etiquetadas con la dosificación, y la fecha, para facilitar su identificación y un mayor control de los tiempos de fraguado.

- **PASO 6. Determinación de los tiempos de fraguado**

Una vez que las probetas fueron desmoldadas, el siguiente paso consistió en la determinación de los tiempos en los cuales se realizarían los ensayos destructivos de flexión y compresión. Por lo tanto, las probetas fueron llevadas a un cuarto de curado, donde se mantuvieron a una humedad relativa mayor o igual al 95%, y a una temperatura constante de 21° C, con un rango de $\pm 2^\circ$ C.



Ilustración 34 imagen obtenida con fines didácticos; muestras de pastas en proceso de curado a una humedad relativa $\geq 95\%$ y una temperatura de 21° C, con un rango de $\pm 2^\circ$ C. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

El periodo de curado estuvo determinado por las pruebas de flexión y compresión que se realizaron en cada una de las muestras a 3, 7, 14 y 28 días.

- **PASO 7.- Determinación de resistencias mecánicas**

Una de las propiedades más importantes de los materiales, y en específico de los cementos, es “la resistencia mecánica, esta se puede definir como la habilidad de un material para oponerse a la aplicación de una fuerza sin fracturarse o deformarse plásticamente.”²⁸ De acuerdo a la ciencia de los materiales, cada material tendrá una cierta resistencia mecánica de acuerdo a su microestructura, composición química y el método de síntesis y/o procesamiento con el que se haya obtenido.

Para los cementos, concretos, pastas y morteros se suelen evaluar dos propiedades mecánicas, que son la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. Es importante que dichos materiales cumplan con los requerimientos de resistencia mecánica solicitados tanto en normas nacionales, como internacionales. con el fin de que puedan ser utilizados en construcciones, evitando así la falla de las estructuras arquitectónicas construidas.



Ilustración 35 imagen obtenida con fines didácticos; muestras de pastas sometidas en ensayo destructivo a flexotracción y compresión. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

- **PASO 8. Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión hace alusión al mayor esfuerzo posible que el material puede llegar a resistir al aplicarse un esfuerzo de flexión. Dicho esfuerzo se puede entender como la aplicación de una fuerza transversal a la sección longitudinal de un elemento alargado, lo que, al realizar una suma de esfuerzos, se puede interpretar como una mezcla entre esfuerzo de compresión y tensión.

Al igual que la resistencia a la compresión, se realizaron pruebas de resistencia a la flexión en los concretos con agregados fotoluminiscentes para poder determinar el efecto de éstos en dicha propiedad, y poder obtener un resultado sobre la posible aplicación de vigas fotoluminiscentes. Los ensayos de resistencia a la flexión fueron realizados con un equipo HMOR 422 para módulo de ruptura, siguiendo la norma española UNE-EN 196-1: 2005, mencionada anteriormente. Al igual que las probetas del ensayo de resistencia a la compresión, las probetas específicas para la evaluación de la resistencia a la flexión se encuentran detalladas en la norma española UNE-EN 196-3: 2017.



Ilustración 36 imagen obtenida con fines didácticos; equipo Nietzsche para rotura a Flexotracción de las probetas de pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).

²⁸http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm. (25 de 01 de 2018). *mecapedia.uji.es*. Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm

- **PASO 9. Resistencia a la compresión**

Esta propiedad mecánica de los materiales hace referencia al mayor esfuerzo posible que un material puede resistir cuando se es aplicado un esfuerzo de compresión. Se define como el esfuerzo perpendicular a la superficie de aplicación de un material, que será originado por dos fuerzas de igual magnitud y dirección, pero sentido contrario, con el fin de reducir el tamaño de la pieza.

La resistencia a la compresión del concreto adicionado con pigmentos fotoluminiscentes fue evaluada con el objetivo de determinar si es posible utilizar dichos pigmentos sin alterar la capacidad del concreto para soportar pesos considerables encima. Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron con la ayuda de una prensa o máquina universal para ensayos de compresión, siguiendo los estatutos mencionados por la norma española UNE-EN 196-1: 2005, que trata sobre los métodos de ensayos de cementos. Las probetas de este ensayo se realizaron según lo indicado por la norma española UNE-EN 196-3: 2017, que se refiere a la consistencia ideal de los cementos tanto para pruebas mecánicas como para uso en la arquitectura.



Ilustración 37 imagen obtenida con fines didácticos; prensa empleada para la rotura de las probetas de pasta a compresión. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC)

- **PASO 10. Propiedades luminiscentes**

La característica principal de los pigmentos que se pretenden adicionar al concreto es la luminiscencia, poseen la capacidad de producir luz visible después de haber absorbido luz con anterioridad. Para poder realizar la investigación adecuada de dicha propiedad, se requiere de conocer qué fuentes de activación pueden ser utilizadas para activar la propiedad luminiscente, así como tener conocimiento del intervalo del espectro electromagnético que puede ser absorbido por el material.

Para poder activar un material luminiscente es necesaria la presencia de radiación del espectro electromagnético, siendo más específico de la región comprendida entre la radiación ultravioleta y la infrarroja. Las fuentes de activación de los materiales luminiscentes varían de acuerdo al rango de radiación que se desea abarcar. Entre las fuentes más utilizadas se encuentran las lámparas de deuterio, xenón, mercurio y de halógenos, siendo esta última categoría la que abarca el mayor intervalo de longitudes de onda, yendo desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

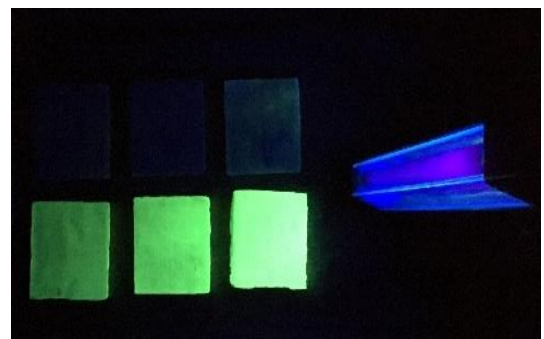


Ilustración 36 imagen obtenida con fines didácticos; Probetas activadas con lámpara de luz Ultravioleta en un rango de 360 – 450 nm.

- **PASO 11. Absorción espectroscópica**

Una de las técnicas de análisis de las propiedades luminiscentes de un material es la espectroscopia de absorción atómica. Dicha técnica se basa en la absorción de ciertos tipos de radiación con longitudes de onda previamente determinadas. La radiación se absorbe de manera selectiva, siendo capturada por átomos con niveles energéticos con diferencias energéticas tales que coincidan con la energía de los fotones absorbidos.

Ilustración 37 imagen obtenida con fines didácticos; Espectrómetro, para obtener la absorción espectroscópica de las probetas de pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).



Siguiendo la ley de Beer-Lambert, que se refiere a la atenuación de la luz debido a las propiedades del material a través del que viaja, se puede determinar la cantidad de fotones absorbidos por el material luminiscente, sabiendo de antemano la longitud de onda e intensidad tanto de la luz emitida por el pigmento como de la luz incidida sobre el mismo.

- **PASO 12. Fosforescencia**

Como ya se había mencionado, la luminiscencia corresponde a la emisión de radiación visible por un material como consecuencia de su absorción de energía sin implicar grandes cantidades de radiación térmica en el material. Se pueden distinguir dos tipos de luminiscencia según el tiempo de duración. Para un pequeño lapso de tiempo, $t \leq 10^{-3}$ segundos, entre excitación y emisión, el proceso es conocido como fluorescencia.

Ilustración 38 imagen obtenida con fines didácticos; Fluorímetro para obtener la emisión espectroscópica de las probetas de pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).



La fluorescencia cesa tan pronto como la fuente de excitación es removida. Para un tiempo de decaimiento mucho más largo ($t \geq 10^{-3}$ segundos) el proceso es conocido como fosforescencia. Este proceso puede continuar un período largo de tiempo después de que la fuente de excitación es removida. Para la evaluación de la fosforescencia de las pastas con las adiciones de los pigmentos fotoluminiscentes en diferentes proporciones, se realizaron probetas donde fue posible realizar el análisis de estos parámetros. Cabe señalar que se realizaron con distintas proporciones del pigmento YG-1018 derivado del aluminato de estroncio (SrAl_2O_4).



CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN. RESULTADOS OBTENIDOS

Capítulo III

CARACTERIZACIÓN. RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos de las técnicas de caracterización aplicadas a la materia prima y las pastas descritas en el capítulo anterior, cabe señalar que algunas actividades se complementaron para obtener mayor precisión en los resultados. Como resultado de la caracterización se describe la composición de los cementos, los pigmentos fotoluminiscentes, y las pastas fotoluminiscentes, en cada técnica se precisan los datos encontrados, los cuales indican su composición física, química y su comportamiento mecánico y fotoluminiscente. Una vez que se caracterizó la materia prima se analizó la influencia de los pigmentos fotoluminiscentes en un medio cementante, destacando su comportamiento físico, químico y mecánico.

3.1. Caracterización de los cementos

En la norma UNE-EN 197-1:2011 se especifica que el cemento BL I 52.5 R está compuesto de un 95-100 % de clinker y un 0-5 % de componentes minoritarios, ha de tener una blancura de $L^* \geq 85$, un inicio de fraguado superior a 45 minutos y alcanzar resistencias de 30 MPa a los dos días de curado y 52.5 MPa a los 28 días.

La composición química y mineralógica de los dos cementos blancos seleccionados, BL I 52.5 R y BL II 42.5 R, se caracterizó de acuerdo al siguiente esquema:



Diagrama 10 Técnicas de caracterización utilizadas en los cementos BL I 52.5 R y BL 2 42.5 R

- **DRX de los cementos BL I 52.5 y BL II 42.5 R**

La primera prueba para la caracterización fue la difracción de rayos X. de acuerdo con los resultados obtenidos con este análisis, el cemento BL I 52.5 R está constituido por alita, belita, aluminato tricálcico, trazas de yeso, anhidrita y portlandita, principalmente.

A partir del DRX realizado al cemento BL II 42.5 R, se observó que posee las reflexiones correspondientes a los silicatos y aluminato cálcico ya descritos, así como las de la calcita, basanita y cantidades casi imperceptibles de anhidrita y portlandita.

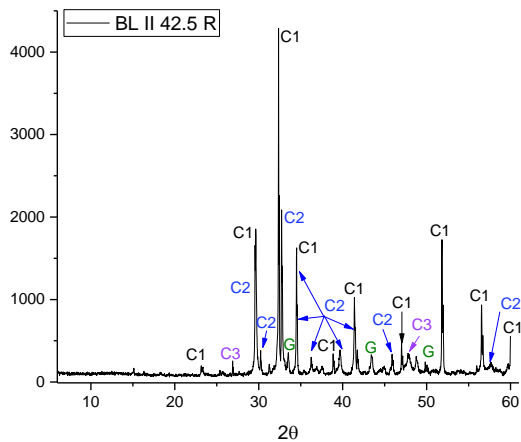


Ilustración 40 - DRX de Cem BL II 42.5 R; C1=Calcium Silicate (Ca_3SiO_5), C2=Calcium Silicate (Ca_2SiO_4), C3= Calcium Aluminum Oxide ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) G= Gypsum, syn ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

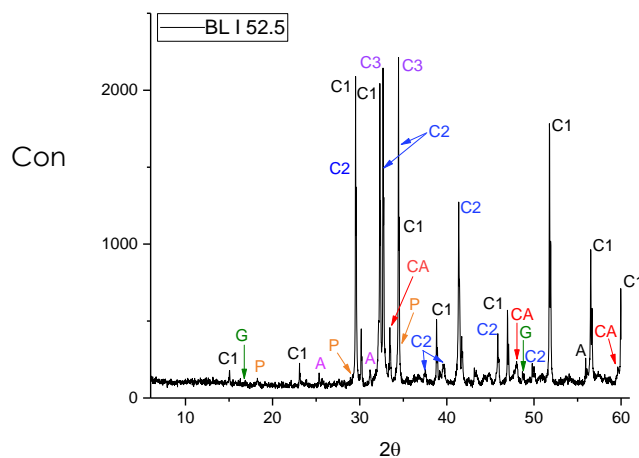


Ilustración 39 - DRX de Cem BL I 52.5 R; C1=Calcium Silicate (Ca_3SiO_5), C2=Calcium Silicate (Ca_2SiO_4), C3= Calcium Silicate Oxide ($\text{Ca}_3\text{SiO}_4\text{O}$), A=Anhydrite, syn (CaSO_4) P= Portlandite, syn ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y G= Gypsum, syn ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Estos resultados se pueden observar que dichos cementos cumplen con la norma antes mencionada, por lo que se procedió con las pruebas programadas para buscar otros compuestos.

- **FTIR de los cementos BL I 52.5 R y BL II 42.5 R**

A través de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, el cemento BL I 52.5 R presentó las absorciones características de los silicatos. En 3643 posee una banda aguda que es característica de la portlandita, y en la zona de carbonatos (1426, 713 cm^{-1}) hay bandas características, lo que indica una ligera meteorización de la muestra.

Por otra parte, el cemento BL II 42.5 R no presenta la banda característica de la portlandita, pero sí posee las de los silicatos cálcicos. Adicionalmente, se observan bandas intensas en la zona de los carbonatos (1426, 878 y 713 cm^{-1}), características de la calcita, lo que indica que se ha adicionado al cemento filler calizo.

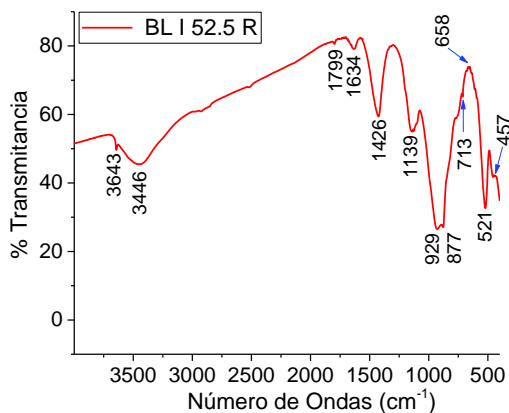


Ilustración 41 FTIR de BL I 52.5 R

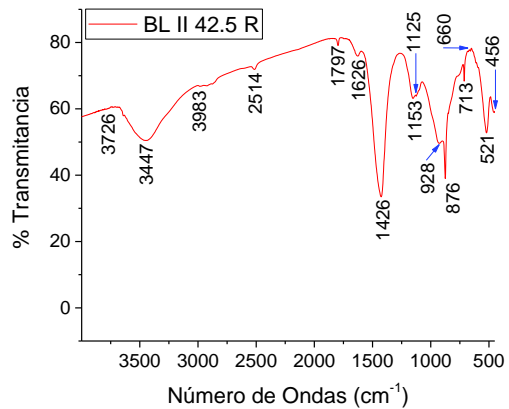


Ilustración 42 FTIR de BL II 42.5 R

- **ATD DE LOS CEMENTOS BL I 52.5 R y BL II 42.5 R**

A través del análisis térmico diferencial se ven 3 señales endotérmicas que corresponden con tres pérdidas de masa en las curvas TG en el cemento BL I 52.5 R. Hasta 200 °C se pierde 0.14%, lo cual podría ser de yeso. En 380 °C se pierde el agua de la portlandita (0.33%) (eq. [1]), cuyo contenido en el cemento sería de 1.3%. Finalmente, a mayor temperatura, llegando a 700 °C se pierde CO_2 (2.27%) (eq. [2]) debido a la descomposición térmica de la calcita, lo que equivale a un 5 % de calcita en la muestra.

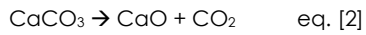
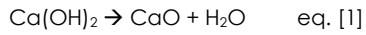
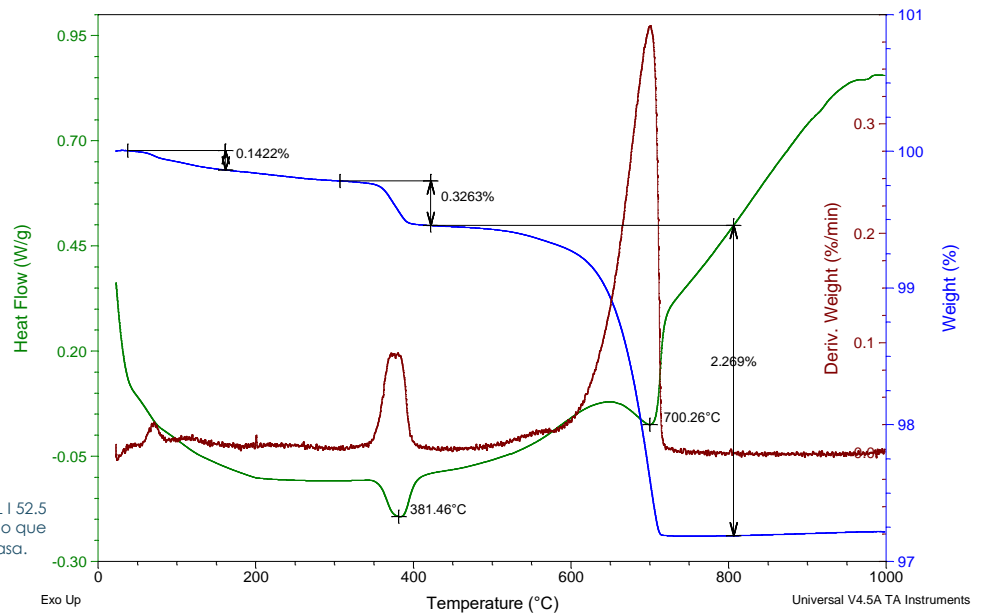
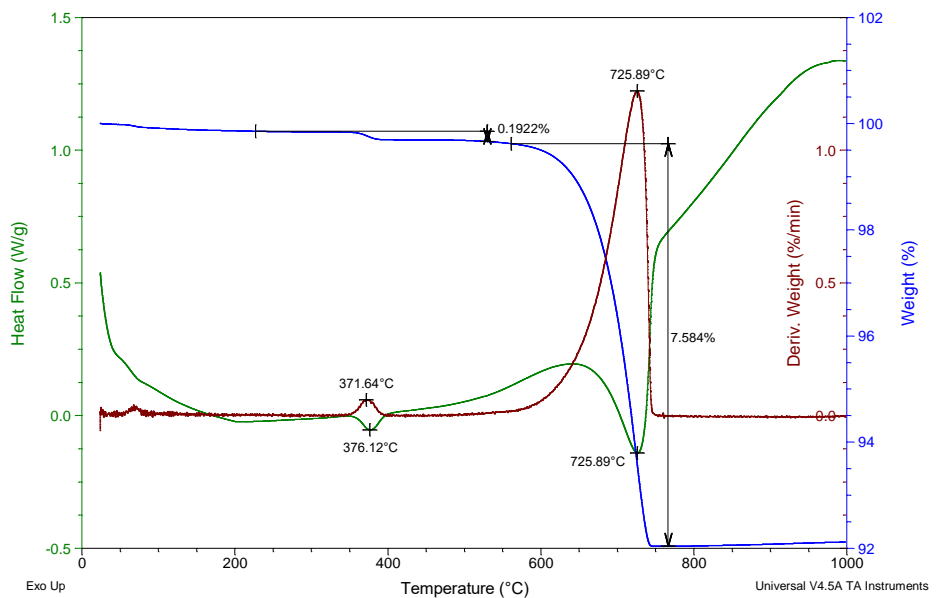


Ilustración 43 - Análisis Térmico Diferencial de BL I 52.5 R, se observan las 3 señales endotérmicas, lo que significa pérdida de masa.



A través del mismo análisis, pero en el cemento BL II 42.5 R, se ven 2 señales endotérmicas que corresponden con dos pérdidas de masa en las curvas TG. En 376 °C se pierde 0.19%, y podría ser de portlandita, que en este caso estaría en un 0.8% en el cemento. La segunda pérdida se registró alrededor de 725° C, donde se pierde CO₂ debido a la descomposición térmica de la calcita (7.58%), lo que indica una adición de caliza al cemento del 17%. Esta pérdida es mucho mayor que la registrada en el cemento BL I 52.5 R.

Ilustración 44 - Análisis Térmico Diferencial de BL II 42.5 R



Dada la adición de caliza que contiene el cemento BL II 42,5R, se decidió simplificar el sistema y en adelante trabajar solo con el cemento BL I 52.5 R.

- **Calorimetría de conducción**

A continuación, se presentan las curvas de evolución del calor y de calor de reacción a los 7 días de hidratación para el cemento BL I 52.5. Las muestras estuvieron expuestas por 120 horas (equivalentes a 5 días), en las cuales se puede apreciar la velocidad y evolución del calor durante el proceso evaluado, así como el calor de reacción correspondiente a la hidratación del cemento.

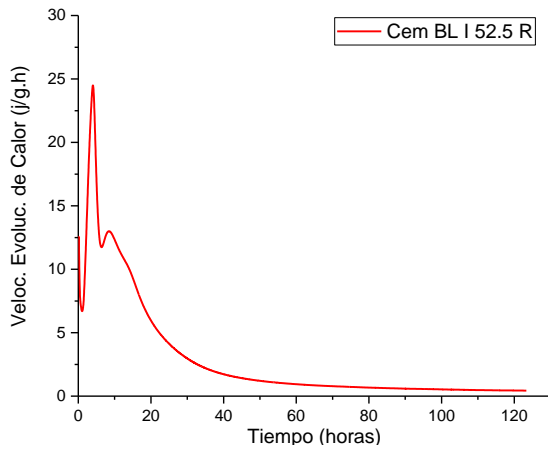


Ilustración 45 - Calorimetría; Velocidad y Evolución del calor (j/g.h)

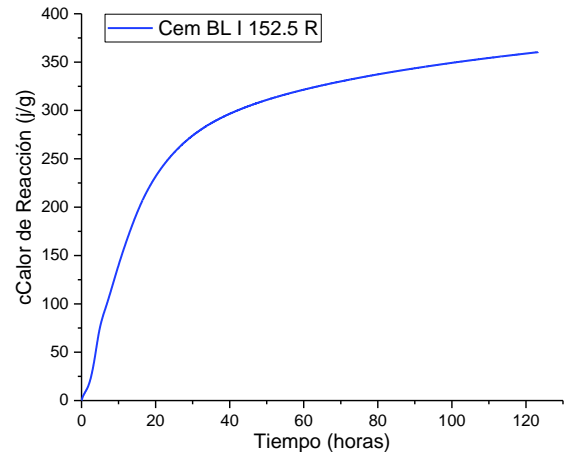


Ilustración 46 - Calorimetría; calor de reacción (j/g)

Los resultados presentaron la tendencia típica de la reacción de hidratación de un cemento BL I 52.5 R, siendo algo esperado con anterioridad, debido a que este tipo de cementos han sido estudiados y analizados extensivamente tanto en otros casos de estudio, como en normas regulatorias de alcance internacional. Con estos resultados pudo ser posible realizar la comparación y análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas de calorimetría de pastas arquitectónicas con pigmentos adicionados en su composición, una vez que dichos resultados hubieran sido obtenidos.

3.2. Caracterización de los pigmentos fotoluminiscentes

El estudio de la composición y el análisis de los 4 pigmentos fotoluminiscentes es de gran importancia en este estudio. Para lograr identificar la composición química y mineralógica, microestructura y propiedades ópticas se realizaron las siguientes técnicas de caracterización:

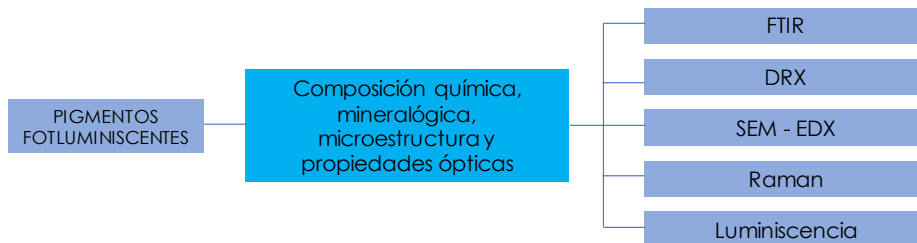


Diagrama 11 Caracterización de los 4 Pigmentos: ZnS, YG 1012, YG 1018 Y YG 1300. En este esquema se muestran las pruebas a las cuales serán sometidos los pigmentos fotoluminiscentes.

De acuerdo con los datos obtenidos por el proveedor de los pigmentos, el pigmento ZnS está constituido por sulfuro de cinc (ZnS) y los demás (pigmentos: YG 1012, YG 1018 y YG 1300) en base aluminato de estroncio (SrAl_2O_4). A continuación, se describirán los resultados obtenidos en cada técnica de caracterización.

- **3.2.1 Pigmento fotoluminiscente ZnS**

La composición química, mineralógica, microestructura y propiedades ópticas de estos Pigmentos se determinó por las técnicas: **DRX, SEM – EDX, Raman, Absorción y Emisión.**

- **DRX Pigmento fotoluminiscente ZnS**

En la difracción de rayos X realizada al pigmento basado en ZnS puede observarse que existe la presencia de los máximos de difracción característicos del sulfuro de zinc, particularmente los picos de la wurtzita (ZnS), que es una de las dos formas cristalinas de dicho compuesto.

Los máximos de difracción característicos de la wurtzita se encuentran a 26.82, 27.87, 30.29, 47.36 y 50.84°. Comparando la información reportada anteriormente con los resultados que fueron obtenidos, se puede determinar que el pigmento luminiscente está compuesto casi en su totalidad de sulfuro de zinc en fase wurtzita.

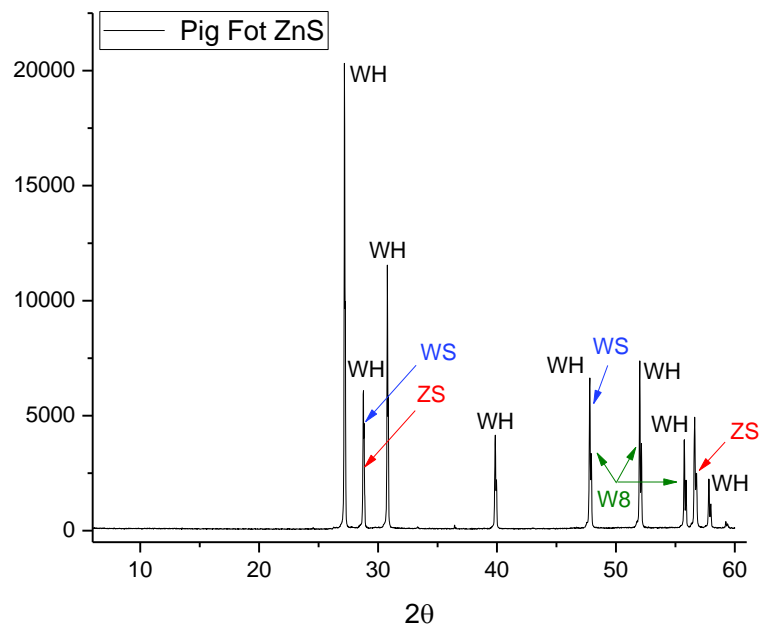


Ilustración 47 difracción de rayos X realizada al pigmento basado en ZnS puede observarse que existe la presencia de los picos característicos del sulfuro de zinc. ; donde WS= Wurtzite-2H, syn (ZnS)

- **SEM pigmento Fotoluminiscente ZnS**

Al realizarse la microscopía electrónica de barrido, se puede observar que el material presenta un patrón morfológico constante, formado por poliedros de superficie lisa.

Calculo [at.%]				
Método Automatic PB-ZAF (Mod.)				
EL	Punto 1		Punto 2	
	C Atom. [at.%]	C. Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C. Error [wt.%]
O	4.98	0.4	5.29	0.4
S	45.30	1.1	45.38	1.0
Zn	49.72	1.8	49.33	1.7
TOTAL:	100.00		100.00	

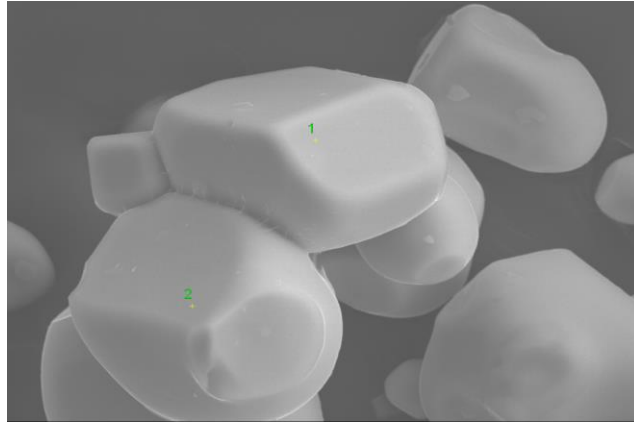


Tabla 5 porcentaje atómico del punto 1 y 2 del pigmento fotoluminiscente ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)

Ilustración 48 SEM del pigmento ZnS 1, Fecha:04/10/2017 12:45:18, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:3000x, HV:20,0kV, en la tabla se puede observar el porcentaje atómico presente de cada elemento en la muestra.

El análisis por espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDX) reveló que dicho pigmento se compone únicamente por S y Zn. De acuerdo con dicho análisis, la proporción atómica S/Zn es próxima a 1/1, lo que es coherente con la identificación de sulfuro de zinc realizada por difracción de rayos X.

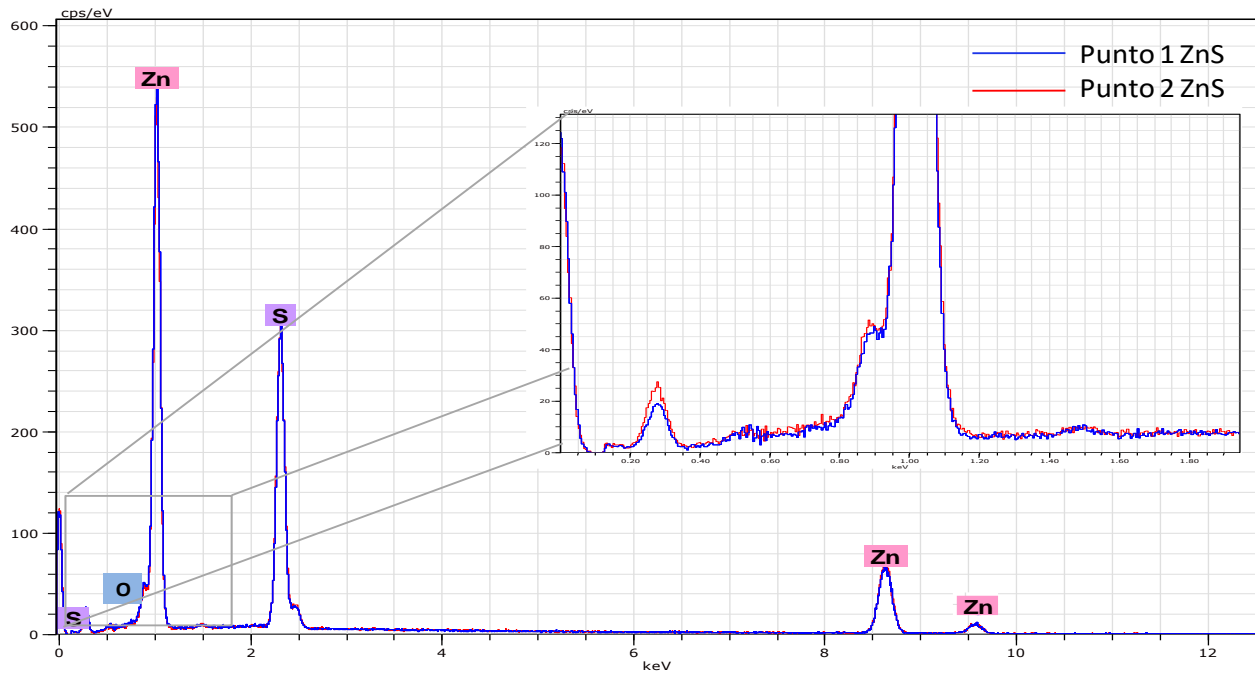


Ilustración 49 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan del punto 1 y 2 del pigmento fotoluminiscente ZnS.

- **MICRO-RAMAN del pigmento fotoluminiscente ZnS**

En la ilustración 50 se muestra el espectro Raman de la muestra ZnS en varios puntos, observándose la homogeneidad de la misma, al ser todos los espectros iguales.

De acuerdo a lo reportado anteriormente tanto por Cheng como por Fairbrothe, el espectro obtenido corresponde con ZnS, aunque la ausencia de la señal a 286 cm^{-1} podría indicar que corresponde a una estructura hexagonal en lugar de una estructura cúbica.

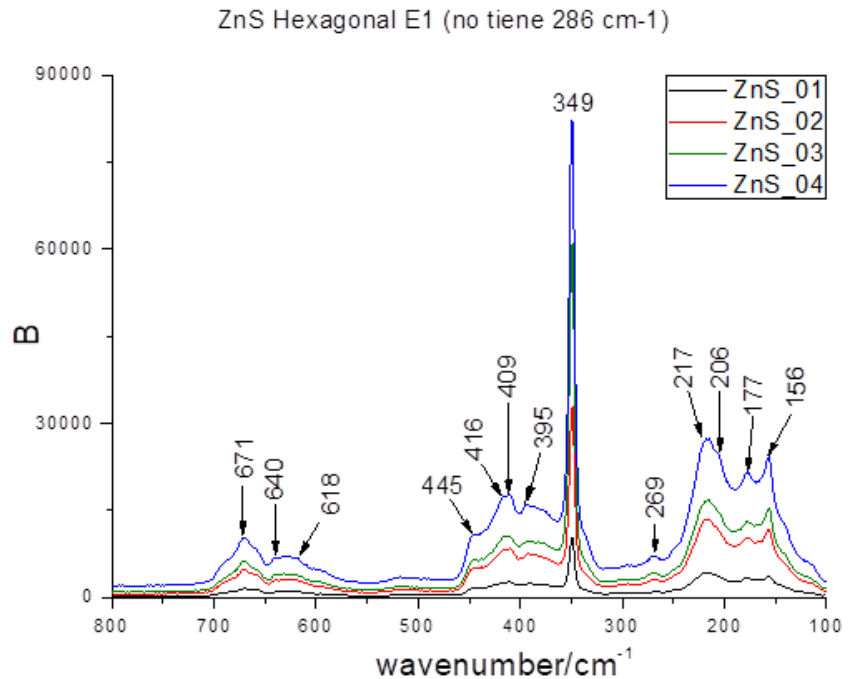


Ilustración 50 espectro Raman de la muestra ZnS en varios puntos, observándose la homogeneidad de la misma, al ser todos los espectros iguales.

- **Absorción y Emisión**

Una vez realizada la prueba en el espectrofotómetro, se determinó que el pigmento presenta una absorción máxima en los 300 nm (80% A), que corresponde en el espectro de la luz ultravioleta. a través de un fluorímetro se obtuvo que la emisión máxima se presenta en 530 nm, la cual pertenece al espectro de la Luz visible.

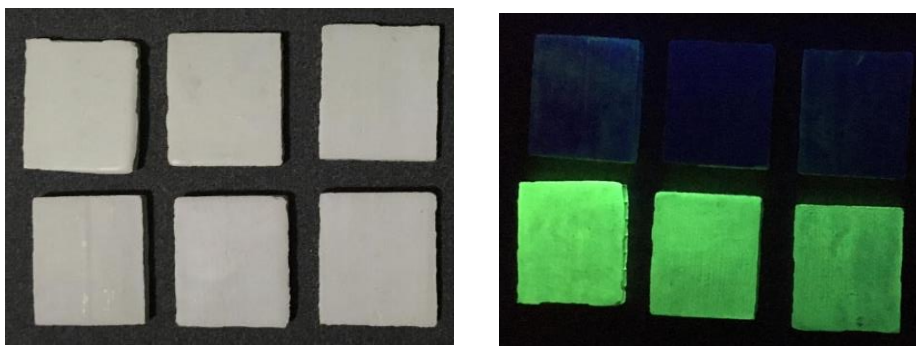


Ilustración 51 en la imagen izquierda se puede apreciar las probetas en estado de absorción, y en la imagen derecha se puede observar las probetas activadas por una fuente de luz ultravioleta, emisión.

- **3.2.2 Pigmentos fotoluminiscentes de SrAl₂O₄ (YG-1012, YG-1018 Y YG-1300)**

Los pigmentos en base aluminato de estroncio se identifican por parte del proveedor como YG 1012, 1018 y 1300 y, de acuerdo a las especificaciones de dicho proveedor, todos los pigmentos se encuentran dopados con el elemento europio (Eu).

La composición química, mineralógica, microestructura y propiedades ópticas de estos pigmentos se determinaron por medio de las siguientes técnicas: DRX, ATD, FTIR, SEM – EDX, Raman, Absorción y Emisión.

- **DRX de los pigmentos fotoluminiscentes de SrAl₂O₄: YG-1012, YG-1018 e YG-1300**

En la difracción de rayos X realizada al pigmento YG-1012, las reflexiones más intensas corresponden con las características para el compuesto SrAl₂O₄. Adicionalmente, se observaron picos de otro aluminato más pobre en estroncio, SrAl₄O₇, así como de gibbsita, carbonato de estroncio y de un aluminato de estroncio hidratado, Sr₃Al₂(OH)₁₂.

En la difracción de rayos X realizada para el pigmento YG-1018, las reflexiones más intensas corresponden también con las de SrAl₂O₄. También se presentaron reflexiones de menor intensidad que en el pigmento YG-1012, correspondientes a la gibbsita y al aluminato de estroncio hidratado, Sr₃Al₂(OH)₁₂.

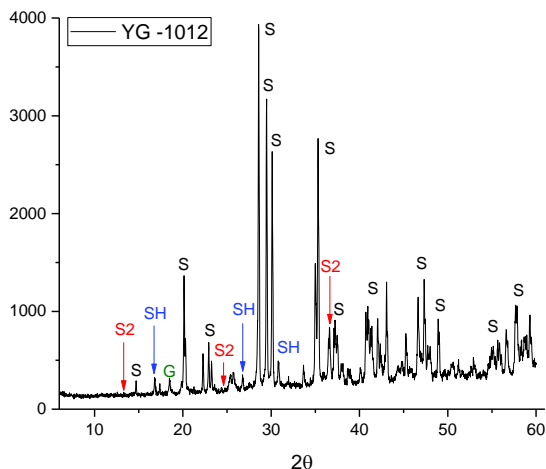


Ilustración 52 DRX, realizada a YG 1012, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl₂O₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr₃Al₂(OH)₁₂), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl₄O₇) G= Gibbsite (Al (OH)₃).

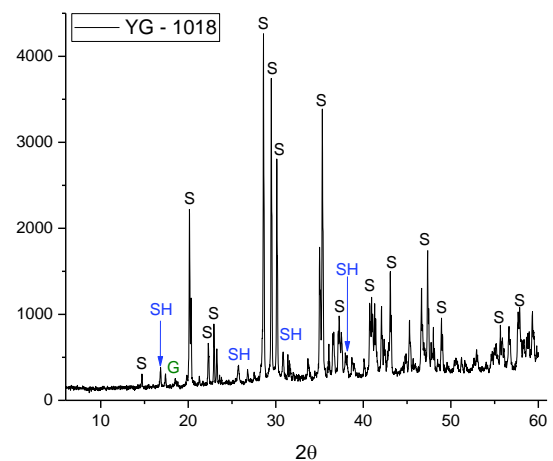
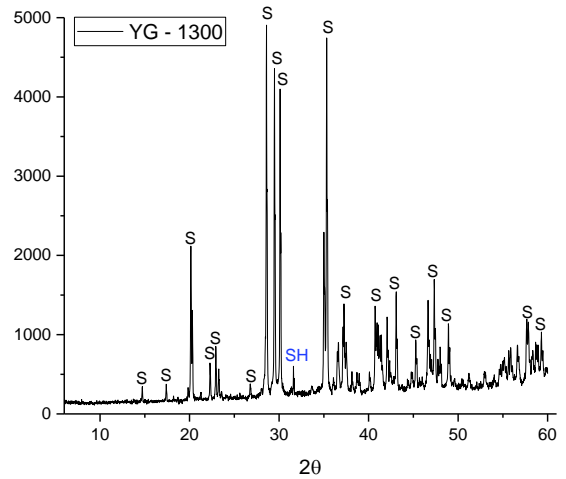


Ilustración 53 DRX, realizada a YG 1018, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl₂O₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr₃Al₂(OH)₁₂), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl₄O₇) G= Gibbsite (Al (OH)₃).

El difractograma del pigmento YG-1300 presentó casi únicamente los máximos de difracción del SrAl₂O₄, así como otros de muy pequeña intensidad, que fueron asignadas al aluminato de estroncio hidratado, Sr₃Al₂(OH)₁₂. Esto hace que éste sea el pigmento de mayor pureza entre los tres estudiados.

Ilustración 54 DRX, realizada a YG 1012, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl₂O₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr₃Al₂(OH)₁₂), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl₄O₇) G= Gibbsite (Al(OH)₃).



• **ATD del pigmento fotoluminiscente YG-1012**

Al realizar el análisis térmico diferencial del pigmento YG-1012, se pudo observar la presencia de dos señales endotérmicas principales, correspondientes a dos pérdidas de masa. La primera señal se presentó a 267 °C, donde ocurrió una pérdida del 3.14%. La segunda señal apareció a aproximadamente 669 °C, donde se presentó una pérdida del 1.31% de la masa de la muestra.

Se puede asumir que la primera pérdida de masa corresponde a la eliminación del agua en el aluminato de estroncio hidratado [eq. (1)] y en el hidróxido de aluminio [eq. (2)] presentes en el pigmento [eq. (1)]. La segunda pérdida puede corresponder a una descomposición de carbonato de estroncio (SrCO₃) en óxido de estroncio (SrO) y dióxido de carbono [eq. (3)].

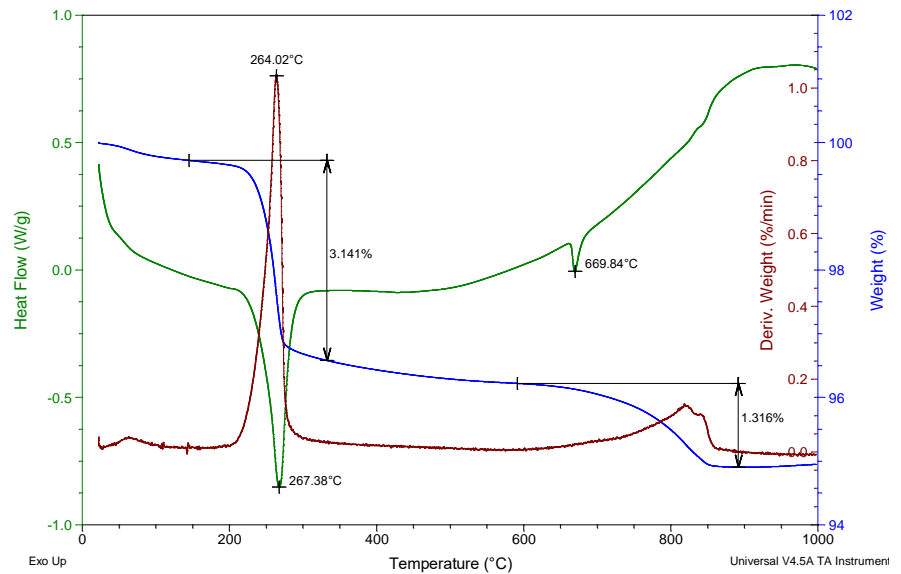
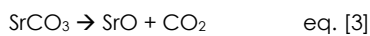
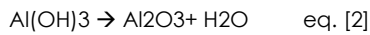
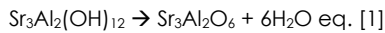


Ilustración 55 Análisis Térmico Diferencial de pigmento fotoluminiscente YG 1012.

- **ATD del pigmento fotoluminiscente YG-1018**

El registro del análisis térmico diferencial mostró solo una pérdida de masa en el intervalo de 200 -270 °C. Dicha pérdida fue de 1.58% y no se registró otro comportamiento notable. Se puede inferir que la pérdida corresponde a la eliminación del agua en el hidróxido de aluminio y de aluminato de estroncio hidratado presentes en el pigmento.

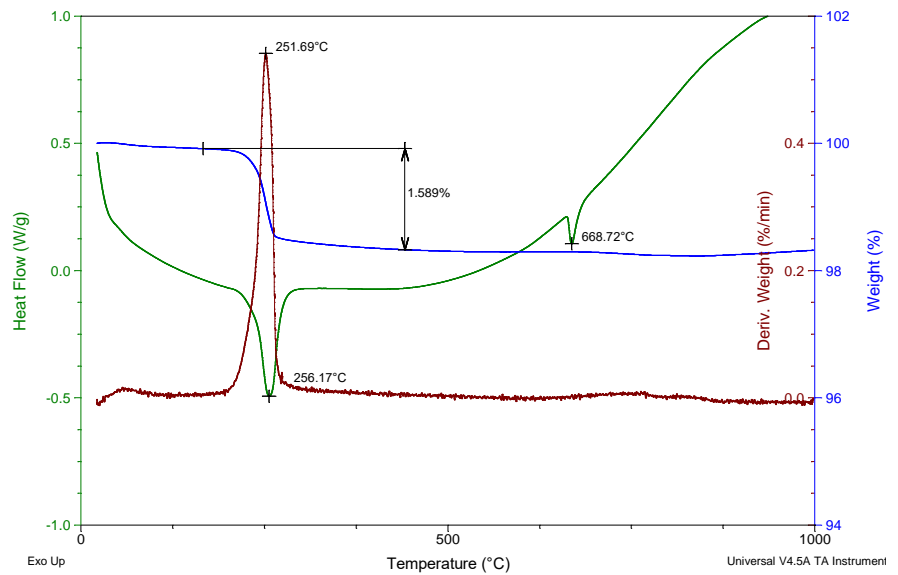
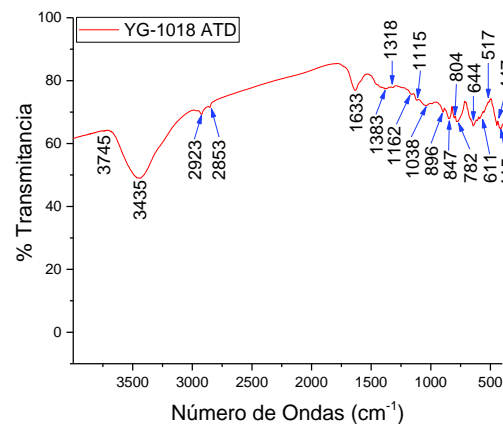
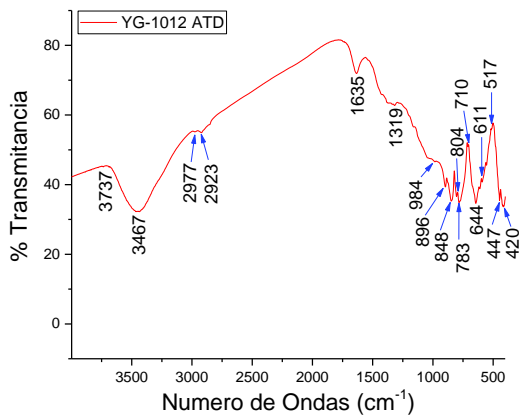


Ilustración 56 Análisis Térmico Diferencial de pigmento fotoluminiscente YG 1018.

En ambas muestras no se registraron pérdidas de masa considerables, ya que en la obtenida en el pigmento YG-1012 es cercana al 4.5%, mientras que el pigmento YG-1018 esta pérdida es mucho menor, siendo apenas de 1.58%.

- **FTIR del pigmento YG-1012 después del ATD**

Después de haberse realizado el ATD en los pigmentos YG-1012 y YG-1018, se realizó FTIR a los residuos de ambos. En los resultados se registraron señales cercanas a la zona de 400 cm⁻¹ en el infrarrojo lejano.



Para identificar las vibraciones en el área del infrarrojo lejano se requiere el uso de fuentes y materiales ópticos especiales, por lo tanto, de esta técnica no se obtuvieron datos precisos.

• **Micro Raman de los pigmentos YG-1012, YG-1018 e YG-1300**

En la Figura 59 se muestra el espectro Raman obtenido de las tres muestras de SrAl₂O₄. Todos los espectros muestran la señal más intensa a 465 cm⁻¹ y se asigna a tensiones O-Al-O, que representa a los enlaces en la esquina del tetraedro que forman las moléculas de aluminato.

Esto indica que las muestras presentan estructuras muy monoclinicas. De acuerdo con Terraschke, los modos a una frecuencia superior a 600 cm⁻¹ pueden asignarse a las vibraciones de estiramiento Al-O, y los picos estrechos de baja frecuencia, por debajo de 250 cm⁻¹, a las vibraciones o inclusiones tetraédricas.

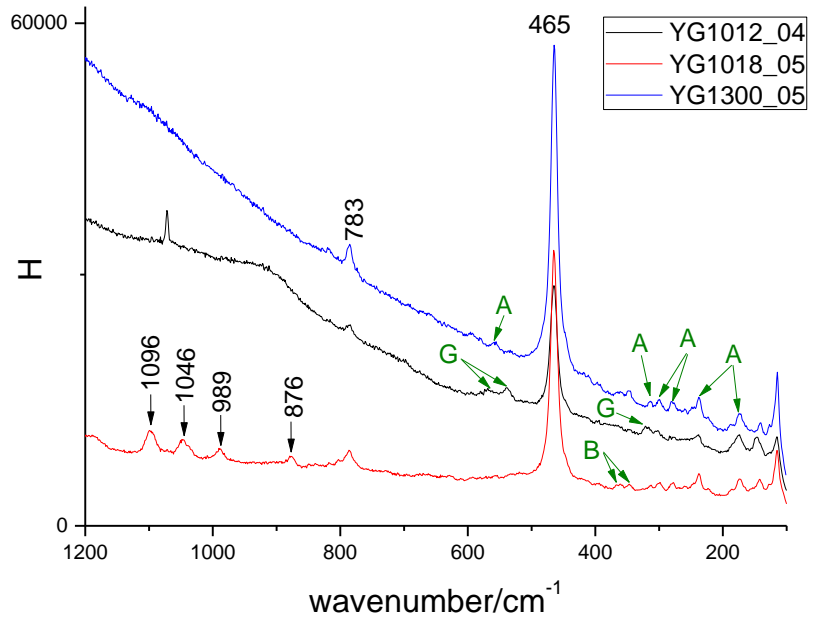


Ilustración 57 Micro-Raman espectro de YG 1012; YG 1018 y YG 1300 en el intervalo 1200-100 cm⁻¹ (láser λ = 532 nm). A = SrAl₂O₄; B= SrAl₂O₄:Eu²⁺Dy³⁺; G = Gibbsite (Al(OH)₃).

La señal de 320 cm⁻¹ la presentan las muestras dopadas con Eu y Eu/Dy. La señal de 785 cm⁻¹ puede deberse a la presencia de SrAl₂O₄ dopado con Eu.

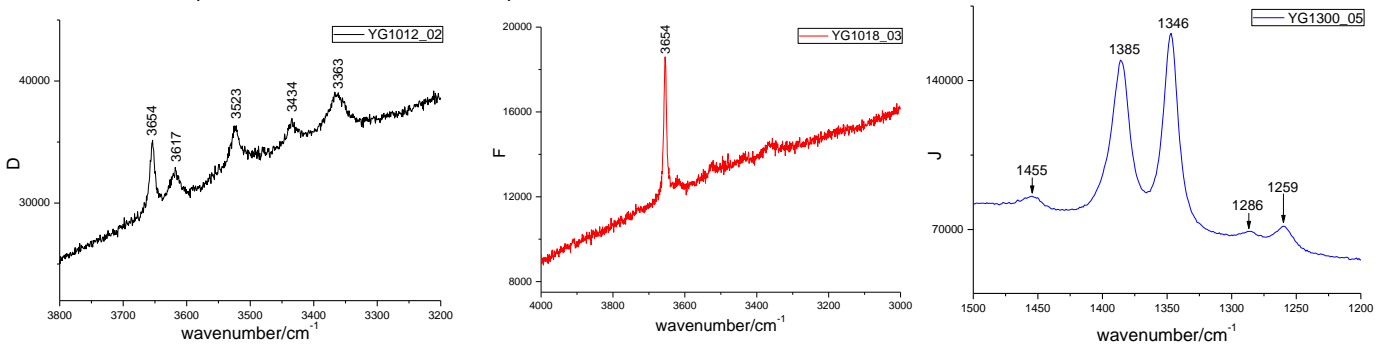


Ilustración 58 Espectro Raman de las muestras YG 1012, en un intervalo 4000-3000 cm⁻¹. (láser λ=532 nm). Ilustración 59 Espectro Raman de las muestras YG 1018, en un intervalo 4000-3000 cm⁻¹. (láser λ=532 nm). Ilustración 60 Espectro Raman de las muestras YG 1300, en un intervalo 4000-3000 cm⁻¹. (láser λ=532 nm).

En las gráficas anteriores se muestra el intervalo de 4000-3000 cm⁻¹ de las muestras YG-1012 y YG-1018, en los que aparecen unas señales anchas y bien definidas (3617, 3523, 3434 y 3363 cm⁻¹). También aparecieron señales de baja intensidad en YG-1018 y una señal aguda a 3654 cm⁻¹. Todas estas señales son indicativas de la presencia de gibbsita en los pigmentos.

- **Morfología de YG-1012, YG-1018 e YG-1300**

Una vez obtenida la información sobre la composición de los pigmentos, se pudo concluir que se trata de un aluminato de estroncio dopado con elementos como europio (Eu) y disprosio (Dy). Se observó cada una de las muestras mediante un microscopio eléctrico de barrido y se obtuvo que el tamaño de partículas está comprendido desde los 5 μm hasta los 50 μm . Debido a que no tienen una forma definida, se les consideró como partículas amorfas.

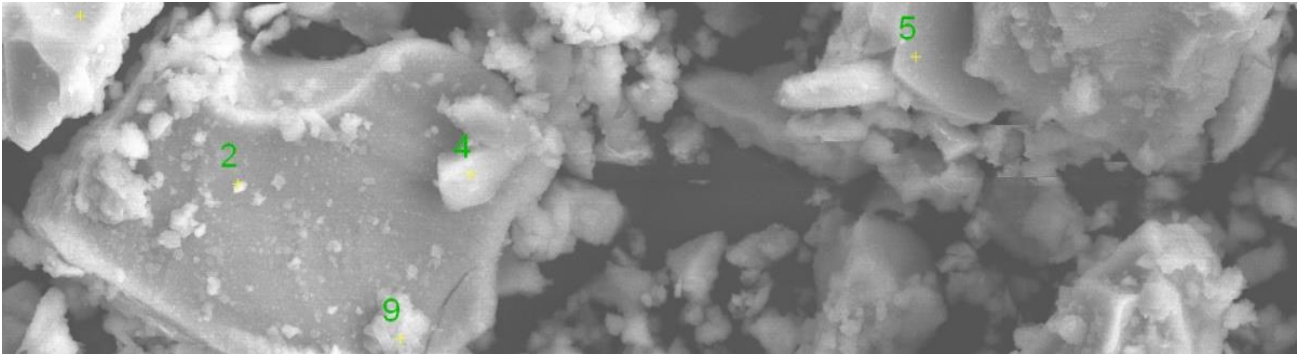


Ilustración 61 Pigmento YG-1018, Fecha:04/10/2017 14:03:43, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:20,0kV

- SEM del pigmento fotoluminiscente YG-1012

PUNTOS 1-5

El pigmento no presentó un patrón morfológico discernible. El tamaño de partícula fue de 35 μm . Se observó una clara presencia de Al y Sr, en una proporción próxima a 2/1. Así mismo, se identificó al Eu y al Dy como agentes dopantes, aunque la intensidad de los picos fue baja.

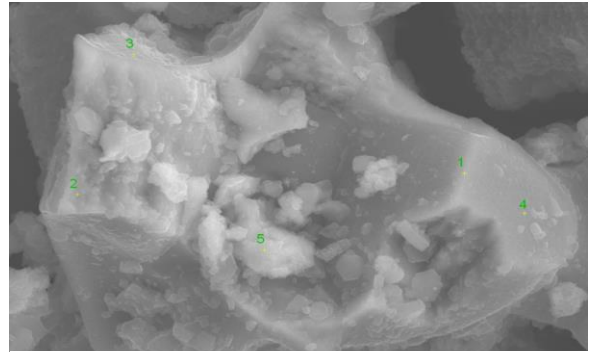


Ilustración 62 YG-1012 1, Fecha:04/10/2017 13:08:20, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:4000x, HV:20,0kV

Calculo [at.%) Método Automatic PB-ZAF (Mod.)										
EL	punto 1		punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5	
	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)
O	67.16	6.1	57.72	4.8	72.79	7.9	64.37	5.8	69.52	6.5
Al	21.46	1.2	27.85	1.3	17.58	1.3	23.38	1.3	19.94	1.2
Sr	11.26	1.8	14.33	1.9	9.56	1.9	12.13	1.9	10.49	1.8
Eu	0.09	0.1	0.06	0.0	0.06	0.1	0.09	0.1	0.04	0.0
Dy	0.03	0.0	0.05	0.1	0.01	0.0	0.03	0.0	0.0	0.0

TOTAL: 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00

Tabla 6 Porcentaje atómico del punto 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1012. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)

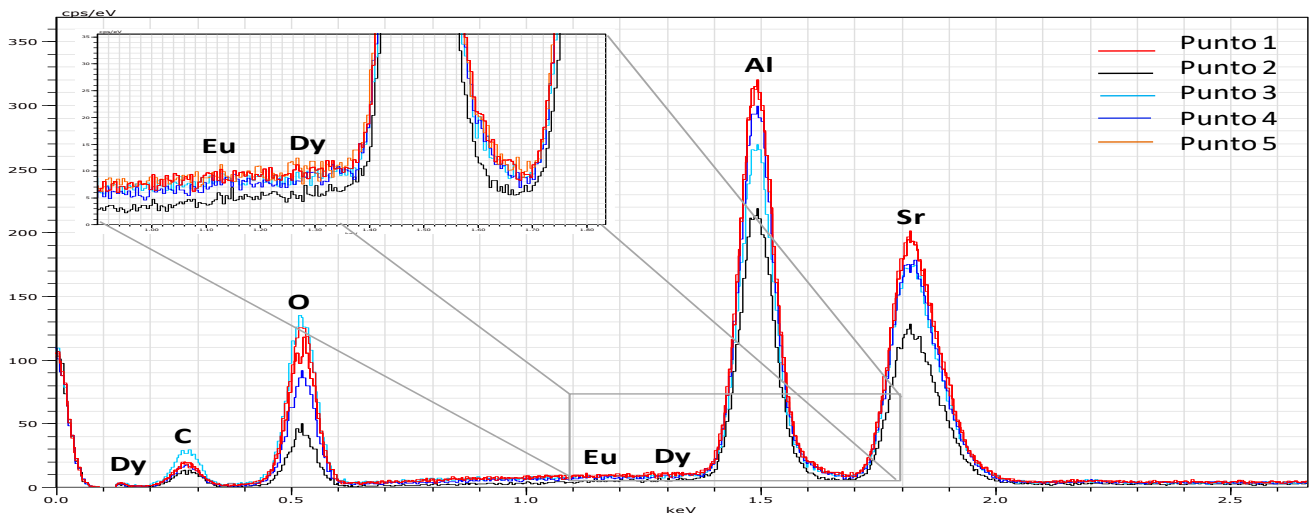


Ilustración 63 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1012

En estos puntos las señales correspondientes a la presencia de Eu y Dy como elementos dopantes fueron muy bajas. Sin embargo, la relación Al/Sr siguió siendo en proporción próxima de 2/1, no se contó con un patrón morfológico y existieron diferentes tamaños no mayores a 35 μm .

- SEM pigmento fotoluminiscente YG-1018

PUNTOS 1-4

En este pigmento existe una gran variedad de tamaños en un rango menor a los 45 µm. Se observó un pico característico del Mg, sin embargo, solo se encontró en el punto 3, entre 1.10 y 1.30 keV. Existe una marcada proporción de Al/Sr próxima a 2/1, excepto en el punto 4, donde son prácticamente iguales. El Eu y el Dy aparecen con una señal muy baja.

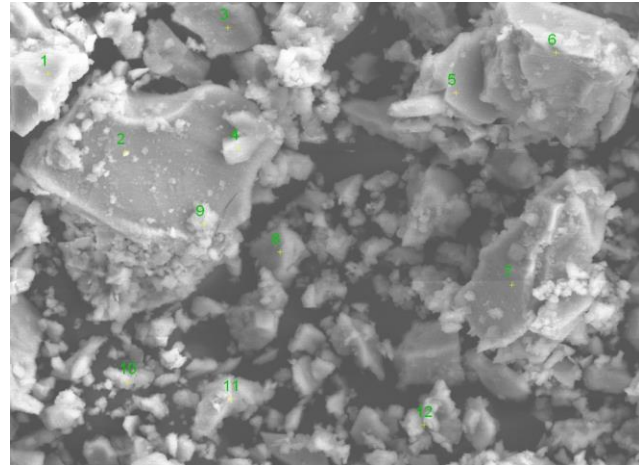


Ilustración 64 YG-1018, Fecha:04/10/2017 14:03:43, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:20.0kV

Calculo [at.%] Método Automatic PB-ZAF (Mod.)								
EL	punto 1		punto 2		Punto 3		Punto 4	
	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]
O	67.65	6.3	56.88	5.0	65.30	7.3	65.60	4.9
Mg	0.02	0.0	0.0	0.0	2.20	0.2	0.42	0.1
Al	21.20	1.3	28.54	1.4	29.01	2.1	16.69	0.7
Sr	11.07	1.8	14.49	2.0	3.46	0.7	16.43	2.0
Eu	0.0	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.22	0.1
Dy	0.05	0.1	0.05	0.1	0.03	0.1	0.65	0.2
TOTAL:	100.00		100.00		100.00		100.00	

Tabla 7 Porcentaje atómico de el punto 1, 2, 3 y 4 del pigmento fotoluminiscente YG-1018. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)

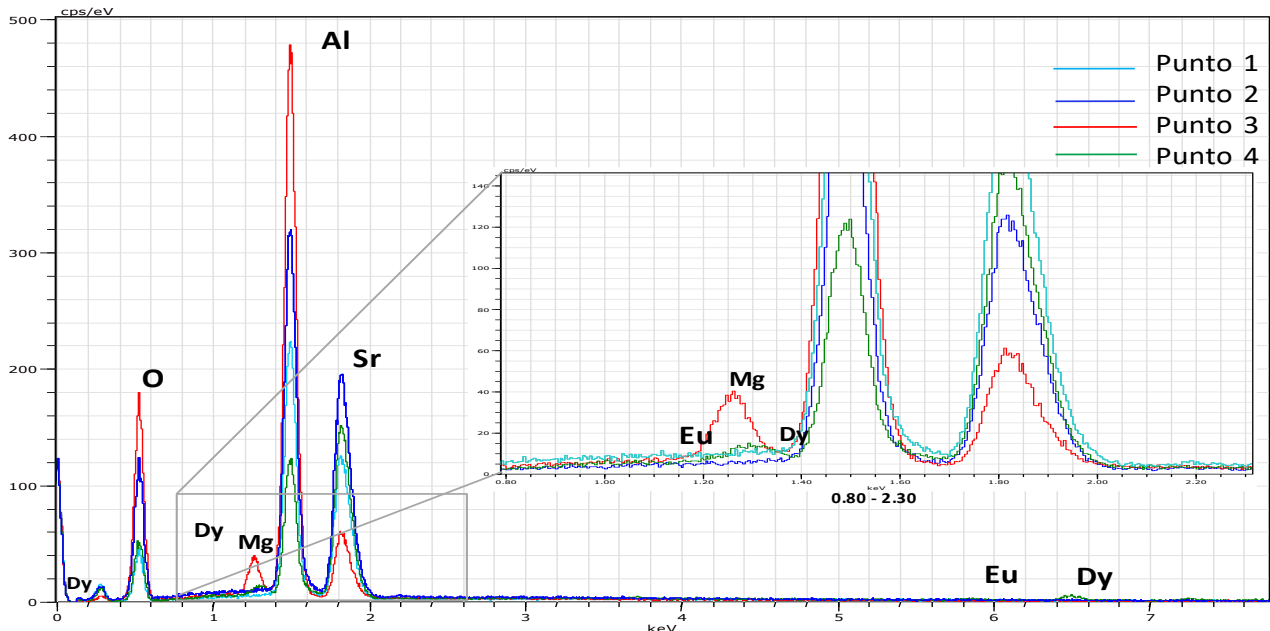


Ilustración 65 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3 y 4 del pigmento fotoluminiscente YG-1018.

- SEM pigmento fotoluminiscente YG-1300

PUNTOS 1-5

El pigmento YG-1300 fue el más puro de los derivados del aluminato de estroncio analizados. Sin embargo, se pudo identificar una cantidad mayor de Eu. Por otra parte, el Dy se encontró en menor cantidad en el pigmento en relación con el Eu.

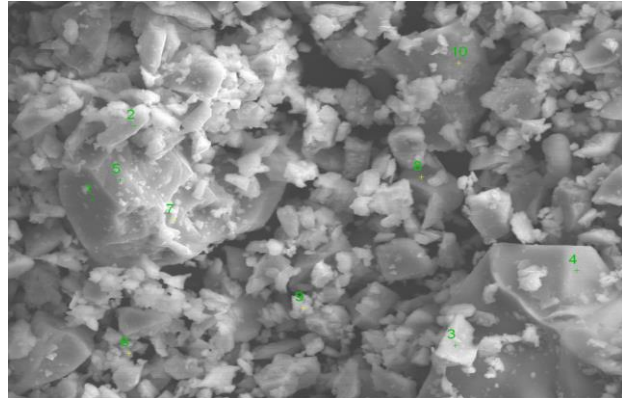


Ilustración 66 YG-1300, Fecha:09/10/2017 12:46:53, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1800x, HV:20.0kv

Calculo [at.%) Método Automatic PB-ZAF (Mod.)										
EL	punto 1		punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5	
	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)
O	58.80	28.8	63.98	5.6	68.38	6.1	64.36	5.1	55.90	4.0
Al	28.50	7.5	22.81	1.0	20.93	1.3	23.54	1.3	29.21	1.4
Sr	12.67	9.5	13.03	1.6	10.56	1.9	12.00	1.9	14.70	1.9
Eu	0.03	0.1	0.08	0.1	0.13	0.1	0.09	0.0	0.13	0.1
Dy	0.0	0.0	0.10	0.1	0.01	0.0	0.01	0.0	0.06	0.0

TOTAL: 100.00 100.00 100.00 100.00 100.00
 Tabla 8 Porcentaje atómico del punto 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1300. Muestra 1. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)

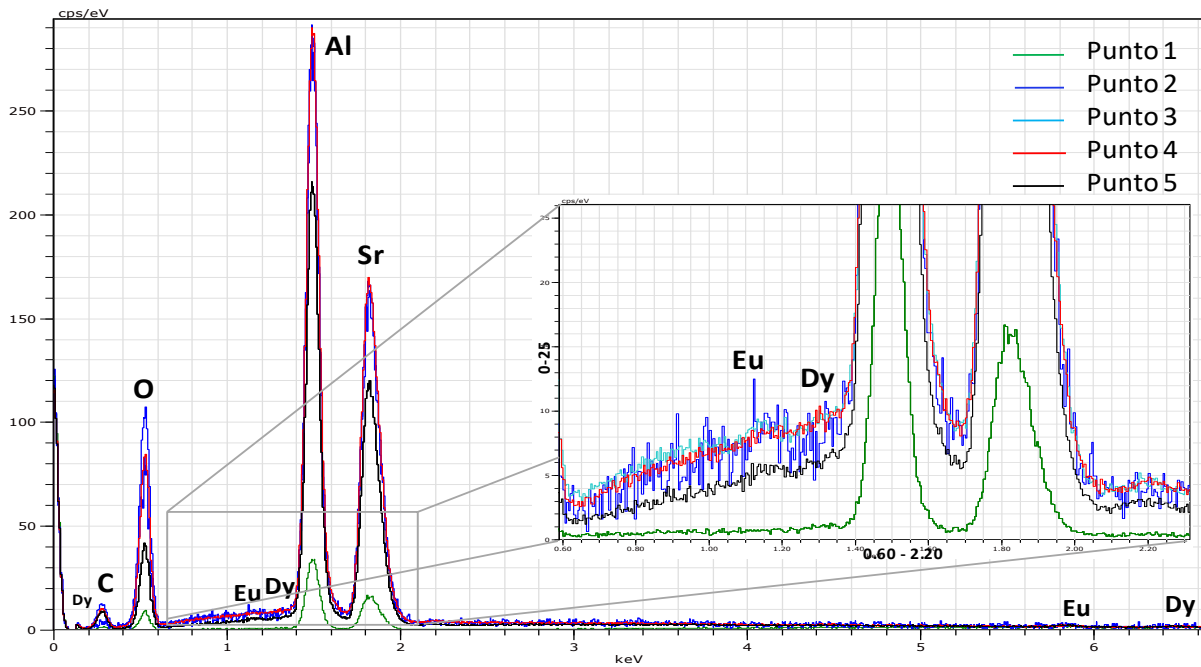


Ilustración 67 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1300, Muestra 1.

PUNTOS 11-15

En este grupo de puntos se tuvo una variedad de tamaños, en un rango menor a los 45 µm. Se observaron máximos de difracción correspondientes al Eu y Dy, pero de baja intensidad. El cálculo mostró que en el punto 14 se obtuvo el mismo porcentaje atómico de Sr y Al, y el par Eu/Dy apareció con una señal muy baja en proporción de 2/1.

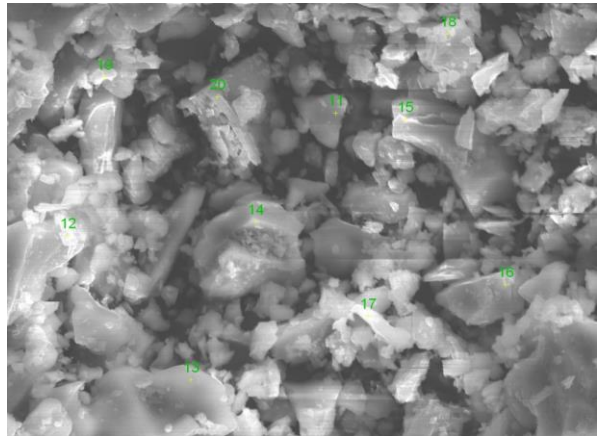


Ilustración 68 YG-1300 2, Fecha:09/10/2017 13:16:47, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:30,0kV

Calculo [at.%) Método Automatic PB-ZAF (Mod.)											
EL	punto 11		punto 12		Punto 13		Punto 14		Punto 15		
	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	
	[at.%)	[wt.%)	[at.%)	[wt.%)	[at.%)	[wt.%)	[at.%)	[wt.%)	[at.%)	[wt.%)	
O	24.50	2.2	44.82	2.,5	65.71	5.0	53.23	3.2	31.68	2.1	
Al	63.72	3.3	37.65	1.4	24.61	1.4	32.06	1.4	51.97	2.1	
Sr	11.57	1.0	17.14	1.1	9.60	0.9	14.47	1.0	16.13	1.1	
Eu	0.18	0.1	0.24	0.1	0.07	0.0	0.21	0.10	0.17	0.0	
Dy	0.03	0.0	0.15	0.0	0.01	0.0	0.03	0.0	0.05	0.0	
TOTAL:	100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		

Tabla 9 Porcentaje atómico de el punto 11, 12, 13, 14 Y 15 del pigmento fotoluminiscente YG-1300. Muestra 2. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)

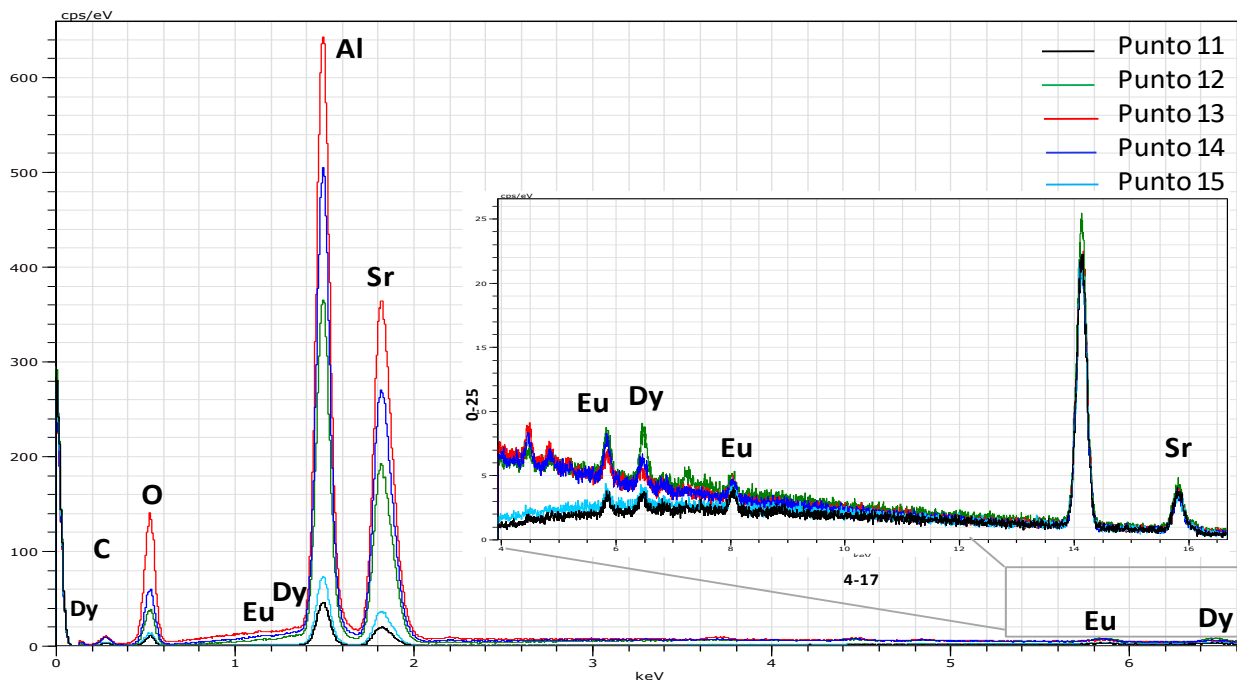


Ilustración 69 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 11, 12, 13, 14 y 15 del pigmento fotoluminiscente YG-1300, Muestra 2.

- **Calorimetría del pigmento fotoluminiscente YG-1300**

La prueba requirió de una muestra del pigmento YG-1300, la cual fue amasada con agua y estudiada por calorimetría de conducción. Con este ensayo se observó que la muestra reaccionó exotérmicamente, endureció y presentó segregación después de terminado. Se observaron dos fases distintas: la parte inferior es de color amarillo y muestra fotoluminiscencia, mientras que la parte superior es de color blanco y carece de dicha propiedad. Se realizó además una calorimetría de conducción, de la cual se obtuvieron dos productos, uno amarillo y uno blanco.

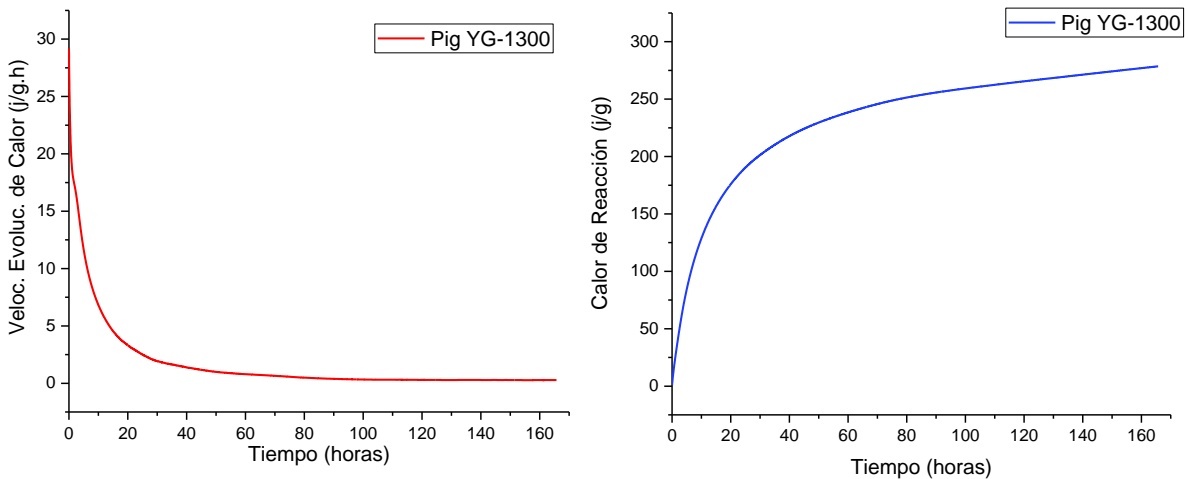


Ilustración 70 Se presenta la reacción exotérmica del Pigmento YG-1300, mostrando un endurecimiento y separación en dos compuestos, Uno blanco y otro amarillo.

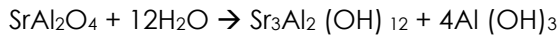
El resultado de esta prueba fue determinante, ya que, al presentarse esta reacción química, se decidió no realizar la caracterización física y química de las pastas, pues no garantizarían la propiedad luminiscente. Sin embargo, para comprobar dicha reacción, se realizaron las pruebas mecánicas que ya estaban en proceso al momento de llegar a esta conclusión.



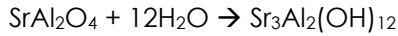
Ilustración 71 Capturada con fines didácticos, la muestra expuesta en esta prueba de calorimetría presenta segregación, la parte inferior es de color amarillo y muestra fotoluminiscencia, la parte superior de color blanco carece de dicha propiedad

- **DRX y FITR de los residuos derivados de la calorimetría del SrAl₂O₄**

Los análisis DRX y FTIR confirman que existe una reacción en el aluminato al hidratarse. Dicha reacción corresponde a:



En la DRX se comprobó que en el residuo amarillo se produce la siguiente reacción:



Mediante la misma técnica de DRX se demostró que el residuo blanco produce un hidróxido de aluminio, el cual no tiene capacidades luminiscentes.

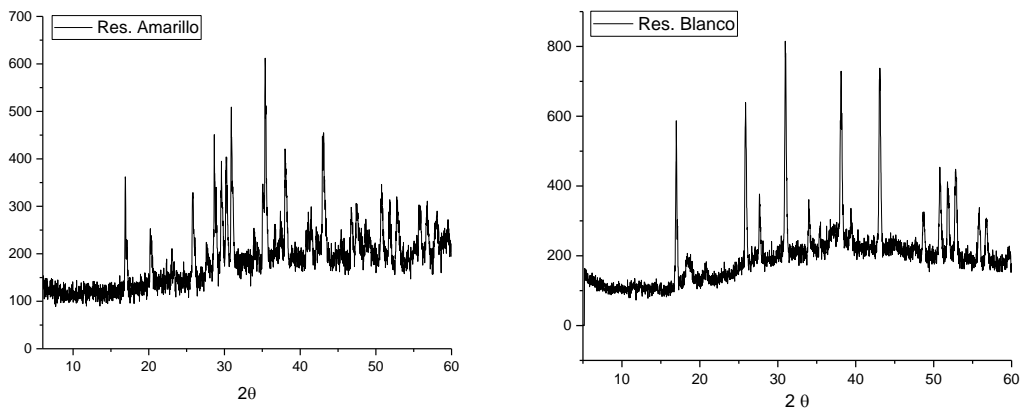
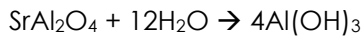


Ilustración 72 DRX, de residuo Amarillo y Blanco, se comprobó que el residuo amarillo produce Sr₃Al₂(OH)₁₂ y el residuo blanco produce 4Al(OH)₃ la cual pierde sus propiedades luminiscentes.

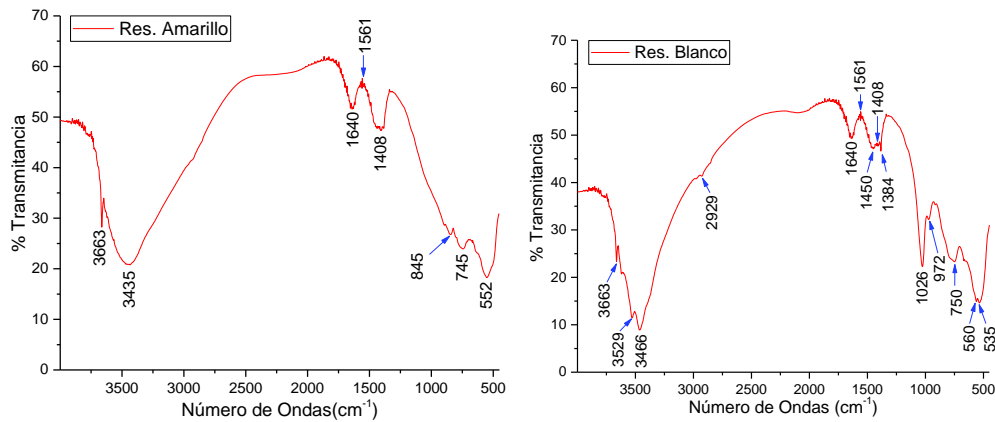


Ilustración 73 FTIR, de residuo Amarillo y Blanco, se comprobó que el residuo amarillo produce Sr₃Al₂(OH)₁₂ y el residuo blanco produce 4Al(OH)₃ la cual pierde sus propiedades luminiscentes.

- **ATD del residuo blanco derivado de la calorimetría del SrAl₂O₄**

Una vez realizado ATD al residuo de color blanco, resultado de la calorimetría de conducción, se pudo observar que registró una pérdida de masa del 28 % desde los 50 hasta los 900 °C. Esto es una señal de descomposición del hidróxido de aluminio con el aumento de la temperatura.

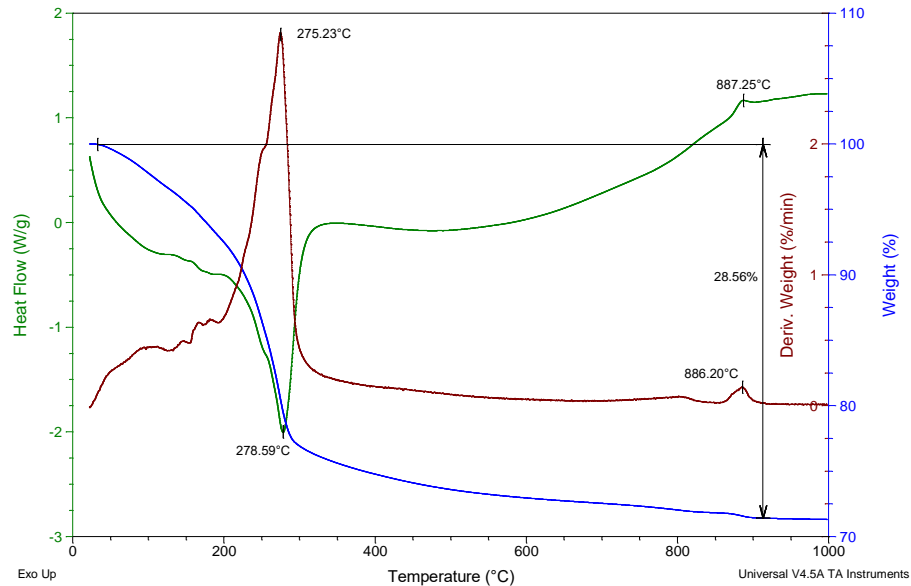


Ilustración 74 ATD, residuo Blanco, derivado de la Calorimetría del Pigmento SrAl₂O₄

- **ATD del residuo amarillo derivado de la calorimetría del SrAl₂O₄**

En este caso, se pudo observar una pérdida de masa del 18.82 % desde los 50 hasta los 500 °C. Esto indica que ocurre una reacción de descomposición del aluminato hidratado que fue obtenido, lo que se traduce en pérdida de agua en el residuo.

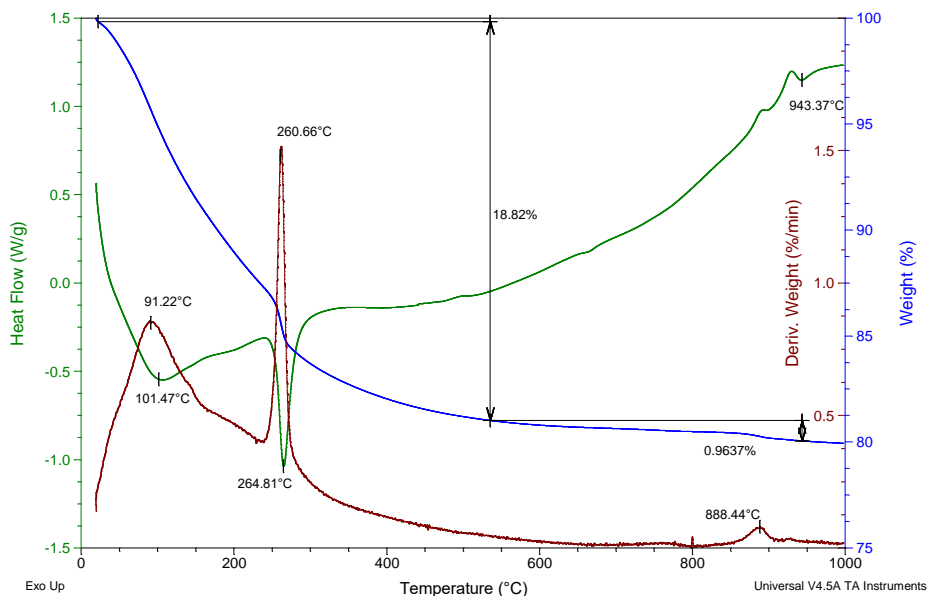


Ilustración 75 ATD, residuo Amarillo, derivado de la Calorimetría del Pigmento SrAl₂O₄

- **Fosforescencia**

Reflectancia y absorción de los pigmentos YG-1012, YG-1018 e YG-1300

Para los tres pigmentos YG se realizó la prueba de absorción. Los resultados obtenidos mostraron que las muestras presentaron su máxima absorción entre 260 y 330 nm, en el espectro de la luz ultravioleta. La reflectancia emitida se encontró en el intervalo de la luz visible, es decir, de los 400 a los 700 nm.

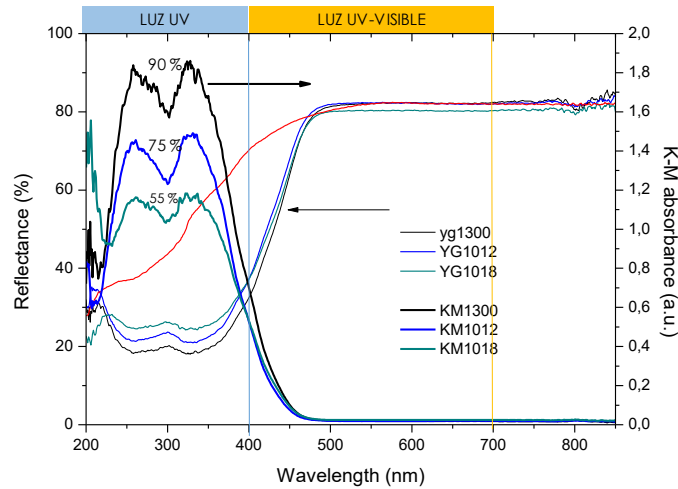


Ilustración 76 Reflectancia y absorción de los pigmentos YG-1012, 1018 Y 1300.

El pigmento que presentó una mayor absorción en el área de la luz ultravioleta fue el YG-1300 con 90%, seguido del YG-1012 con un 75% de absorción, y finalmente el pigmento YG-1018, el cual solo fue capaz de absorber el 55%.

3.3. Caracterización de las pastas ZnS

- **3.3.1 FTIR de la pasta de ZnS**

El análisis de FTIR realizado a la pasta con pigmento fotoluminiscente base sulfuro de zinc ofreció resultados muy precisos sobre la interacción del pigmento con la mezcla de cemento. El análisis de los elementos encontrados en los diferentes puntos mostró que no existe reacción del ZnS con todas las partículas pequeñas del cemento (silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato cálcico).

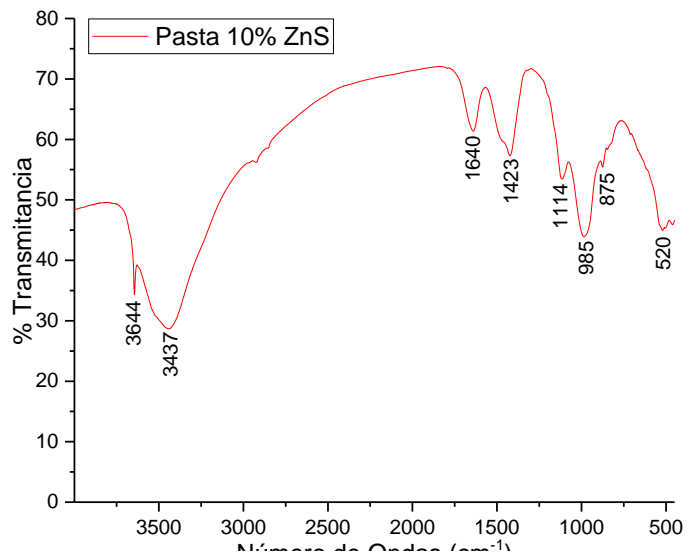


Ilustración 77 FTIR de la pasta de Cemento MLI-32.5 R + ZnS, se observa que no existe reacción del Pigmento ZnS.

- **3.3.2 SEM de la Pasta ZnS**

PUNTOS 1-4

En la pasta de cemento con 10% de ZnS e hidratada se observaron cristales del pigmento con morfología y superficie inalteradas, si bien se ven depósitos sobre la mencionada superficie. La relación S/Zn en el pigmento es próxima a 1/1 de acuerdo al análisis de EDX. Los análisis EDX en el resto de la muestra correspondieron a las distintas fases del cemento hidratado y apenas revelaron la presencia del ZnS.

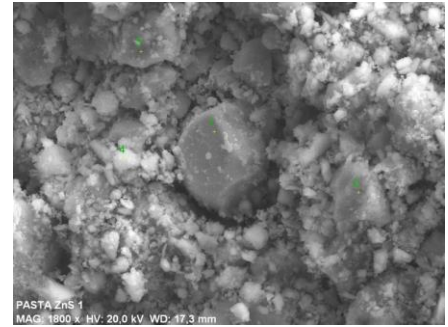


Ilustración 78 Imagen Pasta-Zns1: puntos de análisis de composición

Calculo [at.%] Método Automatic PB-ZAF (Mod.)								
EL	punto 1		punto 2		Punto 3		Punto 4	
	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [wt.%]
Na	9.98	0.3	0.49	0.1	0.0	0.0	0.33	0.0
Mg	0.79	0.1	0.71	0.1	0.0	0.0	1.08	0.1
Al	0.88	0.1	3.95	0.1	2.83	0.1	4.73	0.1
Si	0.55	0.0	14.16	0.4	11.85	0.3	20.50	0.5
S	43.88	1.1	4.66	0.1	3.47	0.1	4.82	0.1
Ca	2.23	0.1	75.87	1.7	81.58	1.9	74.20	0.5
Zn	41.69	1.6	0.16	0.0	0.27	0.1	1.42	0.1
TOTAL:	100.00		100.00		100.00		100.00	

Tabla 10 Porcentaje atómico de el punto 1, 2, 3 y 4 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)Muestra 1

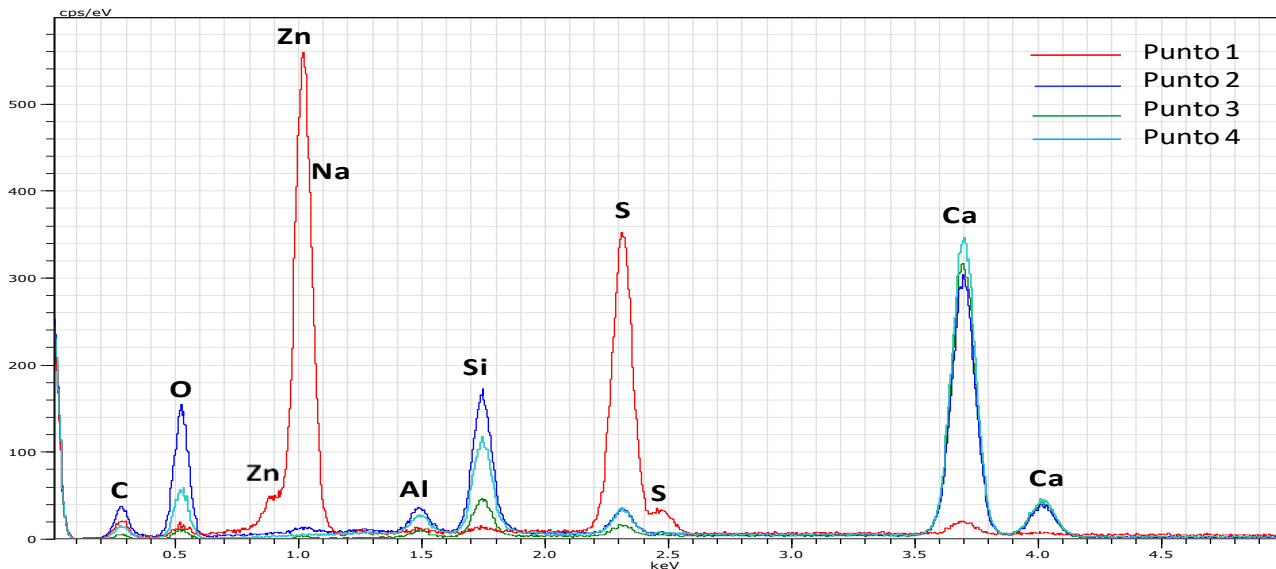


Ilustración 79 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3 y 4 y 5 de la pasta ZnS. Muestra 1

PUNTOS 5-10

Para esta serie de puntos se pudo observar claramente cómo el agregado fotoluminiscente no reaccionó con los componentes del cemento. al tener partículas de mayor tamaño, éstas pudieron ser identificar claramente en la pasta. El pigmento se integró con los elementos y se rodeó de partículas de menor tamaño, pero siguió conservando un patrón morfológico constante, formado por poliedros de superficie lisa bien definida.

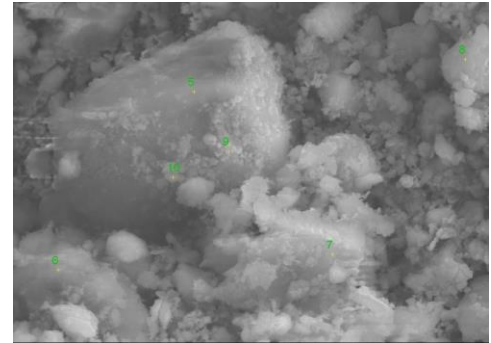


Ilustración 80 PASTA ZnS 2, Fecha:21/09/2017 10:07:09, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:3500x, HV:20.0kV

Calculo [at.%) Método Automatic PB-ZAF (Mod.)												
EL	punto 5		punto 6		Punto 7		Punto 8		Punto 9		Punto 10	
	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error	C Atom.	C Error
	[at.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Na	8.20	0.3	0.09	0.0	0.23	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mg	0.99	0.1	1.52	0.1	0.57	0.0	0.99	0.1	1.13	0.1	1.01	0.1
Al	1.37	0.1	8.39	0.2	3.65	0.1	3.60	0.1	3.52	0.1	3.16	0.1
Si	1.21	0.1	17.34	0.4	17.07	0.4	21.96	0.5	9.38	0.2	9.61	0.3
S	41.19	0.9	4.76	0.1	3.22	0.1	2.94	0.1	30.93	0.7	33.25	0.8
Ca	4.54	0.1	67.57	0.5	74.71	1.6	70.06	1.6	26.09	0.6	21.11	0.5
Zn	42.50	1.5	0.32	0.1	0.39	0.1	0.39	0.1	28.94	1.0	31.86	1.1
TOTAL:	100		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00	

Tabla 11 Porcentaje atómico de el punto 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.) Muestra 1.

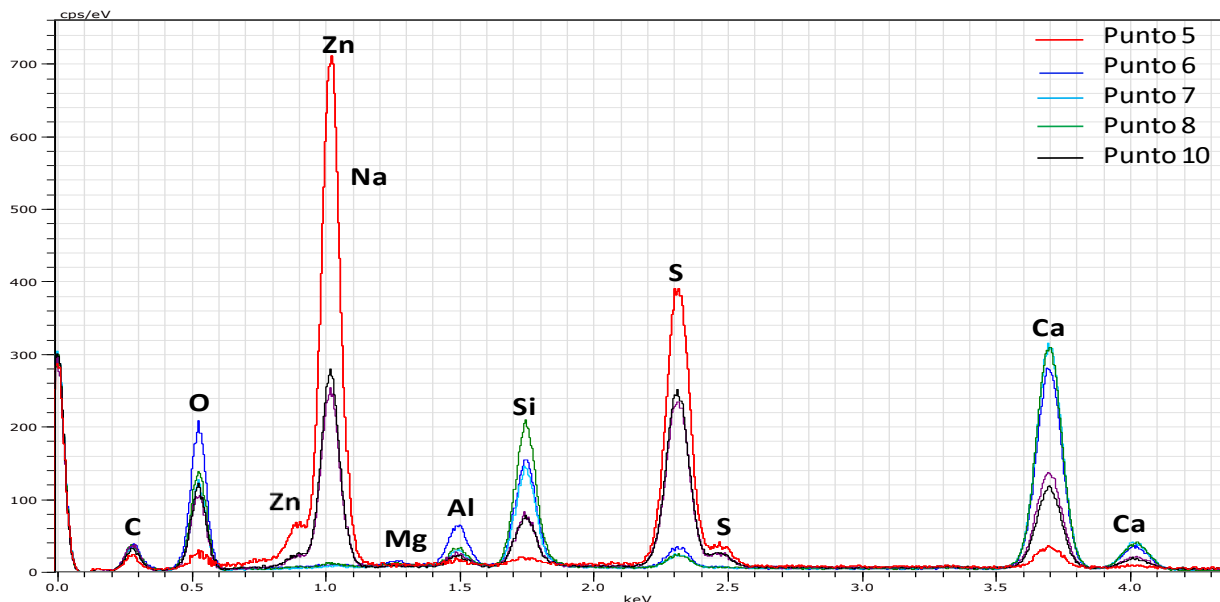


Ilustración 81 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 5, 6, 7 8 y 10 de la pasta ZnS. Muestra 1.

PUNTOS 11-13

La identificación de los elementos fue muy clara en la zona de 0 a 4.5 keV. Sin embargo, también se encontraron picos en la zona de 8 a 11 keV. Estos picos fueron mucho menores pero muy característicos del azufre y del zinc. El cálculo reveló que la proporción de S/Zn siguió siendo de 1/1, aunque en algunos puntos fue menor. Esto pudo deberse a la presencia de elementos del cemento que impidieran una evaluación correcta.

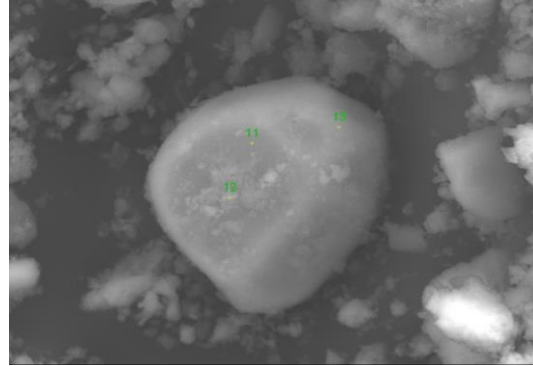


Ilustración 82 PASTA ZnS 4, Fecha:21/09/2017 10:32:37. Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:4000x, HV:20,0kV

Calculo [at.%) Método Automatic PB-ZAF (Mod.)						
EL	punto 11		punto12		Punto 13	
	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)	C Atom. [at.%)	C Error [wt.%)
Na	2.67	0.1	4.31	0.2	7.20	0.3
Mg	0.0	0.0	0.68	0.1	0.0	0.0
Al	1.35	0.1	4.28	0.1	1.94	0.1
Si	0.74	0.1	7.59	0.2	1.14	0.1
S	47.58	1.1	36.00	0.8	42.53	1.0
Ca	1.92	0.1	14.76	0.4	3.66	0.1
Zn	45.74	1.6	32.39	1.2	43.54	1.6
TOTAL:	100		100.00		100.00	

Tabla 12 Porcentaje atómico de el punto 11, 12 y 13 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.) Muestra 1.

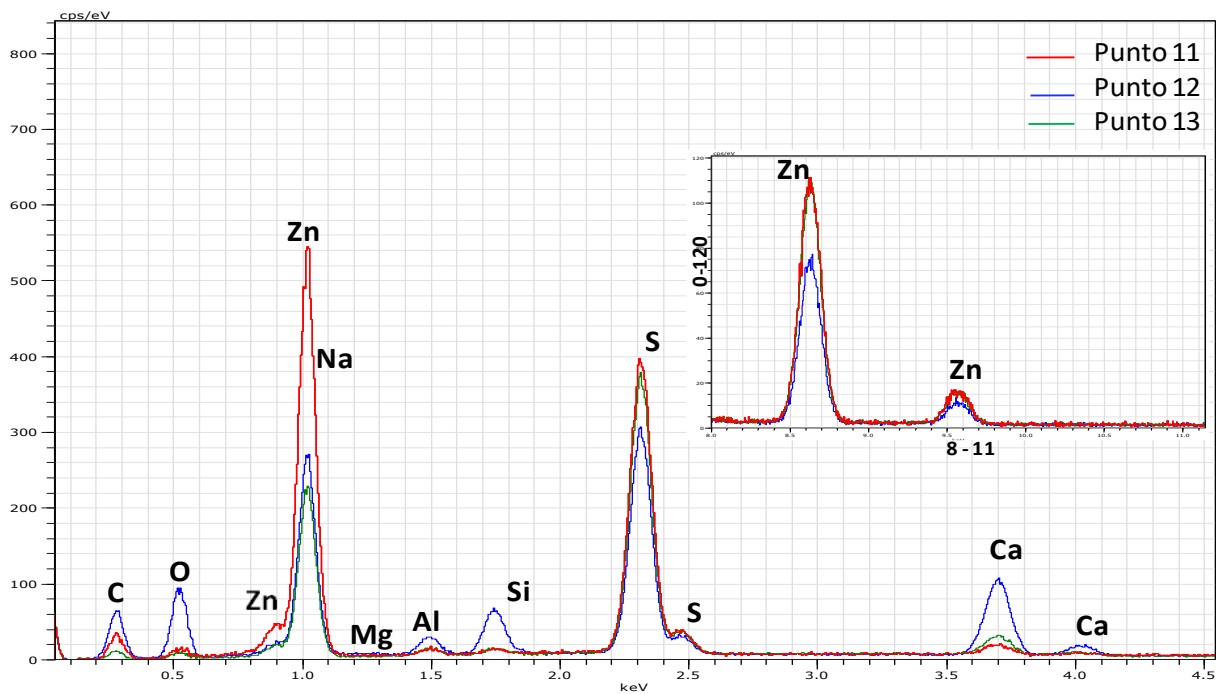


Ilustración 83 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 11, 12 y 13 de la pasta ZnS. Muestra 1.

- **Tamaño de partículas:**

Las partículas de ZnS presentaron mayor tamaño y definición de la forma en comparación con las partículas del cemento. Las medidas obtenidas de las partículas de ZnS estuvieron comprendidas en un rango de 19.4 a 25 μm .

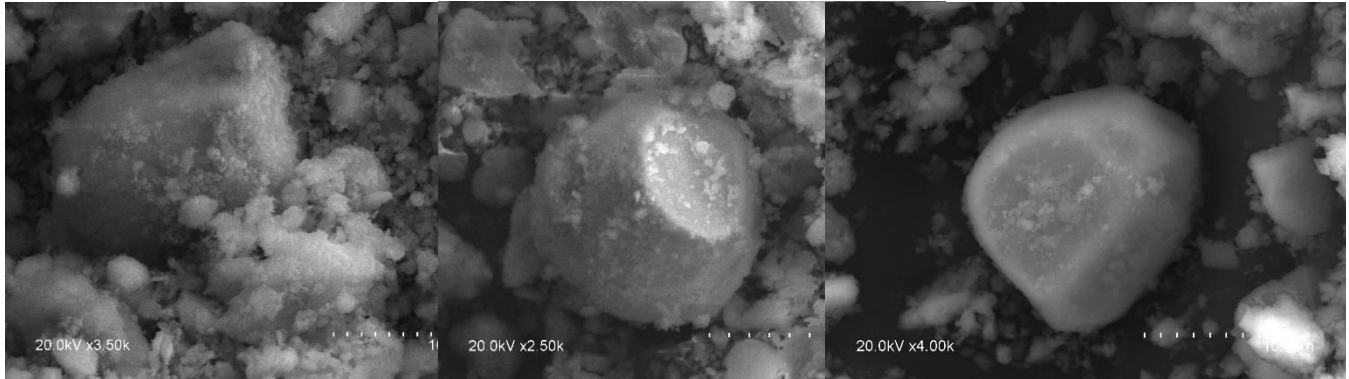


Ilustración 84 Pasta-Zns2: 19.4 μm , Imagen Pasta-Zns3: 23.9 μm , Imagen Pasta-Zns4: 15.8 μm

- **3.3.3 Fosforescencia**
- **Absorción y emisión en las pastas con ZnS**

Las probetas anhidras tuvieron las mismas proporciones que las hidratadas. Se logró una incorporación del pigmento y el cemento mezclando en seco por 3 minutos a manera de poder obtener una correcta homogenización. Además, se realizó una mezcla adicional por otro periodo de misma duración, donde el agua ya fue incluida.

- **ABSORCIÓN**

El pigmento de ZnS presentó una absorción máxima a los 300 nm, alcanzando un máximo de 47.5%- Las mezclas anhidras con 5, 10 y 15% y cemento blanco BL I 52.5 R registraron su máxima absorción en 17.5%, mientras que para esas mismas proporciones en pastas hidratadas la máxima absorción se vio reducida hasta 10%, lo que representa un 25% del total de la capacidad de absorción del pigmento sin mezclar.

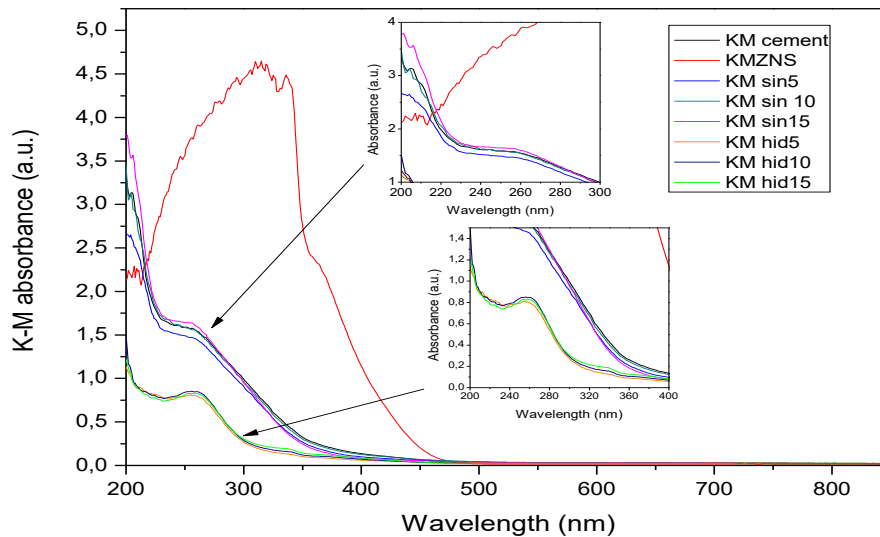


Ilustración 85 Absorción de las pastas anhidras e hidratadas de Cem – BL I 52.5 R + ZnS en proporciones de 5, 10 y 15% donde Absorbance (a.u.= absorbance units), Wavelength= longitud de onda. (nm= nanómetro)

Los resultados de absorción de las pastas hidratadas registraron un mayor número de unidades de absorción en comparación con las pastas anhidras. Las pastas hidratadas presentaron una absorción de 1.5 a 1.75 a.u. en una longitud de onda entre los 220 y 260 nm, mientras que las pastas anhidras, aunque absorben a esta misma longitud de onda, registraron una absorción menor, comprendida entre 0.80 y 1.00 a.u.

- **FOSFORESCENCIA**

La emisión máxima se presentó en 530 nm. Las pastas hidratadas no presentaron diferencias significativas en relación a la proporción del pigmento fotoluminiscente de ZnS, y las pastas hidratadas presentaron una menor fosforescencia que las pastas anhidras.

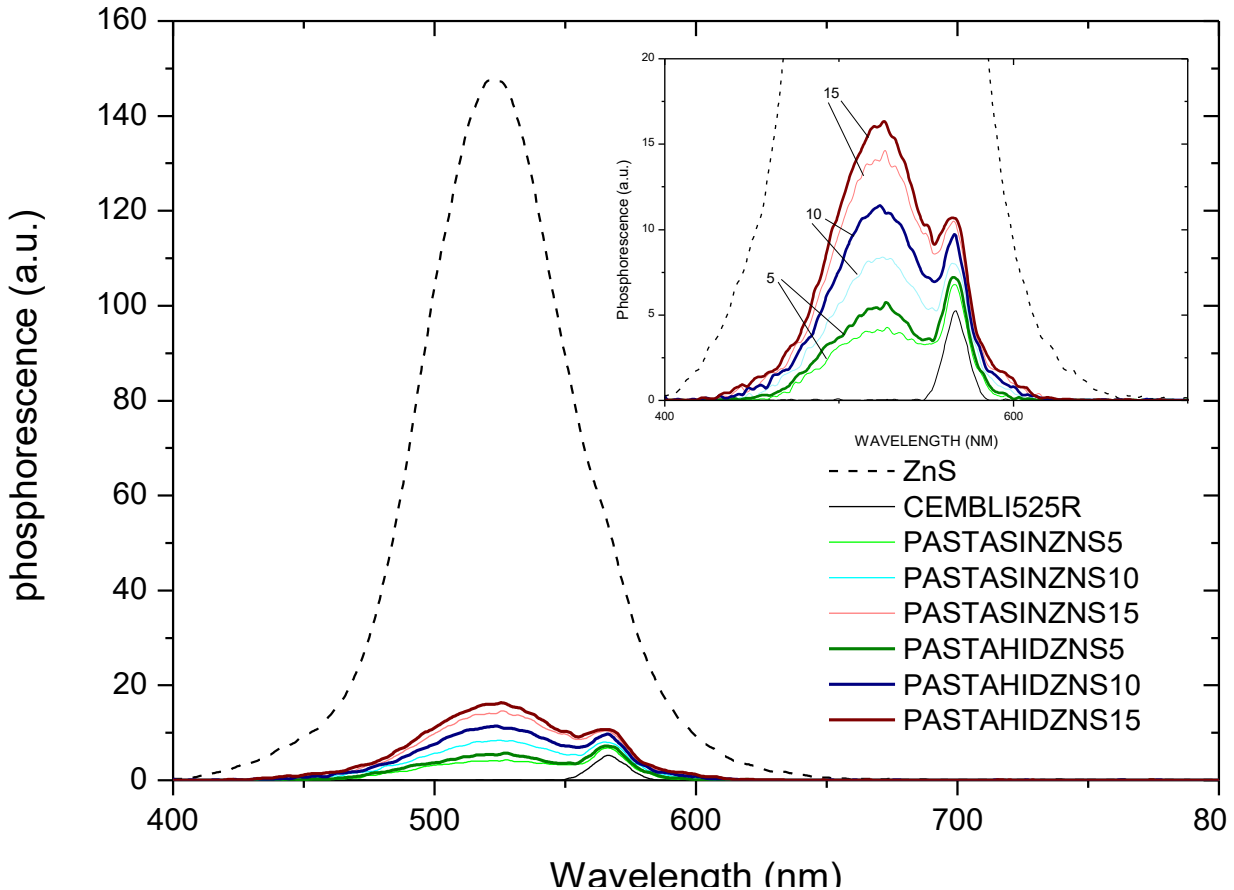


Ilustración 86 Fosforescencia de las pastas anhidras e hidratadas de cemento BL I 52.5 R con adiciones de pigmentos ZnS en proporciones del 5, 10 y 15%.

Las pastas anhidras e hidratadas con adiciones de ZnS, al momento de ser expuestas a la luz ultravioleta, presentaron una fluorescencia inmediata, mientras que las pastas con SrAl₂O₄ no presentan ninguna reacción. Sin embargo, una vez que se retira la fuente de excitación, con ambos pigmentos se logra tener fosforescencia por un periodo corto. El tiempo de las pastas ZnS fue en un promedio de 40 segundos y en las pastas con SrAl₂O₄ el tiempo se prolongó hasta llegar a los 150 segundos. Esto ocurrió únicamente en el espectro de luz visible (400–700 nm). Sin embargo, en las pruebas realizadas mediante el uso de fluorímetros, se observó que dichos pigmentos siguieron emitiendo en longitudes de onda que no son posibles de observar a simple vista, debido que la longitud de onda es mucho menor.

- **3.4. Resistencias Mecánicas:**
- **Resultados de consistencia**

A partir los resultados de las pruebas de Mini Slump, se pudo determinar que las mezclas con SrAl_2O_4 absorbieron una mayor cantidad de agua. Por lo tanto, dichas mezclas presentaron una mayor consistencia en comparación con la mezcla con ZnS.

Las mezclas que contenían cemento BL I 52.5 R y ZnS en diferentes proporciones alcanzaron un diámetro de 9.1 cm con el 10%, 9.325 cm con el 15% y 9.725 cm con el 20%. Estos resultados fueron mayores que las mezclas de cemento BL I 52.5 R y SrAl_2O_4 , en las cuales se obtuvieron promedios de 8.6 cm para el 10%, 8.825 cm para en 15% y 8.8 cm de diámetro con el 20%. La pasta con cemento sin ninguna adición presentó la mayor consistencia. que fue de 8.35 cm de diámetro con respecto a las pastas con pigmentos fotoluminiscentes.

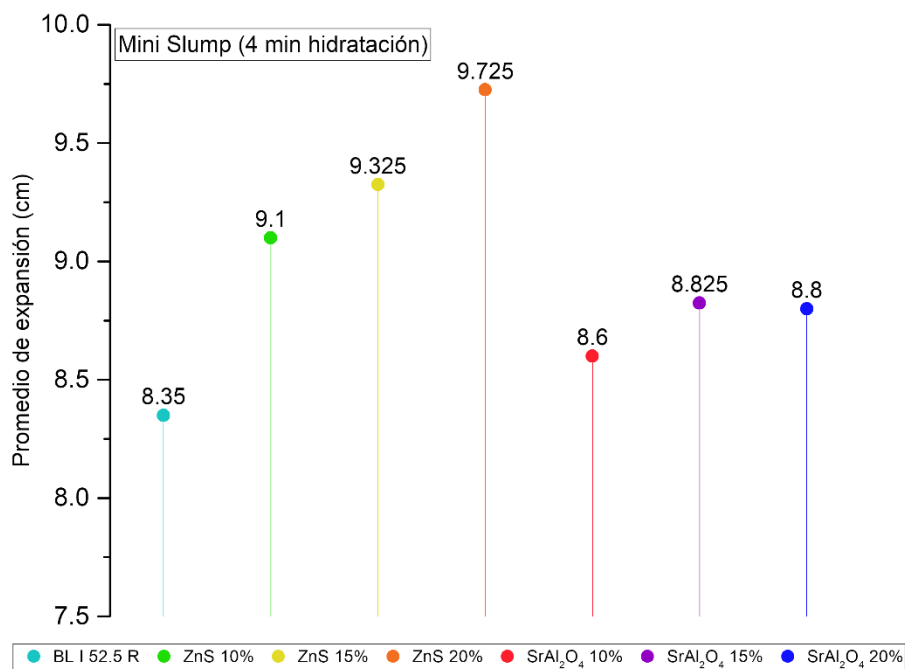


Ilustración 87 Las pruebas de Mini Slump de pastas de Cemento BL I 52.5 R y ZnS en diferentes proporciones y pastas de Cemento BLI-52.5 R y SrAl_2O_4 .

A partir de los datos anteriores, se puede decir que las pastas que contenían cemento BL I 52.5 R y ZnS en diferentes proporciones alcanzaron una trabajabilidad mayor que las pastas de cemento BL I 52.5 R y SrAl_2O_4 .

- **Resistencia a la compresión**

Las pruebas de compresión se hicieron a 5 pastas diferentes, dos con BL I 52.5 R + 10 y 20 % de SrAl_2O_4 , dos con BL I 52.5 R + 10 y 20 de ZnS y finalmente una con el 100% de BL I 52.5 R como principal punto de referencia. En los resultados obtenidos, se pudieron observar dos tipos de comportamiento en la modificación de la resistencia a la compresión de acuerdo al tipo de pigmento fotoluminiscente que se haya añadido.

La resistencia a la compresión dependió de dos variables: el porcentaje de pigmento presente en cada mezcla (en este caso 10 y 20 %) y el tiempo de fraguado de las mismas (3, 7, 14 y 28 días). Como se puede observar en la gráfica inferior, en los resultados existieron cambios apreciables en la resistencia a la compresión, para ambos porcentajes de pigmento fotoluminiscente. La razón de este comportamiento pudo ser la interferencia del pigmento en la recristalización del concreto, o lo que es igual a una discontinuidad del medio.

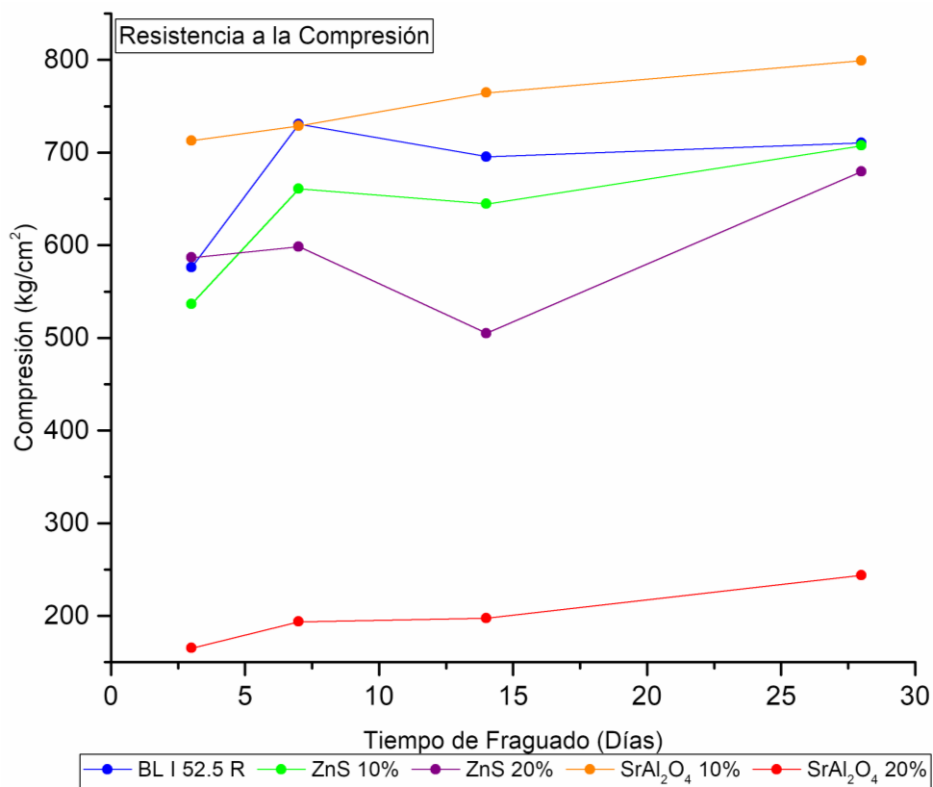


Ilustración 88 Pruebas de compresión a 5 pastas diferentes, dos con BLI-52.5 R + 10 y 15% de SrAl_2O_4 , dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 de ZnS y finalmente una con el 100% de BLI-52.5 R como principal punto de referencia.

En las muestras de 20% de ambos pigmentos disminuyó la resistencia a la compresión, siendo más notable en la que posee SrAl_2O_4 , la cual disminuyó hasta 243.98 kg/cm² en comparación con la pasta 100% de BL I 52.5 R, que tiene una resistencia de 710.6 kg/cm², mientras que la pasta de ZnS presentó una resistencia de 679.63 kg/cm² a los 28 días. Por otra parte, en la muestra con 10% de SrAl_2O_4 la

resistencia aumentó. La razón de esto pudo deberse a la formación de zonas en las que haya acumulaciones del pigmento, actuando como impurezas del concreto y generando esfuerzos internos, lo que produce el aumento en la resistencia del material.

La pasta con 10% de ZnS presentó una resistencia de 707.56 kg/cm² a los 28 días, misma que es muy similar a la presentada por la pasta con 100% de BL I 52.5 R. Por lo tanto, se puede decir que esta pasta contiene la proporción adecuada para conservar las propiedades mecánicas deseadas.

- **Resistencia a la flexotracción**

Esta prueba se realizó a 5 pastas diferentes, dos con BL I 52.5 R + 10 y 20 % de SrAl₂O₄, dos con BL I 52.5 R + 10 y 20 de ZnS y finalmente una con el 100% de BL I 52.5 R, la cual actuó como punto de referencia.

En la evaluación de la resistencia a la flexión de las pastas con la adición de pigmentos fotoluminiscentes se pudieron observar diversos comportamientos mecánicos. Comenzando con la resistencia en el concreto BL I, se observó que ésta aumenta a medida que aumentan los días de fraguado. Sin embargo, a los 28 días el material perdió resistencia mecánica de manera considerable, pasando de 88.66 a 35.44 kg/cm². Esto ocurrió porque al haber pasado 28 días de secado del material se obtuvo mayor dureza, pero también mayor fragilidad, por lo que la disminución de la resistencia es esperada.

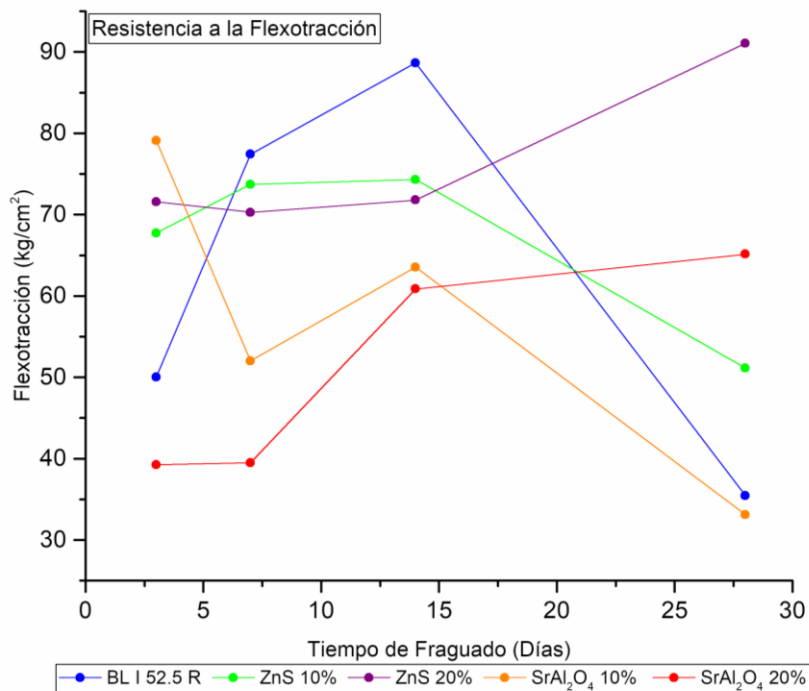


Ilustración 89 Prueba de Flexotracción a 5 pastas diferentes, dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 % de SrAl₂O₄, dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 de ZnS y finalmente una con el 100% de BLI-52.5 R como principal punto de referencia.

En la pasta con adiciones del 20% de ZnS la resistencia a la flexión aumentó hasta 91.07 kg/cm² en comparación con los 51.12 kg/cm² de la pasta con 10% de ZnS y los 35.44 kg/cm² que presentó la pasta con 100% de BL I. Esto indica que después de cierto porcentaje de sulfuro de zinc añadido el concreto se volvió más dúctil, permitiendo el crecimiento de la resistencia a la flexión.

En el caso de las pastas con adiciones de SrAl₂O₄ se pudo observar que con 10% se presentó una tendencia de pérdida de resistencia en relación a los días de fraguado, y con el 20% de adición de pigmento fotoluminiscente aumentó debido a que la presencia de mayor cantidad de aluminato produjo que el material retuviera una mayor cantidad de agua.

La evaluación de ambas resistencias, como se mencionó anteriormente, tuvo como objetivo el determinar cómo influyen los pigmentos estudiados en la modificación de las resistencias mecánicas del cemento BL I 52.5 R. Sin embargo, lo que se buscó realmente es que, a 28 días de fraguado, que es el tiempo establecido para utilizar un concreto, hubiera la menor variación posible de las propiedades mecánicas. Idealmente, se puede adicionar 10% de sulfuro de zinc y la resistencia a la compresión se mantendrá igual que el cemento sin pigmento; de igual manera, con 10% de aluminato de estroncio se tiene una mínima variación en la resistencia a la flexión. Por lo tanto, la elección de un pigmento fotoluminiscente u otro dependerá de cómo fue el desempeño de ambos materiales en las otras propiedades evaluadas en las pastas arquitectónicas.



CONCLUSIONES

1. Conclusiones

En esta investigación se diseñaron seis pastas arquitectónicas fotoluminiscentes, resultado de la mezcla de cemento BL I 52.5 R con adiciones de pigmentos fotoluminiscentes, de las cuales 3 Pastas se diseñaron con pigmento fotoluminiscente derivado del Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4) y otras 3 del pigmento derivado del Sulfuro de Zinc (ZnS), cada pasta tenía en total 100 g de pasta anhidra y contenía porcentajes del 10, 15 y 20% de cada pigmento fotoluminiscente y el resto de cemento BL I 52.5 R. Con el propósito de identificar la influencia que dichos pigmentos tienen sobre las pastas de cemento tradicionales se realizó una pasta más, con el 100% de cemento BL I 52.5 R para tener referencias en base a esta. El trabajo consistió en identificar las características físicas, químicas y mecánicas de las pastas fotoluminiscentes desarrolladas en comparación con una pasta tradicional que solo contiene cemento BL I 52.5 R.

Mediante la caracterización de los dos pigmentos comerciales utilizados se obtuvo su composición química, se concluyó que uno se deriva efectivamente del Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4) y otro del Sulfuro de Zinc (ZnS), Con los cuales se diseñaron las mezclas descritas en el párrafo anterior para obtener las probetas que se utilizarían en las pruebas físico - químicas, y con adiciones del 10 y 20% para utilizarlas en los ensayos mecánicos. Así mismo se determinó su absorción y emisión en el espectro electromagnético, donde se obtuvo que las pastas con SrAl_2O_4 presentan una fosforescencia de 2 a 4 minutos, en el área de luz visible, esto es mayor que las de ZnS que solo emiten por 30 segundos aproximadamente, sin embargo, el pigmento con SrAl_2O_4 , el no reacciona en presencia de la luz UV. El pigmento con SrAl_2O_4 , reacciona en un medio cementante hidratado. Las pruebas de calorimetría reflejaron una reacción que separó el compuesto con SrAl_2O en dos residuos, uno blanco sin propiedades luminiscentes y otro amarillo que conserva esta característica, la cual perderá en 6 meses aproximadamente. El ZnS , sin embargo, no presenta reacción alguna al entrar en contacto con un medio cementante hidratado.

En los análisis de las pruebas mecánicas se observa que la resistencia a la flexotracción alcanza los 51.12 kg/cm² en pastas con 10% de pigmento con ZnS , mientras que la resistencia a la compresión es de 707.56 kg/cm² prácticamente igual a la que presenta la pasta sin pigmentos agregados, que es de 710.60 kg/cm². Esto es consistente con el comportamiento del concreto: ante un mayor tiempo de fraguado, el proceso de secado dura más y ocurre una mayor recristalización de los componentes cerámicos, tales como óxidos e hidróxidos metálicos. Por lo tanto, esta pasta con adiciones de pigmento ZnS en un 10% es la más viable para ser utilizada en pastas luminiscentes para uso arquitectónico.

La pasta de cemento blanco con adiciones del 10% de pigmento fotoluminiscente a base sulfuro de zinc desarrollada en esta investigación se determinó que la luminiscencia es la principal característica que identifica a dicha pasta, una vez obtenido esto y después de los resultados de las pruebas físicas, químicas y mecánicas, en las cuales se comprobó que presenta un comportamiento igual y, en algunos casos, mejor que las pastas arquitectónicas tradicionales de cemento blanco, nos proporciona la seguridad de poder integrarla como una alternativa para que los arquitectos y diseñadores puedan utilizarla para crear espacios con ambientes luminiscentes. Esto es posible ya que se puede aplicar en acabados arquitectónicos de accesos, vestíbulos, áreas de servicio y señalamientos de emergencia en edificaciones tales como hoteles, casinos, centros comerciales, estaciones del sistema de transporte subterráneo y aeropuertos, entre otros donde se desee un acabado luminiscente en los elementos que lo integran. Sin embargo, al ser una pasta arquitectónica podrá tener un uso mayor utilizándola en la industria de la prefabricación de elementos de concreto, extendiendo sus aplicaciones de manera confiable en sistemas constructivos conocidos actualmente.

RESULTADO DE LAS TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN REALIZADAS	
Las actividades aquí presentadas fueron propuestas en el cronograma de trabajo solicitado para realizar la estancia. Algunas actividades se complementaron para obtener mayor precisión en los resultados, la cantidad de trabajo aumentó con respecto al planeado.	
FTIR	Se identificaron las fases mineralógicas presentes en los cementos y en los pigmentos. Se identificaron las fases cristalinas y las que tienen una estructura amorfa que a través de DRX no pueden ser detectadas.
DRX	El resultado fue la determinación de la composición mineralógica de los cementos y pigmentos. Se identificaron los compuestos cristalinos en los pigmentos y cementos.
ATD	Se identificaron las señales generadas por las pérdidas de masa en las muestras, cada estructura mineral se descompuso a una temperatura específica, permitiendo su identificación y posibles reacciones de descomposición.
Calorimetría	Se estudió la hidratación de los cementos y un pigmento a primeras edades (7 días) y a una temperatura constante (25°C). Los cementos presentaron las reacciones características. En el pigmento compuesto con SrAl ₂ O ₄ se observó una separación de fases, por lo tanto, no funciona en pastas.
SEM-EDX	El resultado fue la composición química y morfológica de los pigmentos y las pastas. Por EDX se identifica la presencia de Eu y Dy como agentes dopantes, así como los cálculos del porcentaje atómico de los elementos en la muestra. Se encontró que el ZnS conserva sus características en un medio cementante.
Raman	Se identificaron las diferentes fases monoclinicas en la que cristalizan los pigmentos derivados del SrAl ₂ O ₄ mientras que los derivados del ZnS se encontró una estructura hexagonal.
Luminiscencia	Se identificó la mayor absorción de los pigmentos derivados del ZnS en 300 nm perteneciente al área de la luz UV, mientras que su máxima emisión fue cerca de los 530 nm en el rango de luz visible, se identifica el color espectral verde y el tiempo de emisión fue cerca de 40 segundos.
R. Compresión y R. Flexión	Se determinó que las pastas con 10% de pigmento con ZnS es la que presenta una resistencia a la flexotracción de 51.12 kg/cm ² y una resistencia a la compresión de 707.56 kg/cm ² prácticamente igual a la que presenta la pasta sin pigmentos agregados, que es de 710.60 kg/cm ²
Consistencia Pasta	Se presentó mayor fluidez en pastas con porcentajes de pigmento derivado del ZnS (10, 15 y 20%) los resultados son claros, a mayor cantidad de pigmento menor consistencia y mayor fluidez.

Tabla 13 Resumen, resultado de las técnicas de caracterización realizadas.

2. Anexos

Todas las técnicas de caracterización que se describen en este documento se realizaron en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ubicado en Madrid, España. Dichas técnicas fueron supervisadas por la Dra. en Química, María Teresa Blanco Varela y la Dra. en Ciencias ambientales Eva Jiménez Relinque.

ANEXO 1.-RESUMEN DE PRUEBAS

PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN													
PRUEBAS / ELEMENTOS	FTIR	DRX	SEM	ATD	RMN	FTIR desp. ATD	CALORI METRIA	Ultravioleta Absorción	UV VIS Emisión	Distribución	R. Compresión	R. Flexión	Consistencia
CEMENTOS													
BL-I 52.5 R	FTIR	DRX		ATD			CAL	ABS	EMI				
BL-II 42.5 R	FTIR	DRX		ATD			CAL						
SULFURO DE ZINC (ZnS)													
Pig ZnS	FTIR	DRX	SEM		RMN			ABS	EMI				
ALUMINATO DE ESTRONCIO (SrAl₂O₄)													
YG-1012	FTIR	DRX	SEM	ATD	RMN	IRATD		ABS	EMI				
YG-1018	FTIR	DRX	SEM	ATD	RMN	IR-ATD		ABS	EMI				
YG-1300	FTIR	DRX	SEM	ATD	RMN	IR-ATD	CAL	ABS	EMI				
YG-1300 Cal. B	FTIR	DRX	SEM	ATD									
YG-1300 Cal. A	FTIR	DRX	SEM	ATD									
Pasta ANHIDRA ZnS													
Pasta 5%								ABS	EMI				
Pasta 10%								ABS	EMI				
Pasta 15%								ABS	EMI				
Pasta 50%								ABS	EMI				
Pasta 90%								ABS	EMI				
PASTA ZnS 3 DÍAS													
Pasta 10%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 15%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 20%										DIS	COM	FLE	CON
PASTA ZnS 14 DÍAS													
Pasta 10%								ABS	EMI	DIS	COM	FLE	CON
Pasta 15%								ABS	EMI	DIS	COM	FLE	CON
Pasta 20%								ABS	EMI	DIS	COM	FLE	CON
PASTA ZnS 28 DÍAS													
Pasta 5%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 10%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 15%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta ANHIDRA SrAl₂O₄													
Pasta 10%								ABS	EMI				
Pasta 15%								ABS	EMI				
Pasta 20%								ABS	EMI				
Pasta 50%								ABS	EMI				
PASTA SrAl₂O₄ 14 DÍAS													
Pasta 10%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 15%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 20%										DIS	COM	FLE	CON
PASTA SrAl₂O₄ 28 DÍAS													
Pasta 10%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 15%										DIS	COM	FLE	CON
Pasta 20%										DIS	COM	FLE	CON

La proporción de las pastas de cemento BL I 52.5 R + 10 y 20% de ZnS y cemento BL I 52.5 R + 10 y 20% de SrAl₂O₄, se determinó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C979/C979M -10, que incluye lo referente al uso de los pigmentos para la coloración integral del concreto. Los ensayos de resistencia a la flexión y compresión a 3, 7, 14 y 28 días de fraguado fueron siguiendo lo indicado en la norma española UNE-EN 196-1: 2005 y la UNE-EN 196-3: 2017.

Anexo 2. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R (3 días)

PASTA:		CEM BL 1 52.5 R					TIEMPO		3 DÍAS	
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)					TIEMPO		3 DÍAS	
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 19/10/2017					A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS			
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	0.998	0.92		0.959	7.3195	4400	32.2058	727.47	647.21
	h=	1.021	1.019	1.061					1.0337	687.34
2	b=	1.001	0.994		0.9975	7.1892	5200	37.3838	618.36	427.16
	h=	1.029	1.034	1.005					1.0227	522.76
3	b=	0.992	0.998		0.995	7.6546	7100	54.3477	587.36	493.54
	h=	0.983	0.991	1.003					0.9923	540.45
4	b=	0.991	0.989		0.99	7.2437	7500	54.3274	536.27	488.14
	h=	1.017	1.019	1.032					1.0227	512.20
5	b=	0.996	0.998		0.997	7.2305	8000	57.8437	582.16	652.21
	h=	1.013	1.016	1.031					1.0200	617.18
6	b=	0.995	0.998		0.9965	7.3635	8700	64.0621	0.00	0.00
	h=	0.999	1.009	1.025					1.0110	0.00
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								50.03 kg/cm²	575.99 kg/cm²	

Anexo 3. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R (7 días)

PASTA:		CEM BL 1 52.5 R					TIEMPO		7 DÍAS	
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)					TIEMPO		7 DÍAS	
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 23/10/2017					A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS			
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	1.009	0.988		0.9985	7.3149	9900	72.4175	648.95	712.17
	h=	1.001	0.998	1.041					1.0133	680.56
2	b=	1.029	1.03		1.0295	6.8095	10000	68.0948	743.58	627.33
	h=	1.041	1.024	1.038					1.0343	685.45
3	b=	1.003	0.989		0.996	6.8214	10400	70.9423	733.38	798.23
	h=	1.042	1.039	1.071					1.0507	765.81
4	b=	1.009	1.004		1.0065	6.9966	11900	83.2597	785.90	776.31
	h=	1.036	1.015	1.045					1.0320	781.10
5	b=	0.989	0.994		0.9915	7.4152	11200	83.0508	768.46	772.94
	h=	1.024	0.997	1.009					1.0100	770.70
6	b=	1.015	0.992		1.0035	6.8659	12650	86.8537	739.60	660.67
	h=	1.068	1.038	1.024					1.0433	700.14
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								77.44 kg/cm²	730.63 kg/cm²	

Anexo 4. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R (14 días)

PASTA:		CEM BL 1 52.5 R								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	14 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 30/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	0.99	0.992		0.991	7.2505	12550	90.9940	610.28	649.23
	h=	1.035	1.001	1.029					1.0217	629.76
2	b=	0.996	1.004		1	7.4206	11450	84.9663	6720.19	743.54
	h=	1.001	1.014	1.001					1.0053	731.86
3	b=	0.991	0.992		0.9915	7.1951	10150	73.0305	667.48	620.28
	h=	1.021	1.021	1.034					1.0253	643.88
4	b=	0.95	0.91		0.93	7.6361	13350	101.9424	602.74	739.15
	h=	1.003	1.033	1.047					1.0277	670.95
5	b=	0.995	0.998		0.9965	7.1173	13250	94.3044	621.40	810.21
	h=	1.021	1.025	1.039					1.0283	715.80
6	b=	0.99	0.987		0.9885	7.0782	12250	86.7082	780.85	780.85
	h=	1.064	1.018	1.024					1.0353	780.85
Resistencia Mecánica								Flexotracción 88.66 kg/cm²	Compresión 695.52 kg/cm²	

Anexo 5. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R (28 días)

PASTA:		CEM BL 1 52.5 R								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	28 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 13/11/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	0.994	0.989		0.9915	7.3327	4250	31.1641	571.25	754.69
	h=	1.019	1.002	1.026					1.0157	662.97
2	b=	0.991	1		0.9955	7.2177	2650	19.1270	834.54	688.00
	h=	1.015	1.017	1.033					1.0217	761.27
3	b=	0.997	0.996		0.9965	7.0943	6850	48.5960	667.81	680.05
	h=	1.025	1.024	1.041					1.0300	673.93
4	b=	0.995	0.996		0.9955	6.4155	6300	40.4175	767.95	744.70
	h=	1.116	1.052	1.083					1.0837	756.32
5	b=	1.004	0.995		0.9995	7.0411	5050	35.5574	855.64	597.66
	h=	1.035	1.016	1.046					1.0323	726.65
6	b=	0.997	1		0.9985	7.0572	5350	37.7562	717.78	647.11
	h=	1.038	1.016	1.041					1.0317	682.45
Resistencia Mecánica								Flexotracción 35.44 kg/cm²	Compresión 710.60 kg/cm²	

Anexo 6. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de ZnS (3 días)

PASTA: CEM BL 1 52.5 R + 10% ZnS										
CUARTO DE CURADO					HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO		3 DÍAS
OBSERVACIONES:					FIN DEL CURADO 19/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS		
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
									Sección 1	Sección 2
1	b=	0.996	0.99		0.993	7.0507	6000	42.3041	490.18	490.79
	h=	1.014	1.077	1.014					1.0350	490.48
2	b=	0.992	0.989		0.9905	6.9694	9500	66.2090	618.36	427.16
	h=	1.018	1.088	1.021					1.0423	522.76
3	b=	0.995	0.994		0.9945	7.5667	10000	75.6668	587.36	493.54
	h=	1.008	0.985	1.002					0.9983	540.45
4	b=	0.99	0.988		0.989	7.3416	9500	69.7455	536.27	488.14
	h=	1.004	1.018	1.027					1.0163	512.20
5	b=	0.988	0.988		0.988	7.5008	10000	75.0081	582.16	652.21
	h=	1.014	1.002	1.002					1.0060	617.18
6	b=	0.995	0.993		0.994	7.3191	10600	77.5824	0.00	0.00
	h=	1.023	1.002	1.021					1.0153	0.00
Resistencia Mecánica								Flexotracción 67.75 kg/cm²	Compresión 536.62 kg/cm²	

Anexo 7. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de ZnS (7 días)

CEMENTO: CEM BL 1 52.5 R + 10% ZnS										
CUARTO DE CURADO					HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO		7 DÍAS
OBSERVACIONES:					FIN DEL CURADO 23/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS		
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
									Sección 1	Sección 2
1	b=	0.988	0.986		0.987	7.4885	9400	70.3924	680.05	710.84
	h=	1.009	1.017	0.996					1.0073	695.45
2	b=	0.993	0.992		0.9925	7.3494	11750	86.3560	646.09	643.03
	h=	1.038	1.001	1.003					1.0140	644.56
3	b=	0.987	0.976		0.9815	6.9486	10700	74.3498	663.63	725.94
	h=	1.005	1.038	1.103					1.0487	694.78
4	b=	Probeta Rota			0	0	0	0	0	0
	h=				0				0	
5	b=	0.997	0.993		0.995	7.4976	8900	66.7291	642.73	651.90
	h=	1.003	1.002	1.003					1.0027	647.32
6	b=	1.029	1.021		1.025	6.9419	10200	70.8074	584.60	590.31
	h=	1.011	1.014	1.055					1.0267	587.46
Resistencia Mecánica								Flexotracción 73.73 kg/cm²	Compresión 660.86 kg/cm²	

Anexo 8. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de ZnS (14 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	14 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 30/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	0.994	0.993		0.9935	7.2040	9100	65.5568	603.57	755.71
	h=	1.045	0.998	1.028	1.0237				679.64	
2	b=	0.993	0.991		0.992	7.1962	10100	72.6814	620.70	741.64
	h=	1.044	0.997	1.034	1.0250				681.17	
3	b=	0.99	0.985		0.9875	7.3818	8750	64.5908	771.62	666.89
	h=	1.043	0.986	1.014	1.0143				719.26	
4	b=	1.001	0.995		0.998	7.4207	10450	77.5467	756.73	600.51
	h=	1.015	1	1.004	1.0063				678.62	
5	b=	0.989	0.996		0.9925	7.1367	9450	67.4422	697.89	645.89
	h=	1.047	1.008	1.032	1.0290				671.89	
6	b=	0.991	0.995		0.993	7.1101	13800	98.1193	436.44	436.44
	h=	1.061	1.002	1.029	1.0307				436.44	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 74.34 kg/cm²	Compresión 644.58 kg/cm²	

Anexo 9. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de ZnS (28 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	28 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 13/11/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=								Sección 1	Sección 2
1	b=	1	0.992		0.996	7.1163	6800	48.3907	706.97	636.00
	h=	1.022	1.031	1.033	1.0287				671.48	
2	b=	0.993	0.996		0.9945	7.2062	9000	64.8556	685.76	664.24
	h=	1.027	1.02	1.022	1.0230				675.00	
3	b=	0.988	0.99		0.989	7.0023	4650	32.5608	738.99	665.57
	h=	1.06	1.033	1.029	1.0407				702.28	
4	b=	0.98	1		0.99	7.3680	6600	48.6289	679.23	617.44
	h=	1.006	1.011	1.025	1.0140				648.34	
5	b=	0.996	0.996		0.996	7.3188	9050	66.2352	807.51	844.33
	h=	0.991	1.017	1.035	1.0143				825.92	
6	b=	0.993	0.99		0.9915	7.1998	6400	46.0788	781.20	663.53
	h=	0.996	1.019	1.06	1.0250				722.37	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 51.12 kg/cm²	Compresión 707.56 kg/cm²	

Anexo 10. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de ZnS (3 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	3 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 19/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	0.994	0.992		0.993	7.5478	4700	35.4748	663.43	576.85
	h=	1.008	1	0.993	1.0003				620.14	
2	b=	1.001	0.993		0.997	7.6239	11200	85.3875	644.15	597.76
	h=	0.999	0.985	0.996	0.9933				620.96	
3	b=	0.987	1.012		0.9995	7.5692	10300	77.9629	579.30	609.08
	h=	1.002	0.99	0.995	0.9957				594.19	
4	b=	0.998	0.999		0.9985	7.1820	7800	56.0195	531.07	500.07
	h=	1.016	1.029	1.023	1.0227				515.57	
5	b=	0.99	0.993		0.9915	7.9517	10200	81.1078	503.64	662.61
	h=	0.978	0.973	0.975	0.9753				583.12	
6	b=	0.996	0.995		0.9955	7.7915	12000	93.4974	0.00	0.00
	h=	0.995	0.985	0.97	0.9833				0.00	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								71.57 kg/cm²	586.80 kg/cm²	

Anexo 11. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de ZnS (7 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)			TIEMPO	7 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 23/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	0.991	0.996		0.9935	7.6507	9350	71.5344	436.64	520.87
	h=	0.991	0.978	1.011	0.9933				478.76	
2	b=	0.995	0.997		0.996	7.5402	9150	68.9926	543.00	651.29
	h=	1.016	0.972	1.01	0.9993				597.15	
3	b=	1.02	0.996		1.008	7.1282	10200	72.7080	624.17	619.27
	h=	0.989	1.006	1.07	1.0217				621.72	
4	b=	0.987	0.997		0.9920	7.3146	9750	71.3177	602.55	663.94
	h=	0.998	1.019	1.033	1.0167				633.24	
5	b=	0.994	0.992		0.993	7.6392	7050	53.8564	580.01	619.38
	h=	1.011	0.983	0.989	0.9943				599.70	
6	b=	1	1.008		1.004	7.5707	11000	83.2780	635.69	685.05
	h=	1.013	0.984	0.983	0.9933				660.37	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								70.28 kg/cm²	598.49 kg/cm²	

Anexo 12. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de ZnS (14 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)			TIEMPO	14 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 30/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=	h=							Sección 1	Sección 2
1	0.989	0.99			0.9895	7.4598	7900	58.9320	492.42	485.89
	1.033	0.985	1.006		1.0080				489.16	
2	0.985	0.993			0.989	7.4487	8800	65.5489	469.89	543.71
	1.044	0.992	0.991		1.0090				506.80	
3	0.996	0.984			0.99	7.4363	9500	70.6448	501.29	612.14
	1.048	1.001	0.979		1.0093				556.71	
4	0.996	0.998			0.997	7.3115	10400	76.0393	382.19	467.64
	1.044	1.004	0.995		1.0143				424.92	
5	1	1.003			1.0015	7.2930	8200	59.8025	513.22	499.86
	1.077	0.976	0.987		1.0133				506.54	
6	0.997	0.991			0.994	7.5654	13200	99.8637	545.14	545.14
	1.026	0.983	0.987		0.9987				545.14	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 71.81 kg/cm²	Compresión 504.88 kg/cm²	

Anexo 13. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de ZnS (28 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% ZnS								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)			TIEMPO	28 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 13/11/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=	h=							Sección 1	Sección 2
1	0.995	0.993			0.994	7.5252	8250	62.0828	666.28	678.01
	1.011	0.995	0.998		1.0013				672.15	
2	0.989	0.99			0.9895	7.8814	9000	70.9325	756.02	566.35
	0.983	0.983	0.976		0.9807				661.18	
3	0.999	0.993			0.996	7.3769	15250	112.4974	554.93	647.83
	1.018	0.994	1.019		1.0103				601.38	
4	0.991	0.989			0.99	7.6881	13550	104.1738	728.49	828.52
	0.995	0.983	1		0.9927				778.50	
5	0.993	0.989			0.991	7.5732	13150	99.5871	850.34	658.23
	0.974	1.007	1.018		0.9997				754.28	
6	0.994	0.996			0.995	7.2497	13400	97.1464	575.22	645.38
	1.013	1.02	1.026		1.0197				610.30	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 91.07 kg/cm²	Compresión 679.63 kg/cm²	

Anexo 14. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de SrAl₂O₄ (3 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)				TIEMPO	3 DÍAS			
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 19/10/2017				A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS				
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	0.992	0.992		0.992	7.8031	6100	47.5987	735.42	770.91
	h=	0.984	0.986	0.983	0.9843				753.16	
2	b=	0.994	0.99		0.992	7.4508	11600	86.4293	770.70	651.50
	h=	0.998	1.003	1.021	1.0073				711.10	
3	b=	0.984	0.992		0.988	7.5458	11100	83.7578	686.27	766.62
	h=	0.998	1.008	1.003	1.0030				726.45	
4	b=	0.994	0.99		0.992	7.4164	8500	63.0395	690.55	711.86
	h=	1.013	1.009	1.007	1.0097				701.21	
5	b=	0.995	0.999		0.997	7.2116	10800	77.8852	722.67	622.33
	h=	1.015	1.022	1.027	1.0213				672.50	
6	b=	0.994	0.995		0.9945	7.2867	15900	115.8583	0.00	0.00
	h=	1.023	1.017	1.012	1.0173				0.00	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								79.09 kg/cm²	712.88 kg/cm²	

Anexo 15. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de SrAl₂O₄ (7 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)				TIEMPO	7 DÍAS			
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 23/10/2017				A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS				
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	0.985	0.991		0.988	7.3154	5550	40.6007	633.55	768.87
	h=	1.035	1.008	1.013	1.0187				701.21	
2	b=	0.991	0.997		0.994	7.5503	8000	60.4024	833.82	796.70
	h=	1.019	0.986	0.994	0.9997				815.26	
3	b=	0.997	0.996		0.9965	7.2816	8200	59.7091	655.47	687.59
	h=	1.031	1.005	1.014	1.0167				671.53	
4	b=	0.993	0.995		0.9940	6.8962	7700	53.1009	817.40	668.63
	h=	1.039	1.039	1.06	1.0460				743.02	
5	b=	0.993	1.009		1.001	6.9495	7550	52.4687	715.43	674.95
	h=	1.021	1.034	1.06	1.0383				695.19	
6	b=	0.992	0.991		0.9915	7.1625	6400	45.8399	741.84	751.33
	h=	1.009	1.018	1.056	1.0277				746.59	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								52.02 kg/cm²	728.80 kg/cm²	

Anexo 16. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de SrAl₂O₄ (14 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)				TIEMPO	14 DÍAS			
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 30/10/2017				A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS				
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
									Sección 1	Sección 2
1	b=	0.997	0.993		0.995	7.0821	4850	34.3480	801.80	721.65
	h=	0.995	1.027	1.073					1.0317	761.73
2	b=	0.998	0.993		0.9955	7.2130	9350	67.4419	788.85	757.14
	h=	0.998	0.997	1.071					1.0220	773.00
3	b=	0.987	0.992		0.9895	7.3669	12100	89.1393	753.88	803.54
	h=	0.995	1.002	1.046					1.0143	778.71
4	b=	0.991	0.99		0.9905	7.1512	7650	54.7063	717.88	820.87
	h=	1.012	1.024	1.051					1.0290	769.38
5	b=	0.995	0.998		0.9965	7.1451	10350	73.9516	776.72	725.63
	h=	1.01	1.022	1.047					1.0263	751.17
6	b=	0.984	1.019		1.0015	7.0543	8750	61.7253	753.47	753.47
	h=	1.015	1.014	1.062					1.0303	753.47
Resistencia Mecánica								Flexotracción 63.55 kg/cm²	Compresión 764.57 kg/cm²	

Anexo 17. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 10% de SrAl₂O₄ (28 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 10% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)				TIEMPO	28 DÍAS			
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 13/11/2017				A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS				
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
									Sección 1	Sección 2
1	b=	0.988	0.987		0.9875	7.2810	5800	42.2296	705.34	766.21
	h=	1.025	1.02	1.019					1.0213	735.78
2	b=	0.996	0.993		0.9945	7.1455	6500	46.4459	929.47	914.07
	h=	1.031	1.026	1.025					1.0273	921.77
3	b=	1.004	0.999		1.0015	6.7582	5200	35.1424	821.79	835.56
	h=	1.048	1.057	1.053					1.0527	828.67
4	b=	1.014	1.011		1.0125	6.5431	5700	37.2956	794.15	800.07
	h=	1.092	1.05	1.05					1.0640	797.11
5	b=	0.989	0.991		0.99	7.1873	900	6.4686	787.22	816.59
	h=	1.035	1.022	1.023					1.0267	801.90
6	b=	0.996	0.996		0.996	7.2235	4300	31.0612	801.39	618.87
	h=	1.02	1.013	1.03					1.0210	710.13
Resistencia Mecánica								Flexotracción 33.11 kg/cm²	Compresión 799.23 kg/cm²	

Anexo 18. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de SrAl₂O₄ (3 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)			TIEMPO	3 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 19/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	0.987	0.992		0.9895	7.4845	4700	35.1771	170.19	156.22
	h=	1.004	1.011	1.004	1.0063				163.21	
2	b=	0.991	1.001		0.996	7.2948	4600	33.5562	184.26	153.77
	h=	1.02	1.015	1.013	1.0160				169.02	
3	b=	0.995	0.992		0.9935	7.0020	5000	35.0098	162.34	161.52
	h=	1.046	1.033	1.036	1.0383				161.93	
4	b=	0.995	0.993		0.994	7.0755	6200	43.8678	174.17	169.17
	h=	1.029	1.026	1.043	1.0327				171.67	
5	b=	0.989	0.992		0.9905	7.3161	4900	35.8489	164.28	155.91
	h=	1.025	1.009	1.018	1.0173				160.10	
6	b=	0.99	0.996		0.993	7.4433	7000	52.1031	0.00	0.00
	h=	1.012	1.002	1.008	1.0073				0.00	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								39.26 kg/cm²	165.18 kg/cm²	

Anexo 19. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de SrAl₂O₄ (7 días)

CEMENTO:		CEM BL 1 52.5 R + 20% SrAl ₂ O ₄								
CUARTO DE CURADO		HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+ - 2 °C)			TIEMPO	7 DÍAS				
OBSERVACIONES:		FIN DEL CURADO 23/10/2017			A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS					
Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción	Compresión (kg /cm ²)	
	b=							kg /cm ²	Sección 1	Sección 2
1	b=	1.001	1.001		1.001	6.6349	4500	29.8570	164.07	193.64
	h=	1.057	1.056	1.075	1.0627				178.86	
2	b=	0.993	0.992		0.9925	7.0679	5350	37.8132	195.28	220.56
	h=	1.03	1.026	1.046	1.0340				207.92	
3	b=	1.017	1.001		1.009	6.8547	6000	41.1284	207.00	202.01
	h=	1.019	1.045	1.06	1.0413				204.50	
4	b=	0.995	0.998		0.9965	6.7153	8200	55.0655	175.60	213.73
	h=	1.041	1.071	1.064	1.0687				194.66	
5	b=	0.994	0.998		0.996	6.9088	5850	40.4163	193.13	194.56
	h=	1.027	1.055	1.05	1.0440				193.85	
6	b=	0.995	0.992		0.9935	6.8865	4750	32.7110	178.65	186.40
	h=	1.043	1.056	1.042	1.0470				182.53	
Resistencia Mecánica								Flexotracción	Compresión	
								39.50 kg/cm²	193.72 kg/cm²	

Anexo 20. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de SrAl₂O₄ (14 días)

CEMENTO:	CEM BL 1 52.5 R + 20% SrAl₂O₄		
CUARTO DE CURADO	HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)	TIEMPO	14 DÍAS
OBSERVACIONES:	FIN DEL CURADO 30/10/2017	A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS	

Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=	h=							Sección 1	Sección 2
1	0.989	0.997			0.993	7.1285	7100	50.6126	204.86	168.76
	1.019	1.049	1.02		1.0293				186.81	
2	0.996	1.002			0.999	7.2019	8500	61.2158	203.74	220.26
	1.01	1.039	1.014		1.0210				212.00	
3	0.994	0.993			0.9935	7.2417	9350	67.7101	217.61	216.18
	1.013	1.029	1.021		1.0210				216.89	
4	0.998	0.999			0.9985	7.1586	9550	68.3650	167.85	211.49
	1.017	1.033	1.023		1.0243				189.67	
5	0.997	0.994			0.9955	7.2319	7650	55.3240	178.55	201.09
	1.019	1.02	1.023		1.0207				189.82	
6	0.994	0.997			0.9955	7.2083	8600	61.9917	190.18	190.18
	1.024	1.021	1.022		1.0223				190.18	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 60.87 kg/cm²	Compresión 197.56 kg/cm²	

Anexo 21. Prueba Mecánica a la Pasta de Cemento BLI 52.5 R + 20% de SrAl₂O₄ (28 días)

CEMENTO:	CEM BL 1 52.5 R + 20% SrAl₂O₄		
CUARTO DE CURADO	HUMEDAD 95 %; TEMP 21 °C (+- 2 °C)	TIEMPO	28 DÍAS
OBSERVACIONES:	FIN DEL CURADO 13/11/2017	A/C=0.30 PARA TODAS LAS PROBETAS	

Probeta	Dimensiones: b= ancho; h= altura (cm)				Valor Medio (cm)	7,5/bh ²	kg	Flexotracción kg /cm ²	Compresión (kg /cm ²)	
	b=	h=							Sección 1	Sección 2
1	0.99	0.998			0.994	6.8264	9200	62.8032	236.27	248.81
	1.054	1.045	1.055		1.0513				242.54	
2	0.989	0.991			0.99	6.8714	10200	70.0886	250.85	232.70
	1.049	1.05	1.051		1.0500				241.77	
3	0.988	0.985			0.9865	6.5788	10500	69.0775	291.74	242.69
	1.056	1.068	1.101		1.0750				267.22	
4	0.989	0.986			0.9875	6.6337	9100	60.3668	262.88	234.33
	1.077	1.067	1.066		1.0700				248.61	
5	0.995	0.989			0.992	6.8663	9600	65.9165	236.88	266.55
	1.053	1.046	1.049		1.0493				251.72	
6	0.986	0.992			0.989	6.7705	9250	62.6270	217.51	206.59
	1.059	1.067	1.049		1.0583				212.05	
Resistencia Mecánica								Flexotracción 65.15 kg/cm²	Compresión 243.98 kg/cm²	

3. Glosario

- **Acabados:** Material que se aplica sobre una superficie con objetivo de protegerla de los efectos del exterior, así como para decorar un ambiente
- **Aglomerante:** Dicho de un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.
- **Alita:** Fase cristalina presente en el clinker del cemento Portland, con composición química $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, caracterizada por tener una elevada velocidad de hidratación y una elevada capacidad exotérmica.
- **Aluminato:** Compuesto formado por la alúmina en combinación con ciertas bases.
- **Aluminosilicato:** Mineral que contiene tanto óxido de aluminio como óxido de silicio en su composición, como las arcillas, la puzolana y el feldespato.
- **Anhidrita:** Roca de mayor densidad y dureza que el yeso, formada por un sulfato de cal anhidro.
- **Bellita:** Fase cristalina presente en el clinker del cemento Portland, con composición química $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, caracterizado por tener una velocidad de hidratación lenta y ser menos exotérmica que la alita.
- **Bromuro de potasio:** Sal de bromo con potasio.
- **Calcio:** Elemento químico metálico, de número atómico 20, de color blanco o gris, blando y muy ligero, muy abundante en la corteza terrestre en forma de carbonato o de sulfato, que es un componente esencial de huesos, dientes, caparazones y estructuras vegetales, y tiene gran importancia en el metabolismo celular. Símbolo: Ca.
- **Calcita:** Carbonato de calcio, muy abundante, que cristaliza en formas del sistema hexagonal, generalmente blanco puro, a veces transparente.
- **Caliza:** Roca formada de carbonato de cal.
- **Calorimetría:** Rama de la física que trata de la medición del calor. Medida del calor que se desprende o absorbe en los procesos físicos, químicos o biológicos.
- **Caracterización:** Determinación de los atributos particulares de un compuesto, de modo que sea distinguible de otros. Establecimiento de las características a partir del estudio de las propiedades físicas, químicas, estructurales, mecánicas, entre otras.
- **Carbonato:** Sal derivada del ácido carbónico.
- **Cementante:** Materia prima en la fabricación de cemento, con las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada.
- **Clinker:** Producto granulado obtenido por calcinación de caliza y arcilla, y utilizado en la fabricación de cementos.
- **Cloruro:** Sal derivada del ácido clorhídrico.
- **Difracción:** Desviación de una onda al chocar con el borde de un cuerpo opaco o al atravesar una abertura.
- **Dióxido de carbono** : Gas más pesado que el aire, formado por la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno, que se produce en las combustiones y que es uno de los principales causantes del efecto invernadero.
- **Disprobio:** Elemento químico metálico, de número atómico 66, del grupo de los lantánidos, escaso en la naturaleza, que se encuentra con otros lantánidos en algunos minerales y se utiliza en la industria nuclear. Símbolo: Dy.
- **Espectro electromagnético:** Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía o la temperatura.
- **Espectroscopía:** Rama de la física que estudia el espectro electromagnético. Imagen obtenida por un espectroscopio.
- **Estroncio:** Elemento químico metálico, de número atómico 38, de color blanco brillante, blando y fácilmente oxidable, abundante en la corteza terrestre, cuyos derivados se usan en pirotecnia para dar color rojo, así como en las industrias cerámica y del vidrio, y cuyo isótopo radiactivo, estroncio 90, es muy radiotóxico y de fácil incorporación a la cadena alimentaria. Símbolo: Sr.
- **Estructura cúbica:** Estructura cristalina con cuatro ejes de simetría ternarios y diagonales cúbicas, caracterizado por tener sus tres parámetros de red de misma longitud y tres ángulos internos iguales entre ellos y a 90° .
- **Estructura hexagonal:** Estructura descrita como un prisma hexagonal, con un eje principal hexagonal, con dos parámetros de red, componentes de la base, iguales en dimensión y un tercer parámetro de distinta longitud, y con dos ángulos internos iguales entre ellos y a 90° y un ángulo de 120° .

- **Estructura monoclinica:** Estructura cristalina con un eje binario, con tres parámetros de red de distintas dimensiones, a , b , y c , y con dos ángulos internos iguales entre ellos y a 90° y un ángulo distinto de 90° .
- **Europio:** Elemento químico metálico, de número atómico 63, del grupo de los lantánidos, escaso en la corteza terrestre, donde se encuentra con otros metales del mismo grupo en ciertos minerales, y cuyos derivados se usan en las industrias electrónica y nuclear. Símbolo: Eu.
- **Fase cristalina:** Fase de un material que presenta un arreglo cristalino y periódico.
- **Ferroaluminato tetracálcico:** También llamado felita, es un compuesto encontrado en el clínker del cemento Portland, de composición química $Al_2O_3 \cdot 4CaO \cdot Fe_2O_3$.
- **Gibbsita:** Producto de descomposición encontrado en el cemento aluminoso, con composición química $Al(OH)_3$.
- **Longitud de onda:** Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas.
- **Meteorización:** Fragmentación o degradación parcial o total de las rocas y los minerales en contacto con la atmósfera, la hidrosfera o la biosfera.
- **Óxido:** Compuesto que resulta de combinar oxígeno generalmente con un metal, o a veces con un metaloide.
- **Polímero:** Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
- **Portlandita:** Mineral con composición química $Ca(OH)_2$, hidróxido de calcio, presente en el cemento Portland como el componente de mayor presencia en su composición.
- **Radiación:** Energía ondulatoria o partículas materiales que se propagan a través del espacio. Forma de propagarse la energía o las partículas.
- **Señal endotérmica:** Señal percibida por un calorímetro al ocurrir una reacción química endotérmica, es decir, que absorbe energía térmica del medio para poder llevarse a cabo.
- **Silicato:** Sal derivada del ácido silícico.
- **Sistema cristalino:** Patrón repetitivo dentro de un cristal, representado a partir de una celda unitaria. Existen siete sistemas cristalinos básicos, con distintas combinaciones en la posición de los átomos que las conforman.
- **Sulfato:** Sal mineral u orgánica derivada del ácido sulfúrico.
- **Sulfuro:** Sal derivada del ácido sulfhídrico.
- **Transmitancia:** Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento.
- **Yeso:** Sulfato de calcio hidratado, de color blanco, usado en construcción y en escultura por su propiedad de endurecerse rápidamente al mezclarse con agua.
- **Zinc:** Elemento químico metálico, de número atómico 30, de color blanco, brillante y blando, abundante en la corteza terrestre en forma de sulfuro, carbonato o silicato, y usado en la fabricación de pilas eléctricas, en la formación de aleaciones como el latón, y en la galvanización del hierro y el acero. Símbolo: Zn

4. Referencias bibliográficas

- ¹ **Shackelford, J. F.** (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid, Esp.: Pearson Educación, S. A.
- ² **Muñoz Tamara, J.** (2010). *La piel de la nueva arquitectura esta hecha de valores sostenibles. Nueva construcción*, 24.
- ³ **P. Gu, J.J, B.** (1997). A conduction calorimetric study of early hydration of ordinary Portland cement/high alumina cement pastes. *Sci. J. Mater.* Pág. 3875-3881
- ⁴ **Revista educativa ARQHYS.com**, equipo de redacción profesional. (2012, 12). Definición de Fachada. Terminadas. Consulta realizada el día 25/09/201709, desde el sitio web: <http://www.arqhys.com/articulos/fachada-arquitectura.html>
- ⁵⁻⁶ **Abeldia, C.** (17 de 08 de 2010). *ArtículoTV*. Recuperado el 14 de 03 de 2017, de http://www.articulo.tv/Fachadas-casas_4077
- ⁷ **Rocha-Tamayo, E.** (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Revista nodo*, 11(6), pp: 99-116.
- ⁸ **Pacheco, A. y M.** (10 de 10 de 2010). *Empresa constructura, de reformas y mantenimiento de edificios*. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de <http://www.pachecoam.com/site1/revestimiento-piedra-fachadas/>
- ⁹⁻¹¹⁻¹²⁻²²⁻²³ **Dominguez Kestler, O. A.** (2003). *Materiales, requerimientos de diseño y construcción para locales en centros comerciales modernos*. Cd. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- ¹⁰ **Cotolma.** (2010). *Construcción, promoción y gestión*. Recuperado el 10 de 11 de 2017, de <http://www.cotolma.com/fachadas-piedra-natural-construccion/>
- ¹³ **Vitralva.** (2010). *Vitralva Cristalería*. Recuperado el 07 de 10 de 2017, de <http://www.vitralva.com/vidrio-plano.php>
- ¹⁴⁻¹⁶ **kommerling.** (2011). *Vivienda Saludable*. Recuperado el 01 de 11 de 2017, de <https://www.vivendasaludable.es/sostenibilidad-medio-ambiente/vida-arquitectura-sostenible/materiales-reformas-obras-nuevas-vidrio>
- ¹⁵ **Glasstech.** (2009). *Glasstech Fachadas Acristaladas*. Recuperado el 07 de 08 de 2017, de http://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/405/1372711903-fachadas-acristaladas.pdf
- ¹⁷ **Arquba.com.** (2011). *Arquba.com*. Recuperado el 03 de 11 de 2017, de <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/los-metales/>
- ¹⁸ **González Morán, I.** (2011). *Estudio sobre la viabilidad de la introducción de nuevos materiales a base de titanio para la construcción de fachadas*. Madrid, Esp.: Universidad Politécnica de Madrid.
- ¹⁹ **Europerril.** (2010). *Fachadas metálicas*. Recuperado el 10 de 08 de 2017, de http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/jornadaes/81/sistemas_de_ceramiento_metal%C3%A1lico_y_su_evolucion%C3%B3n_ii.pdf
- ²⁰ **Los metales.** (2009). *Quinta Metálica*. Recuperado el 25 de 10 de 2017, de http://www.quintametálica.com/caracteristicas_comunes.php
- ²¹ **Muñoz Pérez, L.** (2009). *Mas allá del acero: otros metales y sus usos en la arquitectura del siglo XXI*. Universidad de Salamanca: Ars Longa.
- ²⁴ **Asociación del Poliuretano Rígido.** (2011). *La seguridad frente al fuego de los plásticos en edificios*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de <https://aislaconpoliuretano.com/seguridad-plasticos-frente-al-fuego.htm>
- ²⁵ **College, P.** (2014). *Glass fiber reinforced concrete and its propierties*. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES AND RESEARCH.
- ²⁶ **Herranz Garcia, S.** (2011). *Nuevos Materiales en Fachadas*. Madrid: Universidad Politécnica.
- ²⁷ **Fachadas mediales.** (04 de 05 de 2008). Recuperado el 05 de 11 de 2017, de <http://fachadasmediales.blogspot.com.es/2008/05/efte-leds.html>
- ²⁸ **Swisspearl.** (2010). *ArchExpo*. Recuperado el 20 de 10 de 2017, de <http://www.archexpo.es/prod/swisspearl/product-67313-1630729.html>
- ²⁹ **Okalux.** (2013). *okalux*. Recuperado el 09 de 11 de 2017, de <https://www.okalux.de/products/product-finder/products/kapilux/detail/kapilux-ws/>
- ³⁰ **Litracon.** (2014). *arquitecturayempresa*. Recuperado el 12 de 10 de 2017, de <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-translucido-litracon>
- ³¹ **Ciencia y Cemento.** (28 de 09 de 2015). *Ciencia y Cemento*. Recuperado el 25 de 08 de 2017, de <http://wp.cienciaycemento.com/ladrillos-pe1-a-base-de-residuos-plasticos/>
- ³²⁻³⁶⁻⁴³ **Jaimes Torres, M.** (2017). *Materiales compuestos una alternativa para fachadas prefabricadas*. Cd.Méx.: Tesis Doctoral.
- ³³ **holcim.** (2017). *productos-y-servicios*. Recuperado el 10 de 15 de 2017, de <http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html>
- ³⁴ **O'Farrill Madrigal, J. A.** (2000). *La prefabricación de fachadas como una mejor opción en la edificación*. Queretaro, Méx.: Instituto Tecnológico de la Construcción.
- ³⁵ **MetropolisMag.** (2017). *Avance claro: Zospeum lleva el concreto translúcido al siguiente nivel*. Recuperado el 24 de 10 de 2017, de <http://www.metropolismag.com/products/product-materials/clear-breakthrough-zospeum-takes-translucent-concrete-next-level/>
- ³⁷ **Marfinez Cruz, E.** (2016). *Desarrollo y caracterización de concreto polimérico modificado con fibras recicladas: efecto de la radiación Gamma*. Toluca, Edo. Méx.: Universidad Autónoma del Estado de Mexico
- ³⁸ **Varughese, K.** (1996). *Fly Ash as Fine Aggregate in Polyester Based Polymer. Cement and Concrete Composites*.
- ³⁹ **Ahn, N.** (2003). *Effects of diacrylate monomers on the bond strength of polymer concrete to wet substrates.*. *Journal of Applied Polymer Science*.
- ⁴⁰ **RevistaCyT.** (08 de 2013). *revistacyt*. Recuperado el 25 de 08 de 2016, de <http://www.imcy.com/revistacyt/agosto2013/pdfs/mejor.pdf>
- ⁴¹ **CONACytprensa.** (2015). <http://www.conacyprensa.mx>. Recuperado el 09 de 10 de 2016, de <http://www.conacyprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/3264-crean-cemento-emisor-de-luz-para-la-construccion>
- ⁴² **Industrial, I. M.** (29 de 12 de 2016). *Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Obtenido de dokumen: https://dokumen.tips/documents/todas-las-patentes-solicitadas.html*
- ⁴⁴ **Fernández Millitino, J.** (2015). *GRC en fachadas*. Recuperado el 20 de 08 de 2017, de http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/16687/1/RE_Vol%2022_06.pdf
- ⁴⁵ **Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes.** (2010). *El Hormigón como soporte biológico natural y su aplicación en fachadas*. Recuperado el 04 de 11 de 2017, de <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/40093/31.pdf?sequence=1>
- ⁴⁶ **Manso Blanco, S.** (2004). *"Optimización de la biorreceptividad de sustratos de hormigón para crecimiento biológico"*. Barcelona, Esp.
- ⁴⁷ **ARQUIGRAFICO.** (05 de 12 de 2017). <https://arquigrafico.com/los-acabados-de-construccion/>. Obtenido de ARQUIGRAFICO: <https://arquigrafico.com/los-acabados-de-construccion/>
- ⁴⁸⁻⁴⁹ **Herruella García, F.** (01 de 06 de 2014). *PASTAS y MORTEROS*. Recuperado el 04 de 11 de 2017, de http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/CP_PASTAS_MORTEROS.pdf
- ⁵⁰ **A., W., & O.M., J.** (2009). *Synthesis of pure Portland cement pastes*. *Cement and Concrete Research*.
- ⁵¹ **J.T. Song, & J.F., Y.** (2002). *Direct synthesis and hydration of calcium aluminosulfate (CA4AL6O16S)*. *Journal of the American Ceramic Society*
- ⁵² **H.M., R. (1969).** *A profile refinement method for nuclear and magnetic structures*. *Journal of Applied Crystallography*.
- ⁵³ **A.C., L., & R.B., V. D.** (2004). *General Structure Analysis System GSAS*. Los Álamos National Laboratory Report.
- ⁵⁴ **H.M., R. (1969).** *A profile refinement method for nuclear and magnetic structures*. *Journal of Applied Crystallography*.
- ⁵⁵ **A.C., L., & R.B., V. D.** (2004). *General Structure Analysis System GSAS*. Los Álamos National Laboratory Report.
- ⁵⁶ **G., E., & D., M.** (1987). *High resolution solid state NMR of silicates and zeolite*. Australia: John Wiley and Sons.
- ⁵⁷ **Sánchez Herrero, M. J.** (2017). *La activación alcalina como procedimiento para el desarrollo de nuevos cementos belíticos*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC).
- ⁵⁸⁻⁵⁹ **Neville, A. M.** (2013). *Teconología del concreto*. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 75). Ciudad de Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

- ⁶⁰ **Neville, A. M.** (2013). *Teconología del concreto*. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 81). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- ⁶¹ **Neville, A. M.** (2013). *Teconología del concreto*. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 83). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- ⁶² **H. H. Steinhour, J. P.** (1960). "Concrete mix water - how impure can it be?". En J. P. H. H. Steinhour, *Cem. Assoc. Research and Development Laboratories* (págs. 32-50). Cem. Assoc. Research and Development Laboratories.
- ⁶³ **W. J. McCoy.** (1956). "Water for mixing and curing concrete". Publ. núm. 169: (pág. 355-60). ASTM Sp. Tech.
- ⁶⁴ **Neville, A. M.** (2013). *Teconología del concreto*. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 167). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- ⁶⁵ **Neville, A. M.** (2013). *Teconología del concreto*. En A. M. Neville, *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.* (pág. 168). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- ⁶⁶ **Fuentes, D. L.** (2011). *Color a Color*. Providencia, Chile: Linco Editora.
- ⁶⁷ **R. M. Rose, L.A. Shepard y J. Wulff,** *Structure and Properties of Materials, Vol. 4, Electronic Properties*, John Wiley and Sons., NY, 1996.
- ⁶⁸ **James F. Shackelford,** *Introducción a la ciencia de los materiales*, 2005, Madrid, Esp, Pearson Educación, S.A. pp 575.
- ⁶⁹ **Equipo SUSAETA.** (2005). *Atlas ilustrado de los minerales*. En E. SUSAETA. Madrid: Susaeta Ediciones. S. A.
- ⁷⁰ **Astudillo, G. S.** (2015). *Relevancia del parámetro color en el Código Técnico de edificación (CTE)*. En G. S. Astudillo, *Relevancia del parámetro color en el Código Técnico de edificación (CTE)* (pág. 6). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- ⁷¹⁻⁷³ **Goberna, e. M.** (2002). *Técnicas de Análisis y Caracterización de Materiales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Biblioteca de Ciencias.
- ⁷² **Gómez, C. R.** (Tesis Doctoral, 2013). *Materias primas Alternativas para el desarrollo de nuevos cementos: activación alcalina de vidrios silicoluminosos*. En C. R. Gómez. Universidad Autónoma de Madrid, Fac. Ciencias: Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja (CSIC).
- ⁷⁴ **Ing. Ellen Rodríguez, E. V.** (2012). *Caracterización de polímeros aplicando el método*. Laboratorio de Ligantes Asfálticos, LanammeUCR.
- ⁷⁵ **Zielenkiewicz, W., Margas, E.,** *Hot Topics in Thermal Analysis and Calorimetry, Volume 2: Theory of Calorimetry*, Kluwer Academic Publishers. (2002), pp: IX-X
- ⁷⁶ **Elkordy, A. A.,** *Applications of Calorimetry in a Wide Context – Differential Scanning Calorimetry, Isothermal Titration Calorimetry & Microcalorimetry*, Intech.(2013), pp: ix.
- ⁷⁷ **tainstruments.com.** (05 de 08 de 2017). Obtenido de <https://www.tainstruments.com/new-tam-air/?lang=es#ffs-tabbed-34>
- ⁷⁸ **Técnicas de análisis y caracterización de materiales**, ed. M. Faraldos and C. Goberna. 2002: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Biblioteca de Ciencias.
- ⁷⁹ **C.V. Raman and K.S. Krishnan,** *Nature*, 121, 501 (1928)
- ⁸⁰ **Smith, E., Dent, G.,** *Modern Raman Spectroscopy. A Practical Approach*, John Wiley & Sons (2005), pp: 1-20
- ⁸¹ **A. Mebrouki, N. B.** (17-31 abril-junio 2010). *Aplicación del diseño estadístico de mezclas para la formulación de pasta autocompactante*. *Materiales de Construcción Vol. 60*, 20-21.
- ⁸² **Mecapedia** (25 de 01 de 2018). [mecapedia.uji.es](http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm). Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm
- ⁸³ **Askeland, D. R., Fulay, P. P., Wright, W. J.,** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Cengage Learning, sexta edición, (2012), pp:2-5.
- ⁸⁴ **UNE-EN 196-1: 2005:** *Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias*. (s.f.).
- ⁸⁵ **NOM N CMT 2 02 001/02:** *Calidad del Cemento Portland*. (s.f.).
- ⁸⁶ **ANSI/ASTM C348-77:** *Standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortars*. (s.f.).
- ⁸⁷ **ANSI/ASTM C349-77:** *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using portions of prisma broken in flexure)*. (s.f.).
- ⁸⁸ **cetesa.com.** (26 de 04 de 2017). www.cetesa.com. Obtenido de <http://www.cetesa.com/co/propiedades-mecanicas-del-cemento/>
- ⁸⁹⁻⁹³ **www.instron.com.** (15 de 02 de 2018). Obtenido de <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>
- ⁹⁰⁻⁹⁴ **www.construmatica.com.** (19 de 02 de 2017). Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Esfuerzo_de_Compresion%3B3n
- ⁹¹⁻⁹⁵ **UNE-EN 196-1: 2005:** *Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias*. (s.f.).
- ⁹²⁻⁹⁶ **UNE-EN 196-3: 2017:** *Métodos de ensayos de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad del volumen*. (s.f.).
- ⁹⁷ **www.nano-tecnologia.** (02 de 04 de 2017). Obtenido de <http://www.nano-tecnologia.cl/img/difusion/6.pdf>
- ⁹⁸ **www.researchgate.net.** (01 de 03 de 2017). Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/V_Correcher/publication/284837661_Tecnicas_Luminiscentes_/links/584561a108ae2d217567c4b7/Tecnicas-Luminiscentes.pdf
- ⁹⁹ **web.archive.org.** (03 de 03 de 2017). Obtenido de <https://web.archive.org/web/20110303211343/http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/tungstenhalogen.html>
- ¹⁰⁰ **Rocha Castro, E.,** *Principios básicos de espectroscopía*, Editorial UACH, México (2000), pp.: 123-203.
- ¹⁰¹ **Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A.,** *Principios de análisis instrumental*, Editorial Mc Graw-Hill (1998), pp: 219-239.
- ¹⁰² **chem.libretexts.org.** (07 de 03 de 2017). Obtenido de [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Spectroscopy/Electronic_Spectroscopy/Electronic_Spectroscopy_Basics/The_Beer-Lambert_Law](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Spectroscopy/Electronic_Spectroscopy/Electronic_Spectroscopy_Basics/The_Beer-Lambert_Law)
- ¹⁰³ **García, c. E.** (2007.). *Estudio de las propiedades luminiscentes del sríio3:eu3+*. Ensenada, Baja California: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior.
- ¹⁰⁴ **Cementos Lafarge.** (2014). *BL I 52.5 R*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de http://www.lafarge.com.es/BL_I_52.5_R.pdf?xtmc=bl&xtcr=1
- ¹⁰⁵ **http://ruff.info.** (20 de 11 de 2017). Obtenido de http://ruff.info/repository/sample_child_record_powder/by_minerals/Wurztite_R060181-9_Powder_DIF_File_6134.txt
- ¹⁰⁶ **Y. C. Cheng, C. Q. Jin, F. Gao, X. L. Wu, W. Zhong, S. H. Li, and Paul K. Chu.** *Raman scattering study of zinc blende and wurtzite ZnS*. *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS* 106, 123505 (2009). doi: 10.1063/1.3270401
- ¹⁰⁷ **Andrew Fairbrother, Victor Izquierdo-Roca, Xavier Fontané, María Ibáñez, Andreu Cabof, Edgardo Saucedo, Alejandro Pérez-Rodríguez.** *ZnS grain size effects on near-resonant Raman scattering: optical non-destructive grain size estimation*. *Cite this: CrystEngComm*, 2014, 16, 4120-4125. DOI: 10.1039/c3ce42578a.
- ¹⁰⁸ **O. Brafman and S. S. Mitra.** *Raman Effect in Wurtzite- and Zinc-Blende-Type ZnS Single Crystals*. *Physical Review* 171 (3) 931-933 (1968).
- ¹⁰⁹⁻¹¹⁰ **H. Terraschke, M. Suta, M. Adlung, S. Mammadova, N. Musayeva, R. Jabbarov, M. Nazarov, and Cl. Wickleder.** *SrAl2O4:Eu2+(Dy3+) Nanosized Particles: Synthesis and Interpretation of Temperature-Dependent Optical Properties*. *Journal of Spectroscopy*, Vol 2015, Article ID 541958, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/541958>
- ¹¹¹ **M. Ayvacikli, A.Ege, S.Yerci, N.Can.** *Synthesis and optical properties of Er3+ and Eu3+ doped SrAl2O4 phosphor ceramic*. *Journal of Luminescence* 131 (2011): 2432-2439. doi:10.1016/j.jlumin.2011.05.051
- ¹¹² **K. A. Rodgers.** *Routine identification of aluminium Hydroxide polymorphs with the laser Raman microprobe*. *Clay Minerals* (1993) 28, 85-99.
- ¹¹³ **H. D. Ruan, R. L. Frost, J. T. Klopprogge.** *Comparison of Raman spectra in characterizing gibbsite, bayerite, diaspor and boehmite*. *J. Raman Spectrosc.* 2001; 32: 745-750. DOI: 10.1002/jrs.736.
- ¹¹⁴ **Keil, F.** *Cemento: fabricación-propiedades-aplicaciones*, Editores Técnicos Asociados, S.A.; Barcelona, España, 1973, pp: 14-15, 76-78, 100, 131, 156
- ¹¹⁵ **Sidebottom, D. L.,** *Fundamentals of Condensed Matter and Crystalline Physics*, Cambridge University Press, New York, USA, 2012, pp: 3-6, 10-12, 16-17
- ¹¹⁶ **Douglas, B. E.; Ho, S. M.,** *Structure and Chemistry of Crystalline Solids*, Springer, Pittsburg, USA, 2006, pp: 6-7
- ¹¹⁷ **Katime Amashla, I., Katime Trabanca, O., Katime Trabanca, D.,** *Introducción a la Ciencia de los Materiales Polímeros: Síntesis y Caracterización*, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Lejona, Vizcaya, 2010, pp: 480
- ¹¹⁸ **Arquitectura & Energía.** 23/03/2015. *El valor U. La transmitancia térmica en edificación*. <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/> (27/10/2017).
- ¹¹⁹ **Real Academia Española.** (2001) *Diccionario de la lengua española* (22ª ed.). <http://dle.rae.es/> (26/10/2017)

5. Listado de imágenes

Ilustración 1 Extraída con fines didácticos: Reforma 222–2007 - Arquitecto: Teodoro González de León- Ciudad de México, México- Google Maps, 26/08/2017- https://www.google.com.mx/maps/@19.4284836,-99.1607398,3a,75y,267.81h120.111/data=!3m1!1e1!3m4!1sW0uFTC9_7BQid	19
Ilustración 2 - Imagen Fachadas Pétreas: El patio del Museo del Louvre por la noche. (París, Francia), Museo de Louvre, París, Francia. Extraída con fines didácticos de https://datainfox.com/2016/02/el-louvre-es-el-museo-mas-seguido-en-facebook/ 09/08/2018.....	21
Ilustración 3 - Imagen Fachadas de Madera: Museo de la Cultura, Hyogo, Japón, Arq. Tadao Ando, 1994. Extraída con fines didácticos de http://arquitecturaespectacular.blogspot.com/2010/03/museo-de-la-madera-japon.html , 09/08/2018.....	22
Ilustración 4 - Imagen Fachadas de Vidrio: Museo de los Derechos Humanos, 23	
Ilustración 5 - Imagen Fachadas Metálicas: Museo Guggenheim, Bilbao, España. Frank O. Gehry, 1997. Extraída con fines didácticos de.....	24
Ilustración 6 Centro Acuático Nacional, Pekín, China. PTW Architects australiana, 2008. Extraída con fines didácticos de: http://newstecl.blogspot.com/2012/01/el-cubo-olimpico-de-pekín-ha-sido.html 09/08/2018.....	25
Ilustración 7 Museo Guggenheim, Nueva York, EUA. Extraída con fines didácticos de: http://www.fanpop.com/clubs/love_me%2560s-world/images/23103458/title/guggenheim-new-york-museum-photo 10/08/2018.....	26
Ilustración 8 Etileno-Tetrafluoroetileno. Extraída con fines didácticos de: EFTE: http://publitedec.com/blog/efte-un-material-para-la-envolvente-arquitectonica/ 10/08/2018.....	26
Ilustración 9 Swisspearl (paneles). Extraída con fines didácticos de: Swisspearl (paneles). https://www.swisspearl.com/ 10/08/2018.....	27
Ilustración 10 Kapilux. Extraída con fines didácticos de: Kapilux. https://www.okalux.de/products/product-finder/kapilux/detail/kapilux-t-1/ 10/08/2018.....	27
Ilustración 11 Litracon. Extraída con fines didácticos de: Litracon. https://www.pinterest.es/pin/392235448783988832/?autologin=true 10/08/2018.....	27
Ilustración 12 Ladrillo a base de plástico. Extraída con fines didácticos de: http://wp.cienciaycemento.com/ladrillos-pei-a-base-de-residuos-plasticos/ 10/08/2018.....	27
Ilustración 13 Unidad de Posgrados UNAM, 2013, Ciudad de México, México, Dirección General de Obras y Conservación (DGO). Extraída con fines didácticos de: Fotografía: @terejaromo https://www.instagram.com/p/BQyRC53FN5N/?taken-by=terejaromo	29
Ilustración 14 - Extraída con fines didácticos: Prototipo de Litracon, de Áron Losonczi en la exposición "Liquid Stone: New Architecture in Concrete" https://www.interiorsandresources.com/article-details/articleid/2374/title/concrete-the-once-future-liquid-stone	30
Ilustración 15 Extraída con fines didácticos: Parque Toreo 2014, Ciudad de México, México, Sordo Madaleno Arquitectos. Render por 3Difica http://www.archdaily.mx/mx/622173/sordo-madaleno-arquitectos-presenta-proyecto-de-transformacion-urbana-parque-toreo/5504c62fe58ece2038000085	31
Ilustración 16 Aduques de concreto Nightec®.....	32
Ilustración 17 Extraída con fines didácticos: Concreto Luminiscente; José Carlos Rubio, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. http://www.periodicoelnuevomundo.com/2016/04/inventan-cemento-fluorescente-en-mexico.html	32
Ilustración 18 concreto GRC reforzado con fibra de vidrio. Extraída con fines didácticos: Fotografía: Mundoarquitectura. http://www.mundoarquitectura.org/fibra-sintetica-estructural-para-la-construccion/	33
Ilustración 19 Extraída con fines didácticos: Concreto biológico. Fotografía: Revistacyt, http://www.revistacyt.com.mx/index.php/contenido/posibilidades-del-concreto/110-concreto-biologico-par-te-fachadas-vivas	34
Ilustración 20 Coliseo, Roma, Italia. 80 d C. Extraída con fines didácticos de: https://www.arquitecturapura.com/coliseo-romano/ 18/08/2017.....	37
Ilustración 21 Extraída con fines didácticos; Ilustración esquemática del mecanismo para la luminiscencia. (Shackelford J. , 2005) James F. Shackelford, introducción a la ciencia de los materiales, 2005, Madrid, España, Pearson educación, S.A, pp 575.....	44
Ilustración 22 imagen obtenida con fines didácticos. Fluorita mostrando su fenómeno de fluorescencia, 2009. https://es.wikipedia.org/wiki/Fluorita#/media/File:FluoriteUV.jpg	45
Ilustración 23 Imagen capturada con fines didácticos. Difractómetro D8 ADVANCE, (BRUKER-AXS). (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	50
Ilustración 24 Imagen capturada con fines didácticos; 1 g de pigmento fotoluminiscente para DRX.....	51
Ilustración 25 - Imagen capturada con fines didácticos; Espectrómetro ATI MATTSON GENESIS, Prensa de 10 toneladas y pastilla obtenida mediante Cem BL I 52.5 R y bromuro de potasio (KBr) para análisis por FTIR. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	52
Ilustración 26 - Imágenes capturadas con fines didácticos; Equipo utilizado para el Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Termogravimétrico (TG) TA SDT Q 600. 30 mg de pigmento fotoluminiscente utilizados para el Análisis, se utilizó un contenedor de platino. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	53
Ilustración 27 Imagen capturada con fines didácticos. Calorímetro y 5 g de muestra para prueba de calorimetría, Marca Thermometric; Mod. TAM AIR. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	53
Ilustración 28 Imagen capturada con fines didácticos. Microscopio JEOL 5400, acoplado a un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X de la marca OXFORD LINK-ISIS-EDX, Evaporador de carbono a alto vacío Cressington 208 CarbonTurbo, Las muestras secadas al vacío y metalizadas con carbón. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	54
Ilustración 29 - imagen extraída con fines didácticos. Espectrómetro FT-Raman (Bruker RFS/100) con microscopio acoplado que permite trabajar en bancada (geometrías de 90 y 180°) o en el microscopio (180°). Y 50 mg de pig YG-1300 para Espectroscopia Raman.....	55
Ilustración 30 imagen obtenida con fines didácticos; dosificación de las materias primas. Se utilizó una báscula digital para mayor exactitud de las mezclas. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	57
Ilustración 31 Imagen obtenida con fines didácticos; turbula utilizada para homogenizar las mezclas anhidra, y Mezcladora utilizada para las pastas hidratadas, todas las proporciones estuvieron por 3:00 minutos para garantizar una mezcla hidratada homogénea. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	57
Ilustración 32 Imagen obtenida con fines didácticos; mecanismo utilizada para la prueba de consistencia en las pastas, se puede observar el proceso de expansión de la pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	58
Ilustración 33 imagen obtenida con fines didácticos; moldes para la elaboración de probetas de pastas para pruebas mecánicas y de luminiscencia, a dichos moldes se les aplica una capa de desmoldante, para pruebas de flexión y compresión 6.0 x 1.0 x 1.0 cm. Y para pruebas de luminiscencia 6.0 x 7.0 x 1.0 cm.	59
Ilustración 34 imagen obtenida con fines didácticos; muestras de pastas en proceso de curado a una humedad relativa ≥ 95 % y una temperatura de 21 ° C, con un rango de ± 2 ° C. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	59
Ilustración 35 imagen obtenida con fines didácticos; muestras de pastas sometidas en ensayo destructivo a flexotracción y compresión. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	60
Ilustración 36 imagen obtenida con fines didácticos; Probetas activadas con lámpara de luz Ultravioleta en un rango de 360 – 450 nm.....	61
Ilustración 37 imagen obtenida con fines didácticos; Espectrómetro, para obtener la absorción espectroscópica de las probetas de pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	62
Ilustración 38 imagen obtenida con fines didácticos; Fluorímetro para obtener la emisión espectroscópica de las probetas de pasta. (Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC).....	62
Ilustración 39 - DRX de Cem BL I 52.5 R; C1=Calcium Silicate (Ca ₃ SiO ₅), C2=Calcium Silicate (Ca ₂ SiO ₄), C3= Calcium Silicate Oxide (Ca ₃ SiO ₄ O), A=Anhydrite, syn (CaSO ₄) P= Portlandite, syn (Ca(OH) ₂) y G= Gypsum, syn (CaSO ₄ ·2H ₂ O).....	65
Ilustración 40 - DRX de Cem BL II 42.5 R; C1=Calcium Silicate (Ca ₃ SiO ₅), C2=Calcium Silicate (Ca ₂ SiO ₄), C3= Calcium Aluminum Oxide (Ca ₃ Al ₂ O ₆) G= Gypsum, syn (CaSO ₄ ·2H ₂ O).....	65
Ilustración 41 FTIR de BL I 52.5 R.....	66
Ilustración 42 FTIR de BL II 42.5 R.....	66
Ilustración 43 - Análisis Térmico Diferencial de BL I 52.5 R, se observan las 3 señales endotérmicas, lo que significa pérdida de masa.....	67
Ilustración 44 - Análisis Térmico Diferencial de BL II 42.5 R.....	67
Ilustración 45 - Calorimetría: Velocidad y Evolución del calor (i/g.h).....	68
Ilustración 46 - Calorimetría: calor de reacción (i/g).....	68
Ilustración 47 difracción de rayos X realizada al pigmento basado en ZnS puede observarse que existe la presencia de los picos característicos del sulfuro de zinc. ; donde WS= Wurtzite-2H, syn (ZnS).....	69
Ilustración 48 SEM del pigmento ZnS 1, Fecha:04/10/2017 12:45:18, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:3000x, HV:20.0kV, en la tabla se puede observar el porcentaje atómico presente de cada elemento en la muestra.....	70
Ilustración 49 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan del punto 1 y 2 del pigmento fotoluminiscente ZnS.....	70
Ilustración 50 espectro Raman de la muestra ZnS en varios puntos, observándose la homogeneidad de la misma, al ser todos los espectros iguales.....	71
Ilustración 51 en la imagen izquierda se puede apreciar las probetas en estado de absorción, y en la imagen derecha se puede observar las probetas activadas por una fuente de luz ultravioleta, emisión.....	71
Ilustración 52 DRX, realizada a YG 1012, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl ₂ O ₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr ₃ Al ₂ (OH) 12), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl ₄ O ₇) G= Gibbsite (Al (OH) 3).....	72
Ilustración 53 DRX, realizada a YG 1018, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl ₂ O ₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr ₃ Al ₂ (OH) 12), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl ₄ O ₇) G= Gibbsite (Al (OH) 3).....	72
Ilustración 54 DRX, realizada a YG 1012, donde: S= Strontium aluminum oxide (SrAl ₂ O ₄), SH= Strontium aluminum Hydroxide (Sr ₃ Al ₂ (OH) 12), S2= Strontium aluminum oxide (SrAl ₄ O ₇) G= Gibbsite (Al (OH) 3).....	73
Ilustración 55 Análisis Térmico Diferencial de pigmento fotoluminiscente YG 1012.....	73
Ilustración 56 Análisis Térmico Diferencial de pigmento fotoluminiscente YG 1018.....	74
Ilustración 57 Micro-Raman espectro de YG 1012; YG 1018 y YG 1300 en el intervalo 1200-100 cm ⁻¹ (laser λ = 532 nm). A = SrAl ₂ O ₄ ; B = SrAl ₂ O ₄ ;Eu ²⁺ Dy ³⁺ ; G = Gibbsite (Al(OH) ₃).....	75
Ilustración 58 Espectro Raman de las muestras YG 1012, en un intervalo 4000-3000 cm ⁻¹ . (láser λ=532 nm). Ilustración 59 Espectro Raman de las muestras YG	

1018, en un intervalo 4000-3000 cm^{-1} . (láser $\lambda=532 \text{ nm}$). Ilustración 60 Espectro Raman de las muestras YG 1300, en un intervalo 4000-3000 cm^{-1} . (láser $\lambda=532 \text{ nm}$).....	75
Ilustración 61 Pigmento YG-1018, Fecha:04/10/2017 14:03:43, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:20,0kV.....	76
Ilustración 62 YG-1012 1, Fecha:04/10/2017 13:08:20, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:4000x, HV:20,0kV.....	77
Ilustración 63 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1012.....	77
Ilustración 64 YG-1018, Fecha:04/10/2017 14:03:43, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:20,0kV.....	78
Ilustración 65 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3 y 4 del pigmento fotoluminiscente YG-1018.....	78
Ilustración 66 YG-1300, Fecha:09/10/2017 12:46:53, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1800x, HV:20,0kV.....	79
Ilustración 67 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1300, Muestra 1.....	79
Ilustración 68 YG-1300 2, Fecha:09/10/2017 13:16:47, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:1500x, HV:30,0kV.....	80
Ilustración 69 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en el pigmento fotoluminiscente, así como la proporción atómica que representan de los puntos 11, 12, 13, 14 y 15 del pigmento fotoluminiscente YG-1300, Muestra 2.....	80
Ilustración 70 Se presenta la reacción exotérmica del Pigmento YG-1300, mostrando un endurecimiento y separación en dos compuestos, Uno blanco y otro amarillo.....	81
Ilustración 71 Capturada con fines didácticos, la muestra expuesta en esta prueba de calorimetría presenta segregación, la parte inferior es de color amarillo y muestra fotoluminiscencia, la parte superior de color blanco carece de dicha propiedad.....	81
Ilustración 72 DRX, de residuo Amarillo y Blanco, se comprobó que el residuo amarillo produce $\text{Sr}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ y el residuo blanco produce 4Al (OH) la cual pierde sus propiedades luminiscentes.....	82
Ilustración 73 FTIR, de residuo Amarillo y Blanco, se comprobó que el residuo amarillo produce $\text{Sr}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ y el residuo blanco produce 4Al (OH) la cual pierde sus propiedades luminiscentes.....	82
Ilustración 74 ATD, residuo Blanco, derivado de la Calorimetría del Pigmento SrAl_2O_4	83
Ilustración 75 ATD, residuo Amarillo, derivado de la Calorimetría del Pigmento SrAl_2O_4	83
Ilustración 76 Reflectancia y absorción de los pigmentos YG-1012, 1018 Y 1300.....	84
Ilustración 77 FTIR de la pasta de Cemento MLI-52.5 R + ZnS, se observa que no existe reacción del Pigmento ZnS.....	84
Ilustración 78 Imagen Pasta-ZnS1: puntos de análisis de composición.....	85
Ilustración 79 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 1, 2, 3 y 4 y 5 de la pasta ZnS. Muestra 1.....	85
Ilustración 80 PASTA ZnS 2, Fecha:21/09/2017 10:07:09, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:3500x, HV:20,0kV.....	86
Ilustración 81 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 5, 6, 7 8 y 10 de la pasta ZnS. Muestra 1.....	86
Ilustración 82 PASTA ZnS 4, Fecha:21/09/2017 10:32:37, Tamaño de imagen:1300 x 975, Aum:4000x, HV:20,0kV.....	87
Ilustración 83 EDX, a través de esta técnica se pudo identificar elementos presentes en la pasta, así como la proporción atómica que representan de los puntos 11, 12 y 13 de la pasta ZnS. Muestra 1.....	87
Ilustración 84 Pasta-ZnS2: 19.4 μm , Imagen Pasta-ZnS3: 23.9 μm , Imagen Pasta-ZnS4: 15.8 μm	88
Ilustración 85 Absorción de las pastas anhidras e hidratadas de Cem – BL I 52.5 R + ZnS en proporciones de 5, 10 y 15% donde Absorbance (a.u.= absorbance units), Wavelength= longitud de onda. (nm= nanómetro).....	89
Ilustración 86 Fosforescencia de las pastas anhidras e hidratadas de cemento BL I 52.5 R con adiciones de pigmentos ZnS en proporciones del 5, 10 y 15%. ..	90
Ilustración 87 Las pruebas de Mini Slump de pastas de Cemento BL I 52.5 R y ZnS en diferentes proporciones y pastas de Cemento BLI-52.5 R y SrAl_2O_4	91
Ilustración 88 Pruebas de compresión a 5 pastas diferentes, dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 % de SrAl_2O_4 , dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 de ZnS y finalmente una con el 100% de BLI-52.5 R como principal punto de referencia.....	92
Ilustración 89 Prueba de Flexotracción a 5 pastas diferentes, dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 % de SrAl_2O_4 , dos con BLI-52.5 R + 10 y 15 de ZnS y finalmente una con el 100% de BLI-52.5 R como principal punto de referencia.....	93

6. Listado de tablas

Tabla 1- Piedras naturales más utilizadas en la construcción.....	21
Tabla 2 - Sistema de Acristalamiento.....	23
Tabla 3 - Vidrios utilizados en las fachadas.....	23
Tabla 4 Componentes de las pastas y morteros. Realizada con fines didácticos. 18/08/2017.....	36

Tabla 5 porcentaje atómico del punto 1 y 2 del pigmento fotoluminiscente ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.).....	70
Tabla 6 Porcentaje atómico del punto 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1012. Método Automatic PB-ZAF (Mod.).....	77
Tabla 7 Porcentaje atómico de el punto 1, 2, 3 y 4 del pigmento fotoluminiscente YG-1018. Método Automatic PB-ZAF (Mod.).....	78
Tabla 8 Porcentaje atómico del punto 1, 2, 3, 4 y 5 del pigmento fotoluminiscente YG-1300. Muestra 1. Método Automatic PB-ZAF (Mod.).....	79
Tabla 9 Porcentaje atómico de el punto 11, 12, 13, 14 Y 15 del pigmento fotoluminiscente YG-1300. Muestra 2. Método Automatic PB-ZAF (Mod.).....	80
Tabla 10 Porcentaje atómico de el punto 1, 2, 3 y 4 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.)Muestra 1.....	85
Tabla 11 Porcentaje atómico de el punto 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.) Muestra 1.....	86
Tabla 12 Porcentaje atómico de el punto 11, 12 y 13 de la pasta ZnS. Método Automatic PB-ZAF (Mod.) Muestra 1.....	87
Tabla 13 Resumen, resultado de las técnicas de caracterización realizadas. 97	

7. Listado de Diagramas

Diagrama 1- Realizado con fines didácticos: Tipos de fachadas arquitectónicas, Imagen Fachadas Pétreas: El patio del Museo del Louvre por la noche. (París, Francia), Museo de Louvre, Paris, Francia. Extraída con fines didácticos de https://datainfox.com/2016/02/02/el-louvre-es-el-museo-mas-seguido-en-facebook/ 09/08/2018. Imagen Fachadas de Madera: Museo de la Cultura, Hyogo, Japón, Ara. Tadao Ando, 1994. Extraída con fines didácticos de http://arquitecturaespectacular.blogspot.com/2010/03/museo-de-la-madera-japon.html , 09/08/2018 Imagen Fachadas de Concreto: Museo Guggenheim, Nueva York, EUA. Frank Lloyd Wright, 1959. Extraída con fines didácticos de http://www.peruarki.com/arquitectura-para-vivir-el-guggenheim-muestra-la-humanidad-de-frank-lloyd-wright/ 09/08/2018 Imagen Fachadas de Vidrio: Museo de los Derechos Humanos, Winnipeg, Canadá. Antoine Predock 2014. Extraída con fines didácticos de http://noticias.arq.com.mx/Details/14975.html#.XBfusFxiKkUk 09/08/2018, Imagen Fachadas Metálicas: Museo Guggenheim, Bilbao, España. Frank O. Gehry, 1997. Extraída con fines didácticos de https://www.posta.com.mx/museos/el-guggenheim-bilbao-de-los-mejores-museos-del-mundo 09/08/2018 Imagen Fachadas Poliméricas: Centro Acuático Nacional, Pekín, China. PTW Architects australiana, 2008. Extraída con fines didácticos de http://newsteccl.blogspot.com/2012/01/el-cubo-olimpico-de-pekín-ha-sido.html 09/08/2018.....	20
Diagrama 2 Concretos Arquitectónicos: 1.- Concreto Tradicional, Fotografía: Obrasweb: Cortesía Cemex. 2.- Concreto Translucido, Fotografía: arqhs.com 3.- Concreto Bilógico, Fotografía: Revistacyt. 4.- Concreto Polimérico, Fotografía: Mx.all.biz. 5.- Concreto Reforzado con Fibra de Vidrio, GRC o GFRC, Fotografía: Mundoarquitectura. 6.- Concreto Luminiscente, Fotografía: Mxcity.mx.....	28
Diagrama 3 Recubrimientos Arquitectónicos. Imagen Rec. Naturales: © Getty Images PHOTO: Taj Mahal, (1654). Sha Jahan, Agra, India. (photo via somchaiom/iStock/Getty Images Plus) Source: https://pressfrom.info/ca/lifestyle/travel/-108356-taj-mahal-increases-ticket-prices.html 11/08/2018. Imagen Rec. Artificiales: Cúpula de la Roca o el Domo de la Roca. (691 d.C.) Raja ibn Haywah, Yazid Ibn Salam. Jerusalén. Israel. http://www.nmidigital.com/wp-content/uploads/2017/12/C%3C%3BAPula-de-la-Roca.jpg Imagen Aplanados: Casa Gilardi (1976) Luis Barragán. Ciudad de México. México. https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/casa-gilardi-1976-ultima-obra-arquitectonica-de-luis-barragan	35
Diagrama 4 Tipos de aditivos y efectos en el concreto. Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. En A. M. Neville, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.....	42
Diagrama 5 Luminiscencia y clasificación de acuerdo con su obtención. Imágenes obtenidas con fines didácticos. Imagen 1.- https://www.ecured.cu/Luminiscencia imagen 2 http://www.mineraltown.com/reports/3/3.php?idioma=1 imagen 3 https://ia.wikipedia.org/wiki/Aurora_boreal imagen 4 https://luciernagaalatardecer.blogspot.com imagen 5 https://isqch.files.wordpress.com	43
Diagrama 6 Pigmentos fotoluminiscentes: Aluminato de Estroncio (SrAl_2O_4), Sulfuro de Calcio (CaS), Aluminosilicato de Calcio ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) Y Sulfuro de Zinc (ZnS) Realizado con fines didácticos, Imágenes Extraídas de: https://es.wikipedia.org/wiki/Fosforescencia#/media/File:Phosphorescent_pigments_1_min.jpg . 11/10/2017.....	46
Diagrama 7 Materias primas para las pastas arquitectónicas a caracterizar. Realizado con fines didácticos.....	49
Diagrama 8 - Técnicas de caracterización de materias primas a emplearse en la caracterización de los cementos y los pigmentos fotoluminiscentes.....	49
Diagrama 9 Dosificación en diferentes proporciones, la mezcla incluye: Cemento BL I 52.5 R, Pig. Fotoluminiscente ZnS y del YG-1018 derivado del SrAl_2O_4 , y agua.....	56
Diagrama 10 Técnicas de caracterización utilizadas en los cementos BL I 52.5 R y BL 2 42.5 R.....	65
Diagrama 11 Caracterización de los 4 Pigmentos: ZnS, YG 1012, YG 1018 Y YG 1300. En este esquema se muestran las pruebas a las cuales serán sometidos los pigmentos fotoluminiscentes.....	68