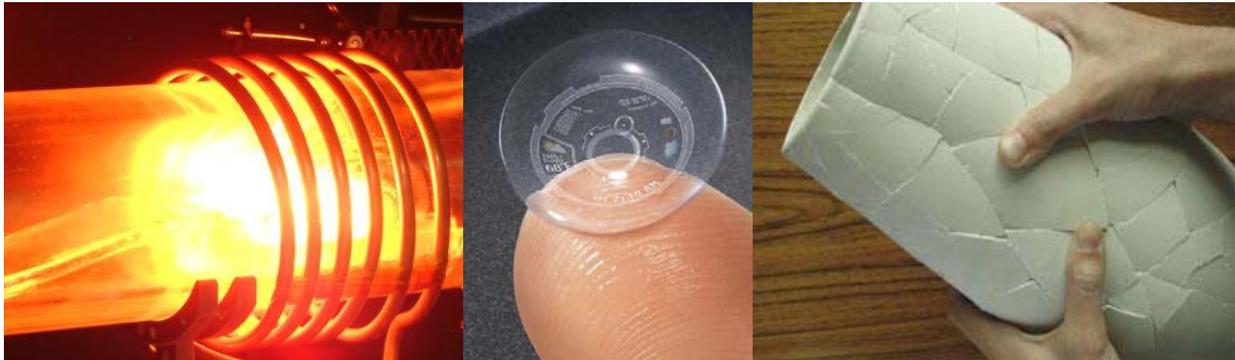




TECNOLOGÍAS MODERNAS Y DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES CERÁMICOS -En la aplicación de recubrimientos cerámicos-



Tesis que para obtener el grado de Maestra en Diseño Industrial presenta:

Lorena Alejandra Guerrero Morán

PROGRAMA DE POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
México, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**TECNOLOGÍAS MODERNAS Y DESARROLLO DE NUEVOS
MATERIALES CERÁMICOS**
-En la aplicación de recubrimientos cerámicos-

Tesis que para obtener el grado de Maestra en Diseño Industrial
presenta:

Lorena Alejandra Guerrero Morán

**PROGRAMA DE POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
MAestrÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
México, 2007**

Comité Tutorial

Tutor Principal:

MDI. ANGEL GROSO SANDOVAL

Sinodales:

PROF. ALBERTO DÍAZ DE COSSÍO
PROF. HORACIO DURÁN NAVARRO
MDI. GUILLERMO GAZANO IZQUIERDO
MDI. ALEJANDRO RODEA CHAVÉZ

A mis padres y hermanos por el amor, la confianza, la fortaleza y el apoyo incondicional que me han brindado durante este proceso de crecimiento y formación.

A la familia Morán, en especial a mi tío Segundo, por ser mi guía en esta etapa de mi vida. Sus consejos durante la investigación y recolección de información, así como las largas sesiones de lectura y reflexión sobre la misma, han ayudado a que este trabajo sea una realidad.

A mi tutor Ángel Groso y mi Comité Tutorial, por su contribución y asesoría en la lectura y revisión de este trabajo; sus sugerencias y comentarios han ayudado a nutrir y afianzarlo de la mejor manera posible, sin descuidar el más mínimo detalle para acercarse a cumplir los objetivos propuestos.

Al Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM y el Laboratorio de Física del Plasma en Colombia, por todos los conocimientos que han compartido conmigo y que han servido para fortalecer este trabajo; pues mucha de la información aquí recabada, por sus investigadores y colaboradores, hizo posible que esta investigación sobre los recubrimientos cerámicos, se realizara con satisfacción y se lograra llevar a buen término.

Al Posgrado en Diseño Industrial de la UNAM, por permitirme estudiar y formarme como profesional con calidad y excelencia académica.

A mis amigos y todas las personas que de alguna u otra manera se involucraron e interesaron en este tema extraordinario e innovador que busca contribuir a una disciplina maravillosa y fascinante como lo es el Diseño.

Tabla de Contenido

	Página
INTRODUCCIÓN	8
1. TENDENCIAS DE DISEÑO, PRODUCCIÓN Y MATERIALES	11
1.1 Tendencias de Diseño	13
1.1.1 La NeoArtesanía o Nuevo Diseño Artesanal	14
1.1.2 Nuevo Diseño o Diseño de la Interacción	27
1.2 Tendencias de Producción	30
1.3 Tendencias de Materiales	34
2. HISTORÍA DE LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS	41
2.1 Los recubrimientos cerámicos en la historia de la tecnología cerámica	43
2.1.1 Los orígenes	43
2.1.2 Desarrollo	44
3. CERÁMICA, MATERIALES CERÁMICOS Y CERÁMICOS AVANZADOS	49
3.1 Evolución de los conceptos de cerámica, materiales cerámicos y cerámicos avanzados	50
3.2 Características generales de los materiales cerámicos	54
4. LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS	56
4.1 Los recubrimientos cerámicos	58
4.1.1 Qué es y para qué sirve un recubrimiento	58
4.1.2 Por qué se aplica un recubrimiento	58
4.1.3 Propiedades de los recubrimientos por el tipo de enlace atómico	58
4.1.4 Evolución de los recubrimientos cerámicos	59
4.2 Clasificación de los recubrimientos cerámicos	61
4.2.1 Recubrimientos cerámicos según espesor: Las capas	61

4.2.1.1 Capas Gruesas	62
4.2.1.2 Capas Delgadas	62
4.2.2 Recubrimientos cerámicos por estructura y composición	66
4.2.2.1 Recubrimientos en monocapas	66
4.2.2.2 Recubrimientos en multicapas	66
4.2.2.3 Recubrimientos graduales	68
4.2.2.4 Recubrimientos reformadores	69
4.3 La superficie	70
4.3.1 Principales problemas en las superficies	71
4.3.2 Características y requisitos de la superficie a recubrir	72
5. TÉCNICAS DE DEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS	73
Técnicas Químicas:	
5.1 Técnica de Sol-gel	77
5.1.1 Definición	77
5.1.2 Proceso general de la técnica de sol-gel	78
5.1.3 Los productos y usos de sol-gel	79
5.1.4 Formación de capas cerámicas por la vía sol-gel	79
5.1.5 Ventajas y aplicaciones	82
5.2 Técnicas CVD	88
5.2.1 Definición de las técnicas CVD	88
5.2.2 Clasificación de las técnicas CVD	89
5.2.3 CVD activado térmicamente	90
5.2.4 CVD activado por plasma	92
5.2.5 Láser CVD	93
5.2.6 Ventajas y Desventajas de los procesos CVD	95
5.2.7 Aplicaciones	95
Técnicas Físicas:	99
5.3 Técnicas PVD	99

5.3.1	Definición de las técnicas PVD	99
5.3.2	Tipos de PVD	99
5.3.2.1	PVD por evaporación térmica	100
5.3.2.2	PVD por bombardeo catódico o Sputtering	102
5.3.2.3	PVD por arco	104
5.3.2.4	PVD por ablación láser	106
5.4	Las Nuevas Técnicas en la Industria	108
5.4.1	Recubrimientos Técnicos	110
5.4.2	Recubrimientos Decorativos	112
5.5	En qué va la investigación	117
5.5.1	Desarrollo e investigación sobre recubrimientos cerámicos en México y Colombia	117
5.5.1.1	Qué se ha hecho en México	117
5.5.1.2	Qué se ha hecho en Colombia	121
6.	EL ROL DEL DISEÑADOR INDUSTRIAL FRENTE A LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE RECUBRIMIENTO CERÁMICO	124
7.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	137
8.	FUENTES CONSULTADAS	143
9.	GLOSARIO	146

Introducción

El diseñador tiene una participación activa en la configuración del entorno artificial, a través de las diferentes proyecciones que realiza con los materiales. Sin embargo, a menudo se avoca a las prestaciones que ofrecen – las cuales emergen cada vez con mayor rapidez- desconociendo las tecnologías que las hacen posibles. Este hecho ocasiona que la toma de conciencia sobre sus implicaciones se de cuando estas constituyen una realidad que es imposible desconocer.

Este documento a través de los recubrimientos cerámicos trata de explicar cómo converge el avance del conocimiento científico y el desarrollo tecnológico dentro de un proceso progresivo que se concreta en las prestaciones de la materia, esto con la intención de facilitar al diseñador la información necesaria que le permita entender por qué se da el surgimiento de las nuevas técnicas de deposición de recubrimientos, en qué consisten, cuáles son sus aplicaciones hasta la fecha y vislumbrar posibles panoramas de acción en este campo.

Para tal efecto, en el primer capítulo se esboza un panorama general de lo que sucede con los distintos gestores del entorno artificial, donde se exponen las diferentes tendencias en los sectores de producción, materiales y diseño, haciendo énfasis en la postura que asumen frente a los materiales y la tecnología. Asimismo, en los planteamientos que hacen sobre los escenarios futuros, teniendo en cuenta fenómenos actuales -como la obsolescencia programada de los productos y el consumismo dictado por modas- que se han derivado de la inercia que ha regido la producción desmedida de objetos, y requieren un redireccionamiento para volver sustentable el proceso de configuración del entorno artificial.

Posteriormente, -para comprender el proceso que ha dado lugar a las actuales tendencias en los sectores mencionados y que los procesos de modificación de la superficie se cuenten entre las tecnologías clave dentro de los escenarios futuros-, se aborda la evolución de los recubrimientos cerámicos, destacando que su aplicación surge casi a la par de las piezas cerámicas con fines de protección de la superficie, extendiéndose a la postre sobre el metal, igualmente cómo a partir de la revolución industrial la investigación en este campo se enfoca principalmente hacia el desarrollo de recubrimientos sobre cierto grupo de superficies metálicas –aceros y aleaciones metálicas- y cómo esta tendencia se acentúa durante el siglo veinte, avocándose al desarrollo de capas delgadas

sobre metales, nuevos cerámicos y compuestos metal-cerámicos empleados en áreas industriales especializadas, como respuesta a la miniaturización de los objetos y a los requerimientos cada vez más acotados que hacen estas áreas para los recubrimientos cerámicos.

Esta propensión en la ciencia de los materiales hacia la especialización, a la par de representar un avance extraordinario del conocimiento en campos determinados, constituye un reto teórico importante.

El hecho que gran parte de la investigación se haya concentrado en el estudio y desarrollo de los materiales cerámicos ha generado que surjan nuevos materiales que contravienen las propiedades y comportamiento asignados a los grupos bajo la óptica tradicional, lo cual ha derivado en una discusión teórica para redefinir el concepto y poder clasificarlos. Es por ello que, en el tercer capítulo se presenta la discusión existente en torno al concepto de materiales cerámicos, mostrando cuál es su definición actual y la clasificación que se ha realizado, dividiéndolos en dos grandes grupos: los materiales cerámicos tradicionales y los materiales cerámicos avanzados.

Es de fundamental importancia este capítulo pues, con el ánimo de favorecer la comprensión del diseñador de por qué en áreas especializadas que trabajan estos materiales como son la ingeniería de materiales y la ingeniería de superficies, se especifica que al hablar de materiales cerámicos realmente se está haciendo referencia a compuestos cerámicos o cerámicos avanzados; y a su vez, como preámbulo de los temas que se tocarán en los capítulos siguientes: los grupos y tecnologías de recubrimiento de reciente desarrollo que los emplean.

En el cuarto capítulo, se define qué son los recubrimientos cerámicos, para qué se utilizan y cuáles son las propiedades que concentran la mayor parte de la investigación. De igual manera, se habla de cómo la tendencia hacia la formación de compuestos se materializa también en la emergencia de nuevos grupos de recubrimientos cerámicos, mencionando sus ventajas respecto a los recubrimientos tradicionales en monocapas y algunas de sus aplicaciones. Luego, se habla de la superficie, cuáles son los problemas a subsanar mediante la aplicación de estos nuevos recubrimientos y las características que debe tener para poder realizar su aplicación.

Una vez expuesto cómo ha sido el desarrollo en el campo de los recubrimientos cerámicos y las implicaciones que ha tenido en el ámbito conceptual y de aplicación práctica, se aborda -en el

quinto capítulo- la tecnología que hace posible esta configuración compuesta de las capas cerámicas y la aplicación de materiales cerámicos avanzados como recubrimientos en capas delgadas. Mediante la explicación de los principios y procesos que rigen las actuales técnicas de deposición químicas y físicas en fase vapor, y de la técnica vía humedad de Solgel. Asimismo se señalan las aplicaciones industriales de los recubrimientos obtenidos por estas técnicas, empleados con fines técnicos y decorativos; cuáles son los sectores que concentran la inserción de estos desarrollos y los recubrimientos cerámicos más utilizados en la industria.

Posteriormente, se da paso al panorama de investigación en México y Colombia respecto al campo de los recubrimientos cerámicos con espesores micro y nanométricos depositados por las técnicas expuestas; así como también, a la referencia de algunos casos en que estos desarrollos se han llevado a aplicaciones industriales en estos países.

Finalmente y para mostrar cómo se articula el trinomio de ciencia, tecnología y diseño en el campo particular de los recubrimientos cerámicos se hace una reflexión entorno tanto a la incidencia que tiene cada uno de estos elementos en los otros, como a la importancia que tiene para el diseñador asumir una visión de conjunto sobre el sistema, que le permita comprender a qué obedecen y qué implicaciones traen consigo los cambios que actualmente vemos en las prestaciones de la materia con la cual construimos el entorno artificial. En el cierre del capítulo, se expresan las inquietudes que surgen de la investigación, frente a la situación actual de las emergentes tecnologías de deposición de recubrimientos cerámicos, dado que por su estado de desarrollo aún no es posible evaluar el impacto que pueden tener si logran el nivel de introducción al aparato productivo que se prevé tendrán en los próximos años.

Al tratarse de un tema parcialmente desconocido por la disciplina, se incluye un glosario al final del documento para facilitar la comprensión de términos y en la redacción se apela al uso de notas al pie de página para explicar o hacer aclaraciones sobre conceptos técnicos citados.

tendencias **1**
de diseño
producción y materiales

A lo largo de la historia el hombre ha desarrollado la capacidad de interactuar con la naturaleza experimentando con los elementos que la conforman, acumulando estas experiencias como conocimientos de la técnica, a partir de la cual la humanidad se ha formado un conocimiento de la materia.

Aunque al comienzo la materia que utilizaba el hombre para cubrir sus necesidades básicas era muy elemental, algún tipo de madera para construir sus guaridas, piedra para elaborar sus herramientas, la piel de los animales que cazaba para cubrirse de las inclemencias del tiempo; se puede decir que el impulso por descubrir las características de los materiales y sus prestaciones ha sido inherente a su desarrollo. Si a ello sumamos en el transcurso histórico, su movilidad -los traslados a distintos lugares- y la interacción con otros grupos -el intercambio comercial por ejemplo, podemos darnos una idea de como el panorama de materiales a su disposición se fue ampliando y en la misma proporción su experimentación con ellos.

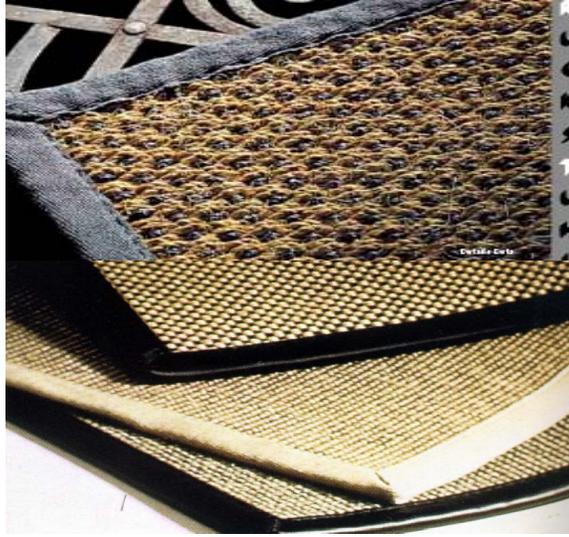
Esta carrera por descubrir y desarrollar materiales que se adapten a los requerimientos cada vez más complejos y más específicos de las aplicaciones que vamos concibiendo, sigue vigente hasta el día de hoy. La curiosidad, el impulso básico para conocer, para descubrir, sigue intacta, no así, el entorno en el que nos desenvolvemos. Este perfeccionamiento de la técnica y de los materiales, a pesar de haber contribuido en varios aspectos de la vida del hombre, en áreas como la medicina, donde los avances en instrumental y equipo facilitaron el diagnóstico, o en ingeniería donde los avances han permitido materializar las configuraciones urbanas a pesar de las condiciones inconvenientes del entorno; así mismo han traído consigo un impacto ambiental negativo, que en tiempos recientes forma parte de una problemática que no es posible seguir desconociendo.

Frente a este reto, en los diversos sectores que conforman e intervienen en el proceso productivo de los objetos, han surgido una serie de corrientes que buscan contribuir a disminuir el impacto que tienen los productos, materiales y procesos en el medio ambiente a distintos niveles. Aunque debemos admitir que coexisten paralelamente con otras que buscan perpetuar la inercia de la producción y el consumo desmedidos priorizando el costo económico sobre el costo ambiental.

En el ámbito del diseño un abanico de posibilidades se abre para explorar desde diferentes enfoques su papel frente a las problemáticas actuales. Por un lado podemos encontrar corrientes como el ecodiseño y la neoartesanía, que a partir de la reflexión en torno a los materiales como la sustancia de todo aquello que existe en nuestro entorno artificial, postulan una revaloración que implique la responsabilidad frente al cuidado, uso y experimentación adecuados de los mismos, tanto para la creación de nuevos compuestos a partir de materias primas naturales o “tradicionales” que no representen una amenaza para el ambiente como sí lo son hoy en día la mayoría de los plásticos, al no ser biodegradables y usarse de manera indiscriminada, como también para la exploración de nuevos campos de aplicación para estos materiales.

Por otro lado, existen corrientes como el diseño emocional y diseño de la interacción, cuyo abordaje pasa de lo puramente físico a la inclusión del vínculo emocional que conlleva toda interacción con los objetos. Estas corrientes buscan apelar al desarrollo de una conexión más íntima con lo que nos rodea, una nueva relación entre el usuario y el producto que vaya más allá de la satisfacción efímera dictada por modas, con el ánimo de propiciar una reducción del impacto negativo que generan fenómenos como el del consumismo a nivel ambiental por ejemplo. Así mismo, existen corrientes como el Pensamiento de Diseño, que enfatiza en el accionar de la disciplina como tal. Esta corriente parte de la reflexión que se da en torno al compromiso ético y social del diseñador desde la conceptualización misma de su intervención, pues en la situación actual, con cambios derivados del asombroso desarrollo de los medios de comunicación por ejemplo –internet, telefonía celular- hemos entrado en un nuevo terreno, el de los llamados intangibles donde un servicio, una experiencia o una estrategia pueden ser la respuesta a una problemática determinada, es decir, hoy en día la propuesta del diseño no necesariamente implica llegar a un objeto –tangible, y ello debe ser analizado a la luz de su impacto en el entorno social, productivo, ambiental y cultural.

Dada esta multiplicidad de abordajes, es conveniente ahondar un poco en algunos de ellos para darnos una idea general de los puntos de convergencia que guían la tendencia global del diseño.



← Fig.1 Tapetes en yute y sisal de la Ruckstuhl.
Fuente: Ruckstuhl.

1.1.1 La NeoArtesanía o Nuevo Diseño Artesanal

Recientemente industrias europeas se han avocado a la experimentación con materiales naturales y técnicas artesanales, buscando incorporar tradiciones milenarias a los diseños actuales. En Suiza a mediados de los noventa Jack Lenor Larsen, diseñador textil entre los más sensibles a las expresiones artesanales, realizó un proyecto conjunto con la compañía suiza de investigación textil Ruckstuhl, cuyo interés radica especialmente en el discurso de la sustentabilidad ambiental¹.

Larsen ha sido consciente que este problema tarde o temprano se convertirá en obligada referencia de la cotidianidad, y una manera de comenzar a hacerlo es en el uso de los objetos de nuestro entorno más próximo, a través de productos de origen natural y de su razonado reaprovechamiento. Por otra parte, la Ruckstuhl paralelamente a sus intereses económicos, persigue hacer que la naturaleza se vuelva parte de nuestra cultura, enfatizando lo que ellos mismos denominan “consistency ecological²”. Concepto que hace alusión a tres objetivos: primero, que todas las materias primas sean derivadas de fibras naturales que se renueven a sí mismas; segundo que los hilados utilizados sean cien por ciento de tipo natural; y por último, que se realicen pruebas periódicas de agentes contaminantes, aplicadas por entidades evaluadoras independientes. Y cuya aplicación ha dado como resultado que hoy en día la compañía trabaje una línea permanente de tapetes a partir de fibras naturales de coco, sisal, yute, lino, lana, algodón, crin de caballo, pelo de cabra e hilo de papel.

En la Ruckstuhl durante el desarrollo del proyecto, para refinar el proceso de tejido industrial recuperaron técnicas artesanales, de manera que sus tejedores se inclinaron por métodos simples, casi elementales para enfatizar el carácter de “hecho a mano” del producto. Obteniendo con ello tejidos en lana, coco y sisal con colores simples o alternados, tramas de colores, así como también sin ningún diseño.

La colección central derivada de este proyecto conjunto, se llama Pur y se caracteriza porque todas sus elaboraciones por una parte, aprovechan la técnica y experiencia del artesanado, y por otra, con el empleo de tinturas vegetales evitan continuar con la contaminación desmedida.

¹Jorge Gil Tejeda. *El Nuevo Diseño Artesanal*. Inédita. Barcelona, España. Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor de Proyectos de Innovación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería, 2002. Pág. 9. Págs. 72-75 *et passim*.

²Ruckstuhl, *et passim*.



1.1.1.1 La Nueva Artesanía en Polonia³.

Respecto a este país puede decirse, que a partir de los noventa con el paso hacia una democracia han logrado reinventarse tras un régimen adverso a los intereses artísticos que propicio la pérdida de la tradición artesanal. Quienes favorecieron este cambio fueron artistas que comenzaron a generar un modo diferente de percibir la realidad, en parte como rechazo al uso que dio el régimen pasado a las artes decorativas como herramienta para hacer propaganda política.

En el periodo comprendido entre finales de los 80's y principios de los 90's, un grupo de artistas-artesanos se interesaron en aprender métodos artesanales, recibiendo una formación con artistas, dibujantes, pintores, escultores, con la finalidad de enseñar más tarde a otros estudiantes como tomar decisiones formales. De esta manera, nació un nuevo arte decorativo liderado por iniciativas particulares de los graduados de estos cursos.

Con esta tendencia de mirar al pasado para rescatar las tradiciones artesanales, hubo una revaloración del trabajo que realizaron los artistas en la década del sesenta, convirtiéndose en un modelo a seguir por las nuevas generaciones de artesanos. A partir de esto, se origino un gran fenómeno llamado "Glass Guerrilla", caracterizado por la reinterpretación de las formas tradicionales del trabajo artesanal en vidrio, a través de la experimentación con el material. La producción en este campo fue tan fructífera, que se realizaron varias exhibiciones de productos de creación polaca al finalizar la década de los 90. Las cuales tuvieron lugar en escenarios internacionales como por ejemplo en los Estados Unidos en el America's Glass Art Society y en el Museo del Vidrio de Monterrey de México.

A consecuencia de ello, las fábricas que en principio no estuvieron interesadas en cooperar con los diseñadores en este proceso, gradualmente fueron cambiando de actitud integrando tanto a profesionales del diseño como artistas en nuevos departamentos de diseño de producto.

De igual manera, algunos artistas y diseñadores comenzaron a crear un diálogo continuo con los materiales e investigar el impacto que tienen los objetos en el entorno y en la vida cotidiana de las personas. Así nació de un modo natural el compromiso para propiciar la reutilización de los

³ Ibídem. Págs. 86-88.

← Fig.2 Tazón camaleón de Stanislaw Borowski en vidrio.
Fuente: Borowski Glasstudio

materiales, el análisis del rol de los productos en nuestra sociedad y cómo después de habernos sido útiles nos afectan. También la necesidad de tener una coherencia creativa entre lo deseable y lo viable a la hora de proyectar un objeto, de conocer su significado simbólico en nuestro tiempo y de crear todos estos bienes con tecnología accesible.

Este nuevo diálogo entre diseñadores, el conocimiento de los artesanos y las fábricas, originó un proceso que continúa hasta la fecha en Polonia, porque la creación de nuevos mercados para estos productos es un reto constante que no puede ser solucionado en poco tiempo, dadas las condiciones de la economía actual.

Glass Guerrilla



↑ Fig.3 Objeto de arte sin título de Stanislaw Borowski en vidrio trabajado en caliente y grabado.

→ Fig. 4 Perfumero de Malgorzata Dajewska en vidrio trabajado en frío.

→ Fig.5 Lámpara de Lech Urban en técnica mixta.

Fuente: Museo del Vidrio de Monterrey.



→ Fig.6 Plato cerámico diseñado por Olle
Brozén para la empresa sueca Kosta Boda.
Fuente: Kosta Boda.



1.1.1.2 El Diseño Artesanal en Suecia⁴

El interés internacional por el diseño sueco actual se consolidó a comienzos de la década de los 90 como fruto de la colaboración entre jóvenes productores⁵ que se propusieron crear un espacio para el diseño sueco, formular y mostrar internacionalmente lo que significaba. Esto se logró en principio gracias a una serie de foros y exposiciones de lo más representativo en materia de muebles y accesorios de iluminación y decoración.

La iniciativa fue apoyada por la prensa nacional e internacional, lo que contribuyó a poner en marcha su difusión a través de otros medios, en ferias del mueble por ejemplo. Permeando finalmente el ámbito industrial nacional. El atractivo de esta iniciativa radicó principalmente en el diseño pero también en la actitud más audaz y creadora que se quería transmitir a través de él, rompiendo un poco el paradigma de “rigidez” sueco, que se tiene por la asociación del país con imágenes de empresas reconocidas internacionalmente como la automotriz Volvo, con su “ideal” algo monótono, de calidad y seguridad. Para ello, se optó por la comercialización del diseño conjuntamente con otros medios de expresión como la música, la moda y la comida del país.

Cuando la propuesta alcanzó cierto éxito, se despertó el interés del gobierno que vio en el diseño y otras formas de industria creativa, un instrumento para la promoción comercial de Suecia como sociedad internacional y moderna. De esta manera, se implementaron estrategias como la del ministro de Comercio Leif Pagrotsky quien decidió recurrir a la música, el diseño, la moda, los conocimientos sobre tecnologías de la información y la comida para establecer la imagen actual del país. Desde entonces, se han invertido muchos esfuerzos, tanto privados como políticos en la industria creativa y la consecuencia ha sido el incremento de la participación de los diseñadores suecos en el ámbito internacional. Ejemplos de esta colaboración activa tanto con industrias como en obras de otros países son la proyección de una casa de la cultura en Kyoto por el arquitecto Claesson Koivisto, el trabajo que realiza Thomas Sandell para una de las mayores empresas de

⁴ Susanne Helgeson. *Nuevo Diseño Sueco*. Estocolmo, Suecia, Ed. Instituto Sueco, 2002. Págs. 3-5, 33, 34.

Ciclo de Conferencias: El Diseño de las Innovaciones Suecas. Distrito Federal, México. Universum, Museo de las Ciencias de la UNAM. Octubre 14 de 2004 a enero 9 de 2005.

⁵ Como Asplun, Box Desing, cbi, David Design y Forminord.

→ Fig.7 Vaso cerámico diseñado por Ulrica Hydman para la empresa sueca Kosta Boda.
Fuente: Kosta Boda.



construcción del mundo, la Mori Building Corporation, la decoración que realizó la industria de muebles Gärsnäs, de tres salas de la nueva biblioteca de Alejandría, entre muchos otros.

En referencia a la artesanía, la comunicación de los artesanos suecos con el mundo exterior ha pasado tradicionalmente por cooperativas subvencionadas por el Estado. No obstante desde finales del siglo pasado se ha elevado de manera lenta pero constante el prestigio y la presencia de la misma a medida que tanto los medios de comunicación como los consumidores se fueron cansando de los productos industriales y valoraban cada vez más el carácter singular de los artesanales. Como se menciona anteriormente el cuestionamiento de las normas tradicionales por las nuevas generaciones y la búsqueda de un espacio para el debate sobre el diseño en este país, ha suscitado una discusión enriquecedora para un redireccionamiento de la imagen que se desea proyectar como país. De ahí, que la experimentación que realizan los artesanos con materiales, técnicas, funciones, formas, colores y tratamiento de la superficie, que muchas veces conducen a vías de desarrollo que aprovechan los diseñadores y la industria, se hayan visto revaloradas en este tiempo y hoy por hoy el estudio de la artesanía como campo de innovación sea una condición indispensable para la formación del diseñador en este país.

Resultado de esta situación es que las tradiciones artesanales más arraigadas en Suecia como son las cristalerías junto con la industria de la porcelana. Constituyen hoy en día una importante síntesis del carácter único del arte, lo experimental-artesanal de las series limitadas y la producción industrial masiva. Por eso se han convertido en el punto de encuentro entre el diseñador y el artesano para un trabajo conjunto, que ha derivado en el reconocimiento mundial de generaciones jóvenes de diseñadores-artesanos. Tal es el caso de Ulrica Hydman y Bertill Vallien por sus diseños para empresas de cristalería como Kosta Boda y Orrefors.

→ Fig.8 Perfumero en vidrio de Correia Art Glass.

Fuente: Correia Art Glass.



1.1.1.3 El nuevo artesanado en Estados Unidos⁶

En cuanto a los Estados Unidos, el nuevo diseño artesanal se presenta como una serie de pequeñas empresas ubicadas principalmente en Nueva York, Miami y California, que se caracterizan por tener una producción personalizada y numerada de productos, enfocada sobre todo hacia el mobiliario doméstico, la decoración y la arquitectura.

En su mayoría son artistas, diseñadores industriales y algunos arquitectos que dirigen su actividad hacia los despachos de arquitectura y de decoración, otros ponen en marcha laboratorios artísticos artesanales donde trabajan proyectos por encargo, hay quienes cada año trabajan con una empresa diferente buscando explorar varios campos de acción o se vinculan con tiendas de cadena para vender ediciones limitadas de sus productos.

Las características más representativas son, que están dispuestos a trabajar los materiales bien sea con métodos artesanales o empleando nuevas tecnologías y que producen sus propios diseños buscando posteriormente los espacios para su promoción y venta. Por ello, hay gran variedad en los tipos de empresa, algunas emplean artesanos tradicionales, otras abren *show-rooms* para dar a conocer sus productos, mientras existen las que enfocan su trabajo hacia grandes empresas o las que se especializan en un sector específico como mobiliario o iluminación por ejemplo.

Actualmente existen espacios en los que se da a conocer y se promueve la producción de esta cultura de diseño artesanal, tal es el caso del *Acent on Design* que forma parte de la NYIGF (New York Internacional Gift Fair) y la ICFF (International Contemporary Furniture Fair) donde anualmente se han visto pasar y exponer a los impulsores de dicha cultura, como Lyn Godley y Lloyd Schwan o Steven Correia de Correia Art Glass.

⁶ Jorge Gil Tejeda. *El Nuevo Diseño Artesanal*. Inédita. Barcelona, España. Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor de Proyectos de Innovación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería, 2002. Cáp. 9. Págs. 61-72.

Exhibition: Playing the Field. The art + design of Godley- Schwan. The Design Center at Philadelphia University. Agosto- Noviembre de 2004. <http://www.philau.edu/designcenter/tdc/index.html>

→ Fig.9 Elefante banco de Charles y Ray Eames
Fuente: Nuevo Diseño Artesanal.



Charles & Ray Eames.⁷

El trabajo que realizaron los arquitectos Charles y Ray Eames con materiales tradicionales y nuevas tecnologías en la configuración de mobiliario, a la par de representar un hito en el diseño norteamericano, se considera como precursor del surgimiento de esta nueva cultura artesanal en el país.

Ellos se caracterizaron por realizar investigación a través de la experimentación, cuyos resultados plasmaban posteriormente en sus diseños. Explorando nuevas configuraciones que también eran producto de la especial atención que daban al proceso creativo y de la sensibilidad derivada del análisis de objetos artesanales.

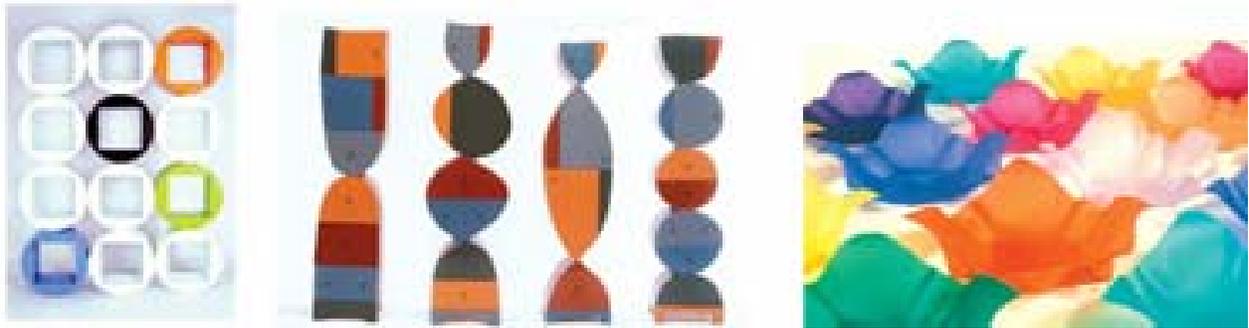
Es de resaltar que los Eames a la par de la experimentación, buscaban espacios para exponer sus desarrollos. Así pues, su participación en un concurso de diseño, organizado por el Museo de Arte Moderno de Nueva York por ejemplo, fue aprovechado como escenario para especificar mediante su propuesta dos nuevas tecnologías que fueron primordiales en trabajos sucesivos: el laminado de madera moldeado y la soldadura electrónica entre goma y madera, una técnica experimental de la Chrysler de los años treinta.

La dimensión artesanal del trabajo de los Eames también se revela en la habilidad e inventiva con que incorporaban técnicas utilizadas en otros campos de aplicación para el desarrollo de las propias, llegando incluso a producir de manera autónoma sus instrumentos de trabajo.

Su producción de sillas es quizás lo que refleja de la mejor manera su forma de trabajar, y ejemplifica lo antes mencionado. En 1941 se trasladan a California donde se encontraba la industria aeronáutica, para continuar su experimentación con el curvado del laminado de madera. Ahí comenzaron el desarrollo y producción de máquinas para pegar y estampar laminas de madera, por acción de la presión que ejercía una membrana inflable. De este modo pegaban capas de laminado contra un molde de yeso en el cual previamente se habían encapsulado resistencias eléctricas que aceleraban la adhesión entre capas. Controlando durante el proceso la presión de la membrana inflable y el calor de las resistencias.

⁷ *Ibidem*. Págs. 68-70.
Eames Office Resources. Charles and Ray Eames.

↓ Fig.10 Art + design de Godley – Schwan. Fuente: The Design Center at Philadelphia University.



Una vez entendidas las leyes de producción de la madera laminada, continuaron con investigaciones de formas articuladas a lo largo de superficies de curvatura compleja. Etapa de la que surge el elefante “banco” estampado en una sola pieza (Fig.9).

Arte y Diseño de Godley y Schwan⁸

Lyn Godley y Lloyd Schwan formados como artistas en esta época en que los límites entre arte, artesanía y diseño se combinaban en una nueva forma de diseño americano, estuvieron a la vanguardia de romper las barreras existentes entre estos campos.

A partir de la década de los 80's trabajaron como equipo de diseño por 18 años, periodo en el cual exploraron varios campos de acción. Iniciaron su incursión en el mercado con una línea de joyería llena de vitalidad en colores, formas y materiales, tras lo cual, en años siguientes ramificaron su propuesta hacia accesorios para el hogar, iluminación y mobiliario.

Uno de los preceptos en su trabajo era la intención de incorporar el concepto de diversión en los objetos, a través del manejo del color y nuevas configuraciones con materiales tradicionales (Fig.10). En 1988 presentaron su propuesta de objetos americanos funcionales y divertidos en el Salón Internacional del mueble en Milán, lo que fue un hecho sin precedentes tanto para las firmas de diseño como para el campo de mobiliario americano.

Su participación en eventos de este tipo incluyó las nascentes ferias comerciales como *Acent on Design* y la ICFF, así como la forma en que introdujeron sus diseños en el mercado a través de las tiendas departamentales marcaron un cambio importante en la comercialización del diseño de mobiliario en el país, ya que tradicionalmente los muebles de diseñador eran vendidos de manera exclusiva en galerías, adquiridos como objetos de arte por un grupo reducido de la población. Mientras que de esta manera, la producción de los diseñadores ya sea en ediciones limitadas o en tirajes industriales quedó disponible para un público más extenso.

Al respecto puede decirse que ellos abrieron el camino para lo que fue en los 80's y 90's el fenómeno de proliferación de mobiliario de diseñador disponible para el contexto cotidiano.

⁸ Exhibition: Playing the Field. The art + design of Godley- Schwan. The Design Center at Philadelphia University. Agosto- Noviembre de 2004. <http://www.philau.edu/designcenter/tdc/index.html>.

↓ → Fig.11 y 12 WAJIMA - Ceremony Series of Toshiyuki Kita
Fuente: Web de Toshiyuki Kita



1.1.1.4 El nuevo artesanado japonés⁹

En Japón se han adelantado esfuerzos para conservar el arte milenario que tradicionalmente ha acompañado la vida de los japoneses a través de los objetos cotidianos, ante la crisis de extinción que vive en la actualidad la tradición artesanal laboriosamente desarrollada en varias regiones del país.

Actividades como la fabricación artesanal de papel, cerámica o la producción de objetos en laca (Urushi), que nacieron para la elaboración de objetos útiles y bellos para el público han sufrido el desplazamiento continuo por el estilo de vida moderno. Por ello, ahora un grupo de grandes maestros artesanos forman parte de un programa gubernamental de protección para los portadores de las propiedades culturales intangibles denominado “Los tesoros vivos del Japón”. De este modo, teniendo un ingreso económico y estando apoyados por la sociedad y el gobierno transmiten sus conocimientos a sus discípulos para que continúen su labor y se garantiza la permanencia de las costumbres y por ende la conservación de la cultura propia de la nación.



En este contexto surge la inquietud de algunos diseñadores para propiciar un acercamiento con los artesanos buscando crear conjuntamente objetos con los materiales tradicionales para ser usados en la actualidad. Un ejemplo de ello son los proyectos desarrollados por el diseñador Toshiyuki Kita (Figs. 11 y 12) junto con artesanos del Urushi¹⁰ que han dado como resultado la realización de una amplia variedad de objetos, que van desde cortinas de sol, teteras hasta incluso asientos de este material.

⁹ Jorge Gil Tejeda. *El Nuevo Diseño Artesanal*. Inédita. Barcelona, España. Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor de Proyectos de Innovación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería, 2002. Cáp. 9. Págs. 6-10.

¹⁰ Urushi, es el nombre de la resina que se recoge del árbol que tiene el mismo nombre, se extrae la goma de los árboles que la producen, para fabricar principalmente mesas para fiestas particulares, objetos destinados a la ceremonia del té y floreros.



Fig.13 Propuestas de artesanías en madera y caña flecha hechas por diseñadores. Fuente: Artesanías de Colombia

1.1.1.5 La nueva artesanía industrial Colombiana

En este país la toma de consideraciones ambientales, al igual que la preocupación por el desarrollo sustentable de la industria artesanal, cuya presencia es numerosa y variada, ha propiciado que se abran nuevas líneas de investigación, donde tanto la industria como instituciones y centros de investigación, han volcado sus esfuerzos hacia la experimentación con nuevos materiales y procesos, que les permitan acceder a nuevos campos de aplicación conforme a las condiciones mencionadas. Así mismo en respuesta a este fenómeno instituciones destinadas a incentivar el desarrollo de la pequeña y mediana industria (PYMES) como es el caso de Artesanías de Colombia y el SENA¹¹ que mediante sus programas han adoptado este enfoque y lo han traducido en un apoyo a las iniciativas de investigación y experimentación con materiales naturales utilizados comúnmente en la artesanía. Esta iniciativa se ha dado con miras a reformar un poco estos procesos pensando en su crecimiento a futuro, y de igual manera buscando pasar el conocimiento empírico que este sector tiene sobre los materiales al desarrollo de procesos industriales, para que mediante el uso de la tecnología actual, se lleve a procesos productivos viables en pro de su desarrollo.

Como ejemplo nos podemos remitir al programa llamado “Laboratorio de Diseño” de Artesanías de Colombia, el cuál tiene presencia en las zonas del país con mayor concentración de técnicas artesanales. A través de este, se han desarrollado proyectos de asesoría en diseño y comercialización para productos artesanales, destinados a fortalecer tanto la identidad de sus productos como la del diseño colombiano. A consecuencia de ello, en la actualidad algunas de estas empresas ya se encuentran exportando sus productos y de igual manera esta tendencia ha propiciado la creación de espacios para el diseño artesanal, como son ExpoArtesanías, el Concurso Internacional de Diseño para la artesanía (que llega a su cuarta edición) y la Feria Artesanal Manofacto. Este es un fenómeno reciente en el país que apenas está comenzando a dar frutos, pero todavía queda un largo camino por recorrer, para que se consolide el diseño en general, y por ende la nueva artesanía industrial.

¹¹ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

El nombre apelativo artesano carga de gran responsabilidad a aquéllos a los que se les adjudica, su valor nace de la posibilidad de expresión individual que es una de las características principales de su trabajo. Consideremos entonces, que los artesanos son los que realmente están más cerca, que tienen un vínculo estrecho con los diseñadores industriales, no solamente debido al origen de los productos que elaboran, en su mayoría productos utilitarios que están en relación directa con el hombre sino también porque históricamente parte de las raíces de la disciplina como tal surgieron a partir de las organizaciones gremiales artesanales. Sorprende entonces, que a la fecha se diga que gracias al *neoartesano* una nueva relación profesional está surgiendo, la del artesano y el diseñador industrial -¿es realmente nueva?-, vínculo del cual florece una nueva sensibilidad que está consiguiendo grandes beneficios a nivel mundial – ¿beneficios para quién?-. Pensar en esta circunstancia me lleva a realizar una reflexión acerca de esta relación intentado aclarar las ideas.

Diseño artesanal vs artesanía industrial.

La intervención del diseño debe acogerse a ciertos límites, es fácil transgredir la línea entre ser un detonante, un impulsor de un proceso estancado y entrar a modificar ese ámbito de manera irreversible. Se me viene a la memoria una intervención del diseño que ejemplifica claramente esta situación. Artesanías de Colombia es una empresa de capital mixto encargada de la estructuración de políticas de desarrollo artesanal y comercialización de las artesanías colombianas. Esta empresa hace unos años génera un programa llamado Laboratorio de Diseño para la Artesanía y la Pequeña Empresa, como se mencionó anteriormente, destinado a ubicarse en centros estratégicos de gran presencia artesanal. Uno de estos centros se ubicó en Nariño, región donde comenzó a desarrollar proyectos específicos de capacitación y asesorías para el desarrollo de nuevos productos, con los diferentes gremios artesanales, entre ellos, los artesanos del barniz de Pasto¹². Esta iniciativa que prometía un impulso considerable para estas artesanías, con el tiempo fue

¹² Es una técnica artesanal típica de la ciudad de Pasto de procedencia aborigen, que consiste en aplicaciones de laca vegetal obtenida por el procesamiento de la resina Mopa Mopa, sobre superficies principalmente de madera con fines decorativos.

degenerando su propósito en una intervención que desconocía el valor cultural de esta expresión artesanal, en donde los diseñadores dejaron de ser asesores para ser quienes dictaban el quehacer del artesano, diseñando a su gusto y apegados a los lineamientos estéticos que requería el mercado, para que los artesanos los elaboren, pasando estos últimos de ser creadores a ser los ejecutores del proyecto, lo cuál excluye al artesano de una parte vital del proceso artesanal. ¿Donde queda entonces, el valor cultural del objeto? Es decir, lo que cada artesano le lega a su obra a través de todo el proceso, desde su conceptualización hasta su realización. Personalmente considero, que aunque el resultado de esta intervención ha generado productos muy interesantes en los que el diseño es exaltado y reconocido –varios de ellos han ganado el premio Lápiz de Acero¹³-, han perdido su estatus de artesanía, por lo que habría que llamar a esta nueva producción de otra manera, lo que hoy en día se denomina diseño artesanal. Sin estar en contra de las intervenciones, como bien dice García Canclene “el desarrollo más productivo es el que valora la riqueza de las diferencias, propicia la comunicación y el intercambio interno y con el mundo y contribuye a corregir desigualdades”¹⁴. Sin embargo, una cosa es que las expresiones culturales como las artesanías sigan su curso evolutivo como cualquier expresión cultural que va mutando paralelamente al devenir social por ende cultural también y a las diferentes interrelaciones que se van gestando en cada época, nutriendo por consiguiente el mismo, y otra muy diferente es tratar de amoldar una expresión cultural a ciertos parámetros comerciales que nada tiene que ver con ella, y desconocen su valor fuera del que poseen como mercancía. Hoy en día, cuando la discusión acerca de la identidad cultural dentro de las diferentes prácticas sociales, incluida el diseño, está teniendo un nuevo auge, es preciso hacer este tipo de reflexiones no solo entorno a lo que se genera al interior de la disciplina y lo que a ella llega, como han sido, las diferentes intervenciones en el plano teórico de otras disciplinas, tema arduamente discutido, sino también respecto a lo que sale de ella, por caminos que no han sido transitados con la misma avidez que los del objeto, siendo este la expresión representativa por excelencia de la disciplina. En estos tiempos en que todo el mundo habla de artesanía y diseño, aún sin conocer en esencia lo que significan porque se

¹³ Lápiz de acero, es un concurso que destaca anualmente lo mejor del diseño colombiano.

¹⁴En su artículo “Todos tienen cultura: ¿Quiénes pueden desarrollarla?”.

Esta imagen representa lo que ha significado para la artesanía del Barniz de Pasto la intervención del diseño, tanto en la configuración formal de los objetos como en la expresión y temática gráficas de la aplicación de la técnica.

↓ Fig.14 Jarrón Galeras
Premio Lápiz de Acero 2006
Categoría producto artesanal.

↓ Fig.15 Jarrón tradicional
Artesanos del Barniz de
Pasto.

presentan más como una ventaja mercadológica que otra cosa, es preciso que los actores, en este caso los diseñadores busquemos tener congruencia entre lo que proponemos como disciplina (teoría) y lo que hacemos como tal en la práctica.



1.1.2 Nuevo Diseño o Diseño de la interacción

Es una tendencia que ha cobrado mucha fuerza en el diseño en los últimos años, la cual se encuentra enfocada al consumidor, a su análisis desde el punto de vista del deseo y de las conexiones emotivas¹⁵ que se establecen con el producto buscando un posicionamiento real del mismo. Sin embargo contempla de igual manera que el funcionamiento de los medios de comunicación, de distribución, de comercialización, conforma relaciones diversas en cada uno de ellos, transformándolos en elementos fundamentales a la hora de evaluar cómo posicionar un producto en un mercado. Lo que se busca al promover un acercamiento mas sustancial del diseño hacia el consumidor, es propender a un equilibrio entre las satisfacción de la necesidad, concepto que hoy en día en un creciente número de colectividades, ha evolucionado conforme a los cambios sociales mas allá del deseo simple de la adquisición de un producto y la comercialización del mismo, resultado de la preocupación actual de las industrias por mantenerse competitivas ante el mare mágnum del mercado globalizado.

Otro factor preponderante en esta tendencia es el interés de generar valor por la identificación de un producto con su lugar de origen. Es importante señalar que es un intento de contra-tendencia. Es ir en sentido opuesto al que la producción de los productos masivos va y en ese sentido, es entonces fundamental ser concientes de que el diseñador debe abocarse no a una lógica en extinción sino a la búsqueda de corrientes de consumo que vayan más allá de la marca y revaloricen por nuevas razones los valores de localidad. El objetivo de los estudios inscritos en este contexto ha tendido a analizar los valores referidos ante el consumidor por una cantidad de productos que cargan su lugar de origen como una característica destacada e intentan detectar de esta manera cuáles son los deseos que los consumidores asocian a su compra. Comprender esta estructura de motivaciones es el primer paso imprescindible para elaborar cualquier estrategia que intente destacar la "localidad" como valor y su propia enunciación comienza a evidenciar que

¹⁵ Patrick Jordan menciona que el enfoque "oficial" sólo considera factores fisiológicos y cognitivos, haciendo alusión a que en la práctica, durante el desarrollo de productos, priman los aspectos objetivos y racionales (datos cuantificables) de la relación entre el individuo y el producto, sobre el lado emocional y afectivo. La consecuencia es que con esta ley en la mano se diseñan productos (sistemas, objetos, etc.) adecuados a usuarios un poco "robots", y no a personas de verdad, que tienen aspiraciones, miedos, atracciones.

Ya no basta con que los objetos sean funcionales para que funcionen porque **“las cosas atractivas funcionan mejor”**.

D. Norman



existen múltiples motivaciones o tipo de deseos que llevan al consumo de lo exótico y que las estrategias deben estar en concordancia con esto.

Dentro de esta corriente existen diversos abordajes desde los factores que intervienen en el proceso de diseño. El enfoque de algunos diseñadores se da a partir de la ergonomía, en la interacción cognitiva entre el usuario y el producto. El denominado *diseño emocional* por autores como Jordan o Norman, asume que el consumidor sometido a una creciente cantidad de comunicación, productos y estímulos, reacciona sopesando y valorando, buscando elementos que confirmen su identidad, y por tal motivo no basta con interpretar desde el punto de vista del diseñador las necesidades que pueda tener, sino que hay que introducirse en las áreas de sensibilidad existentes, interpretar los patrones emergentes estimulando nuevas sensaciones, nuevos modos de uso y nuevas evocaciones simbólicas – el aspecto emocional de los productos- para “darle al consumidor lo que desea pero que no ha imaginado aún”¹⁶. Por otro lado estos autores postulan que la emoción también desempeña un papel de suma importancia en el trabajo que realiza el diseñador. Un estado de ánimo alegre realza la creatividad, en tanto que un estado anímico inquieto impide focalizar la atención. Los diseñadores, en cualquier área que ejerzan, oscilan entre sentimientos negativos y positivos, de tal manera que sus obras muestran las huellas que dejan grabadas estas emociones.

“En Diseño emocional se demuestra por primera vez, que, siempre que nos encontramos con un objeto, nuestra reacción viene determinada no sólo por lo bien que pueda funcionar, sino por el aspecto que tiene, si nos parece atractivo e incluso por la nostalgia que suscita en nosotros”¹⁷

Sin embargo, ésta no es la única corriente que plantea que el papel y el compromiso del diseñador van más allá del desarrollo de producto. En el “Pensamiento del Diseño”¹⁸ se analiza desde un plano más amplio, el de la gestión a partir del diseño, definido como la capacidad de entender los

¹⁶ Francesco Morace, “Treinta años de mobiliario”, en Revista Experimenta, No 5, pags. 37-50, Madrid, 1994

¹⁷ Donald Norman, El diseño emocional, Ed. Paidós, 2005

¹⁸ Richard Buchanan

← Fig.16 Cat Bowl de Miriam mirra para Alessi.

→ Fig.17 Pimentero pepino de Stefano Pirovano para Alessi.
Fuente: Alessi.



diferentes aspectos de la tecnología y la artesanía para evaluar su valor en el desarrollo económico y tecnológico. Ahora bien, el diseño no solamente se considera como puente de comunicación entre la tecnología y el individuo a través del desarrollo de productos. Esta reinterpretación que promueve al diseño como una ciencia de la organización, permeable a la inclusión de técnicas y conocimientos de otras áreas como la administración, sociología, psicología, etc., en el desarrollo de su proceso de reorganizar y/o rediseñar organizaciones, se obedece a los actuales retos que tiene el diseñador frente a las nuevas características globales de la población y por ende de los mercados.

Este nuevo abordaje tiene dos consideraciones fundamentales, una de ellas es el valor de la tecnología en el proceso entendida no solamente como una herramienta que potencia las habilidades del diseñador, sino como la habilidad de llevar las ideas al mundo explorando las formas que puede llegar a tener en la vida cotidiana. Y la segunda es su direccionamiento hacia las PyMEs, teniendo en cuenta que en nuestros países latinoamericanos el mayor porcentaje del sector industrial está compuesto por ellas. El reto en este sector apunta a atender sus necesidades, a la par de generar una familiarización con la disciplina, ya que en parte el distanciamiento de estas con el diseño se atribuye al desconocimiento o una falta de claridad que tiene este sector de nuestro quehacer.

En el marco internacional se están dando poderosas influencias técnicas, legislativas y comerciales, a menudo difíciles de predecir. Sin embargo se prevé que en la próxima década, los cambios en la industria serán provocados por los rápidos avances tecnológicos y las crecientes presiones competitivas. Situación que es tangible, toda una realidad en algunos sectores –como la electrónica- donde a la par de la constante incorporación de nuevos desarrollos tecnológicos a los productos, se introducen variaciones intencionales en los procesos productivos buscando la diferenciación en el mercado.

1.2

Tendencias de Producción

Por otro lado, existen varias razones por las cuales está evolucionando el grado de desarrollo existente en áreas industriales específicas y las nuevas tecnologías, como son: las crecientes demandas de calidad por parte del cliente, la reducción de los tiempos de desarrollo y entrega de productos, la globalización de mercados, la competencia de nuevos materiales, los bajos costos de mano de obra de otras economías, la legislación medioambiental y la exigencia a los fabricantes de ofrecer servicios de alto valor agregado a sus clientes.

Todas ellas representan dificultades, que según estudios de prospectiva tecnológica realizados en España por OPTI¹⁹ en 2002 y en México por ADIAT²⁰ en 2004, se traducen en seis grandes tendencias en los sectores productivos:

Fabricación concurrente, Conversión instantánea de información en conocimiento, Empresas reconfigurables, Desarrollo sostenible, Cualificación de los recursos humanos y Procesos y productos innovadores²¹.

Fabricación concurrente. En medida creciente se exige a los fabricantes que lleven a cabo la investigación y desarrollo necesarios para satisfacer las necesidades de los clientes. Lo que hace necesario considerar todo el ciclo de vida del producto no sólo durante las fases de diseño y producción, sino también durante la vida del mismo. Esto implica desarrollar nuevas tecnologías y sistemas de información que interrelacionen todos los trabajos, en todos los aspectos de la empresa y permitan conseguir la concurrencia en todas las operaciones, con métodos unificados y protocolos para el intercambio de información estándar, propiciando de esta manera, que las operaciones de conceptualización, diseño y producción sean llevadas a cabo en paralelo con el objetivo de reducir tiempos, realizar el análisis del ciclo de vida y mejorar la calidad de los productos fabricados.

¹⁹OPTI (Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial).

²⁰ADIAT (Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico A.C.)

²¹Tecnologías de Diseño y Producción, OPTI, 2002.

Conversión instantánea de la información en conocimiento. Hace referencia a que la necesidad de reducción de tiempos y el concepto de fabricación concurrente requieren la transferencia de la información en tiempo real entre todos los agentes involucrados en el proceso de fabricación. Por lo cual, se prevé que habrá un progreso significativo en el desarrollo de software para los sistemas de colaboración inteligentes a medida que los sectores productivos se acerquen a sistemas de auto supervisión y corrección en ciclos cerrados, tanto de productos como de maquinaria.

Empresas reconfigurables. Esta tendencia menciona que en medio del clima competitivo, reforzado por la comunicación y el conocimiento compartido, se requiere de respuestas rápidas a los cambios originados por las fuerzas del mercado. En razón a ello, debe buscarse que los procesos y sistemas de fabricación sean adaptables y reconfigurables, de acuerdo al trabajo o a las especificaciones del cliente con aportación de soluciones a la medida.

Desarrollo Sostenible. El medio ambiente, la salud y la seguridad con sus respectivas regulaciones son las principales preocupaciones con las que se enfrentará la industria en el futuro. En consecuencia, el interés por el impacto ambiental tiende a ir más allá del reciclado de componentes, lo que redundará en que tanto el material como el proyecto diseño sean afectados por conceptos de “reciclabilidad”, del uso de tecnologías limpias por ejemplo. De igual manera, la creciente importancia de problemas como el uso de recursos de material y energía limitados, potenciará el reciclado de fluidos contaminantes y componentes, y el ahorro de energía.

Cualificación de recursos humanos. Hace referencia a que el grado de progreso tecnológico y el impacto de las TICs²² en los sistemas de producción han provocado que el crecimiento del sector dependa en gran medida de trabajadores más cualificados. Esto aunado a que el entorno global ha aumentado la complejidad de las máquinas, ha ocasionado que la

²² TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación)

tecnología sea cada vez más dependiente de las personas. Por lo cual, los operarios deberán cada vez más, familiarizarse con entornos informáticos y tecnologías de programación específica para alimentar las máquinas con sus conocimientos y experiencias prácticas.

En el Desarrollo de procesos y productos innovadores. La tendencia apunta a que la innovación será la base de la competitividad en todos los aspectos de la empresa industrial, y que la habilidad primordial de la industria para enfrentar este desafío será el uso creativo de las tecnologías con las que está familiarizado, pero todavía son emergentes.

En este campo, la industria a la fecha ha desarrollado y mejorado numerosas tecnologías, incluyendo procesos innovadores que cambiarán el alcance y la escala de fabricar, tales como las microtecnologías²³, nanotecnologías y diversos procesos para la obtención de productos multimaterial²⁴.

Sin embargo, la aparición en el mercado de *nuevos materiales* con nuevas propiedades y estructuras, precisa de nuevos métodos o la optimización de los existentes. Como lo menciona Carlota Pérez, Investigadora Senior de la Universidad de Cambridge “La introducción de estas tecnologías en productos y procesos a lo largo y ancho del aparato industrial es el fenómeno, que influirá de manera fundamental en el patrón de consumo de materiales y en la dirección innovadora que estos tomen. Tres fenómenos merecen especial atención: los grados de libertad introducidos en el área de diseño de productos por la incorporación de sistemas computarizados; las demandas inducidas por los cambios tecnológicos en los productos y los equipos; y la introducción de materiales no tradicionales”²⁵.

²³ Son las tecnologías que permiten la fabricación de materiales a escala micrométrica (la milésima parte de un milímetro). Se han desarrollado principalmente en el campo de la electrónica.

²⁴ El término *multimaterial* hace referencia a la combinación temporal o permanente de distintas materias primas que le dan, ya sea al producto o al material propiedades diferentes a las que tendrían por separado, tratando de aprovechar las virtudes de cada una. Tal es el caso, por ejemplo, de los empaques tetrapak o en el caso específico de los recubrimientos, el acero porcelanizado.

²⁵ Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto. 1986

Tabla 1. PROCESOS Y PRODUCTOS INNOVADORES- tecnologías clave²⁶

Tecnologías	Capacidad	Horizonte Temporal
Microtecnología y Nanotecnología	Desfavorable	2006-2010
Sinterización (de metal y cerámica) ²⁷	Desfavorable	2000-2005
Procesos para la obtención de productos multimaterial	Media	2006-2010
Tratamientos térmicos superficiales y recubrimientos	Media	2006-2010
Materiales compuestos	Media	2006-2010

Complementariamente a lo expuesto, se encuentran las denominadas **tecnologías clave** asociadas a cada tendencia (Tabla 1), que son tecnologías que han sido seleccionadas para que las empresas de los sectores productivos puedan alcanzar los retos mencionados. Esta selección se ha planteado según criterios de atractivo para la industria: impacto tecnológico alto y generación de desarrollo industrial; y según capacidad de desarrollo científico tecnológico, de producción o de comercialización. Todo ello con base en la información arrojada por los cuestionarios Delphi aplicados durante estos estudios.

En referencia directa al tema que nos ocupa en este documento, que se ubica dentro de **Tratamientos térmicos, superficiales y recubrimientos**. El estudio hace énfasis en las prestaciones de los últimos avances en recubrimientos, que permiten alargar la vida de piezas, así como realizar geometrías efectivas y altamente especializadas que reducen costos en la producción gracias a la innovación en el sustrato, el revestimiento, las geometrías y las tecnologías de producción. Así mismo se menciona que su utilización es cada vez más extendida pero existe capacidad limitada de producción para asumir el gran mercado potencial en desarrollo.

En el caso específico de México los datos evidencian en general, una fuerte dependencia y vulnerabilidad del país con respecto al exterior, así como el papel determinante que juegan los materiales en diversos sectores productivos en el comercio exterior. Sin embargo, se considera uno de los campos de desarrollo tecnológico con más posibilidades de crecimiento.

²⁶ Tabla. Tecnologías de diseño y producción, OPTI, 2002.

²⁷ Los procesos de sinterización son técnicas para la fabricación de piezas a partir de polvos metálicos, aglomerados por la acción de la temperatura y la presión. Referido al metal, el proceso consiste en prensar una mezcla de polvos metálicos y calentarla en un horno eléctrico en una atmósfera no oxidante. Se obtiene así una masa moldeable que, posteriormente, es sometida a un recocido a una temperatura superior, con lo que se logra su endurecimiento permanente.

1.3

Tendencias de Materiales

Los materiales, al ser imprescindibles para la elaboración de todos los objetos utilizados por la sociedad, han tenido en todas las épocas una elevada valorización social y económica, y sus propiedades físicas y químicas tanto en su procesamiento como en su aplicación han sido un límite casi insuperable para las posibilidades de realización inmediata. Por lo tanto, las tentativas de modificarlas para adaptarlas a las exigencias del momento han sido una constante histórica, desde la edad de piedra hasta la era de la microelectrónica se ha buscado siempre mejorar los materiales usados habitualmente ampliando sus aplicaciones, como utilizar materiales nuevos manteniendo costos aceptables (incluyendo costos sociales, ambientales, etc.), lo cual nos ha permitido enriquecer continuamente el repertorio de los materiales disponibles. En este proceso sin embargo, se puede reconocer la existencia de una tendencia que ha prevalecido a lo largo de la historia: la miniaturización. Bien sea en la reducción del contenido de material por unidad de producto, o bien en la fabricación de objetos que con igualdad de funciones, han sido cada vez más pequeños y livianos. Gracias a ello hoy en día los materiales permiten el desarrollo de funciones que hasta hace pocos años eran difícilmente concebibles.

¿Cómo son y serán los nuevos materiales?

Los nuevos materiales a causa de las radicales innovaciones llevadas a cabo por la ciencia de los materiales, son en sí mismos objetos de nuestra sorpresa. Solo hay que observar con detalle nuestro entorno artificial para encontrarnos constantemente expuestos a choques perceptivos que nos ponen a cuestionar concepciones prefiguradas que tenemos sobre ellos, esto nos sucede cuando vemos papeles que resisten el calor del horno como la piedra, plásticos que se deshacen o se comen, pantallas hechas de cristal líquido, y así podrían citarse innumerables ejemplos. Esto, en gran parte obedece a la incidencia del factor tecnológico en el desarrollo de materiales, donde se evidencia una marcada tendencia hacia la bidimensionalidad y la desmaterialización, contexto en el cual prima la capacidad mutable de los materiales. En primera instancia, este fenómeno se puede percibir en las superficies, en su aspecto camaleónico, con acabados inestables, mutables, sensibles a factores externos como el medio ambiente, los cambios climáticos –vestidos hechos con tejidos termocromáticos que cambian de color dependiendo de la temperatura del ambiente-,

que otorgan una capacidad mimética a la materia, a su vez interpretada por el usuario como de comportamiento “propio”. En otra instancia encontramos las variaciones dimensionales, donde la tendencia se presenta con más fuerza, volúmenes que aparecen y desaparecen, polímeros que se expanden y contraen, metales que se rigidizan, la transformación en este universo es equivalente a plasticidad y adaptabilidad en cuanto a la prestación que se requiere de la materia. No es casualidad que hoy en día, la importancia no resida ya en la propia materia sino más bien en lo que ella hace y lo que nosotros podemos hacer con ella, en los horizontes que nos abre y los retos que nos presenta. Según Emilio Castro Otero, investigador del Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) “los nuevos materiales con que conviviremos en nuestra vida diaria durante el siglo XXI se desarrollarán a medida, con el fin de obtener un material con unas propiedades adecuadas para una aplicación determinada y serán “nano” inteligentes y biomiméticos, así como energéticamente más eficientes, reciclables y menos tóxicos a favor del medio ambiente y del desarrollo sostenible”.

Nanotecnología en materiales

En este contexto las nanotecnologías²⁸ constituyen un punto culminante en el desarrollo de la capacidad de modificar las propiedades de los materiales, punto al cual la moderna sociedad tecnológicamente avanzada llega por dos caminos convergentes: uno es el camino histórico antes mencionado, y el otro es el desarrollo de tecnologías de elaboración de los materiales en escalas cada vez más reducidas, lo que ha permitido el desarrollo de la microelectrónica y de otras producciones micrométricas.

La convergencia de ambos caminos se ha traducido en progresos cada vez más rápidos y de amplios alcances tecnológicos, sociales y económicos. Los progresos en un campo específico, como la electrónica y las tecnologías de la información, permiten evaluar el impacto tecnológico y

²⁸ Según el Maestro Manuel Eduardo Espinosa Pesqueira, investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México (ININ). La nanotecnología es la ciencia que estudia y crea materiales y dispositivos funcionales a través del control de la materia a nivel atómico, molecular y macroscópico, explotando nuevas propiedades de los materiales por medio de la miniaturización.

económico derivado de la posibilidad de trabajar la materia a escala micrométrica, pero no sucede igualmente en el área más extensa de los materiales nanoestructurados. Aún así, se puede constatar que los progresos recientes en estos materiales, resultado de un creciente conocimiento y control de su estructura a nivel atómico, han llevado a cambios sustanciales en los esquemas de producción y consumo en los sectores más variados (mecánica, electromecánica, química, energía, industria aeroespacial, biomedicina, transporte, agro-alimentos, construcción, etc.), con reducción de costos y aumento general de la eficiencia (miniaturización, reducción general del consumo de materiales y energía, y de los efectos ambientales subsecuentes, por unidad de producto).

Se puede por lo tanto suponer razonablemente que la capacidad de actuar sobre las estructuras de los materiales a escala nanométrica producirá efectos de enormes alcances a través de la tecnología de los materiales que tendrá incidencia en todos los sectores de la economía, incluido el de la microelectrónica y las tecnologías de la información, y estas a su vez, contribuirán a acelerar el cambio tecnológico en los sectores actuales, incluido el de los materiales, y a generar sectores completamente nuevos. Prueba de ello, es el surgimiento de nuevos grupos de materiales como los denominados metamateriales, los materiales biomiméticos, los materiales inteligentes y los materiales invisibles por citar algunos. Daniel López, investigador del laboratorio de Nanofabricación de Bell Labs, de Lucent Technologies, en España, se refiere a los *metamateriales*, como compuestos cuyas propiedades físicas son distintas a las de sus constituyentes. Algunos de ellos se fabrican con técnicas de nanotecnología similares a las que se usan para fabricar micromáquinas y circuitos integrados. Según López, una ventaja de estos *metamateriales* es que con ellos se podrían fabricar lentes planas que permitirían enfocar la luz en áreas más pequeñas que la longitud de onda de la luz, con lo que podrían conseguirse aplicaciones en el terreno de la óptica o de las comunicaciones totalmente inéditas. Una de estas posibles aplicaciones serían los computadores ópticos, muchísimo más potentes y rápidos que los actuales, aunque su desarrollo se encuentra todavía en una fase muy preliminar.

Asimismo, se habla de los *materiales inteligentes* como transformadores de la forma de concebir la síntesis de materiales, puesto que serán diseñados para responder a estímulos externos, extender

su vida útil, ahorrar energía o simplemente ajustarse para ser más confortables al ser humano. De este modo, las investigaciones en nanomateriales permitirán en el futuro, por ejemplo, sistemas de liberación de fármacos ultra-precisos, nanomáquinas para microfabricación, dispositivos nanoelectrónicos, tamices moleculares ultra-selectivos y nanomateriales para vehículos de altas prestaciones. Los materiales inteligentes podrán replicarse y repararse así mismos, e incluso, si fuera necesario, autodestruirse, reduciéndose con ello los residuos y aumentando su eficiencia. Entre los materiales inteligentes que se están investigando se encuentran los músculos artificiales o los materiales “sensibles” a sus propias fracturas.

Por su parte, los *materiales biomiméticos* buscan replicar o “mimetizar” los procesos y materiales biológicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los investigadores que trabajan en este tipo de materiales persiguen un mejor conocimiento de los procesos utilizados por los organismos vivos para sintetizar minerales y materiales compuestos, de manera que puedan desarrollarse, por ejemplo, materiales ultraduros y a la vez, ultraligeros. La llamada biomedicina, así como otras nuevas disciplinas, como la biotecnología, la genómica o la proteínómica, persiguen también la creación de nuevos materiales que puedan dar lugar al desarrollo, por ejemplo, de tejidos y órganos artificiales biocompatibles, células madre, contenedores de tamaño molecular e inteligentes para la dosificación controlada de fármacos, proteínas bioactivas y genes, chips de ADN, dispositivos de bombeo, válvulas altamente miniaturizadas, especies de plásticos o polímeros altamente biodegradables y medioambientalmente limpios a partir de microorganismos para evitar la utilización de derivados del petróleo como materia prima, y un sin fin de posibilidades que hoy por hoy se encuentran en proceso de investigación.

Pedro Gómez Romero, investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona del CSIC²⁹, habla también de *materiales invisibles* “Son especies y subespecies de materiales que no están a la vista, pero que constituyen la esencia de multitud de dispositivos y productos que cada vez nos parecen más indispensables”. Su utilidad reside no tanto en sus propiedades mecánicas como en sus propiedades químicas, magnéticas, ópticas o electrónicas. Aunque representen una pequeña

²⁹ Revista virtual Consumer Eroski. Ciencia aplicada: Nuevos materiales. Septiembre de 2005

parte de los dispositivos en los que actúan, cumplen en ellos un papel esencial. Entre estos materiales invisibles, Gómez Romero habla por ejemplo de los empleados en las baterías, en las pantallas planas de ordenadores, teléfonos móviles, paneles electrónicos y otros dispositivos, o en las películas sensibles a los rayos-X.

En el campo de los acabados industriales, específicamente los recubrimientos superficiales de todo tipo constituyen hoy un sector de considerable interés económico, el cual según las proyecciones se enriquecerá en corto tiempo con soluciones basadas en las nanotecnologías. En la actualidad varios países han concentrado gran parte de sus esfuerzos en el desarrollo de este campo, para dar una idea se puede citar por ejemplo, un artículo publicado en China Economic³⁰ que habla de una pintura que purifica el aire, con la cual serán pintadas las fachadas de los pabellones construidos para la Expo 2010 en China. Esta nueva pintura, desarrollada con los últimos avances nanotecnológicos, es un compuesto basado en óxido de titanio y conformado por nanopartículas, que cuando está expuesto al sol, al haber menos espacio entre las nanopartículas por su menor tamaño, puede descomponer los elementos más importantes causantes de la contaminación del aire, como son el formaldehído y el nitrato. Previsiblemente, se están explorando nuevas aplicaciones de la nueva sustancia como recubrimiento, entre ellas se cuenta que podría también utilizarse en aceras y otras obras públicas para lograr una mejor limpieza del aire. De igual manera podemos citar el caso de Ecology Coatings, una empresa norteamericana, que ha creado una familia de "sólidos líquidos" que se realizan a base de nanopartículas y se curan mediante la exposición por unos segundos a los rayos ultravioletas. El material presenta comparativamente con la pintura, varias ventajas como el tiempo de secado (3 seg.) y que crea un recubrimiento uniforme, además de eliminar gran parte de los costos relacionados con la aplicación de capas protectoras a productos como aparatos electrónicos o muebles. Cabe mencionar que el mercado estadounidense de recubrimientos, utilizados principalmente en las industrias mecánicas, comprendidas el automóvil, la aeronáutica y las máquinas herramientas, se estima en los 25 mil

³⁰ Fuente: http://www.euroresidentes.com/Blogs/avances_tecnologicos/2004/12/pinturas-fabricadas-connanotecnologia.htm

millones de dólares por año. Se prevé que en el primer decenio del siglo XXI un 2% de esta cifra (500 millones de dólares) corresponderá a recubrimientos basados en las nanotecnologías. Se trata de todos modos de un sector aplicativo que tendrá una notable expansión gracias también a una previsible reducción de los costos.

Frente a este panorama ¿dónde se encuentra México?

Estudios como el de prospectiva tecnológica industrial de México 2002-2015, reconoce este desarrollo explosivo que se ha dado en la ciencia y la tecnología de materiales a nivel global, específicamente en el sector de los “nuevos materiales”. Ámbito en el cuál los países más avanzados han concentrado su investigación en tres áreas:

- La obtención de nuevos materiales y la caracterización de los mismos.
- La mejora de los métodos de procesamiento tradicionales y
- La puesta a punto de nuevos procesos industriales

No obstante enfatiza que la prioridad para el país es la necesidad de mejora de los métodos de procesamiento en los materiales tradicionales, ya que actualmente la planta productiva se encuentra fuertemente orientada a este tipo de materiales, sin desconocer por otra parte, que es evidente que la obsolescencia observada a nivel general en los procesos de manufactura, impacta en la calidad y costos de los productos restándoles competitividad.

El riesgo para el país de no atender esta situación es el de sufrir un colapso en su mercado debido a que en el ámbito internacional la tendencia es a disminuir el consumo de materia prima. De ahí se desprende la urgencia de desarrollar tecnologías que en el ámbito de los materiales incorporen un mayor uso de conocimientos.

Este estudio también observa que el país cuenta con el potencial para producir materiales de mayor valor agregado para atender la demanda de las industrias de alta tecnología, por lo que el elemento a valorar es el enfoque orientado a cubrir las necesidades de esas industrias.

Convergencia entre las tendencias de Diseño, Producción y Materiales

Referente a lo expuesto anteriormente se puede percibir que existen puntos de convergencia entre las tendencias productivas, de materiales y de diseño. Por un lado encontramos que la preocupación por alcanzar una sustentabilidad de los procesos productivos en el sector industrial, se deriva de los requerimientos de nuevas legislaciones ambientales, de la demanda de calidad del mercado, del desarrollo de nuevas tecnologías menos contaminantes, del interés de las empresas por ofrecer un mayor valor agregado a sus clientes. Mientras que en el sector de desarrollo de materiales, se orienta a la búsqueda de hacer más eficientes las prestaciones de los mismos, tanto en su generación (menor consumo de energía y materia para su desarrollo), como en sus aplicaciones, bien sea que los productos en los que se utilicen adquieran un incremento de su vida útil o que disminuyan su impacto ambiental en la obsolescencia, entendido esto como una degradación más rápida del material o la posibilidad de reutilización a través del reciclaje.

En el diseño por su parte, es una consideración que se ha mantenido constante y que se incorpora en su proceso de proyectación. Sin embargo ante la situación actual de elevado consumo y el aumento de la cultura industrial de la obsolescencia programada, las nuevas tendencias se encuentran enfocadas en un sentido, a tener un conocimiento profundo del consumidor buscando que la actividad responda a necesidades más íntimas del individuo, que al deseo efímero dictado por modas, incidiendo en los hábitos de consumo, y de igual manera a una integración más amplia en la estructura empresarial, que no se limite únicamente al departamento de desarrollo de producto, es decir promover al diseño como instrumento de gestión.

El diseño asumido de este modo y considerando que su perfil le permite moverse entre las esferas industrial, de desarrollo tecnológico y social, puede avocarse a actuar como elemento integrador de estas esferas con miras a impulsar un crecimiento y desarrollo sustentable del aparato productivo, que sea entendido por el mercado. Como se puede observar a lo largo de la historia, el universo artificial incita a cambios en la dinámica cotidiana del individuo, por ello no es descabellado pensar que acciones locales en la disciplina se pueden ver reflejadas en los hábitos de consumo de la sociedad.

Un poco **de** historia **2**

de los recubrimientos
cerámicos

Históricamente, los productos cerámicos han sido duros, porosos y frágiles. Por eso el estudio de la cerámica ha consistido en el desarrollo de una gran extensión de métodos para mitigar estos problemas y para acentuar las potencialidades del material, así como ofrecer usos no tradicionales. La aplicación de recubrimientos cerámicos se cuenta entre estos métodos.

Los hallazgos más antiguos de recubrimientos cerámicos proceden de Anatolia y datan alrededor del 5000 a.C., siendo estos engobes, que al parecer fueron el método más utilizado antes de la aparición del vidriado entre el 3000 y 2000 a.C. Aunque en realidad, la vitrificación de la superficie de un objeto de cerámica por calentamiento a temperaturas más elevadas era conocida desde tiempo atrás, usándose principalmente con fines decorativos. El descubrimiento del esmalte o vidriado como material que podía aplicarse a posteriori sobre una superficie metálica o cerámica significó un gran paso en la historia de la cerámica. Así a lo largo de siglos se fueron desarrollando esmaltes pigmentados con fines de recubrimiento y decorativos en vajillas, mosaicos, etc. No obstante, puede decirse que el avance tecnológico en este campo fue lento hasta finales del siglo XIX e inicios del XX. Periodo en donde gracias al desarrollo tecnológico se da una explosión significativa de métodos de procesamiento y producción de materiales cerámicos para aplicaciones específicas, principalmente en campos como la óptica y electrónica entre otros.

2.1 Los recubrimientos cerámicos en la historia de la tecnología cerámica

Muchos materiales cerámicos fueron conocidos en el mundo antiguo. No hay duda que los recubrimientos acompañaron a la cerámica casi desde sus inicios con fines prácticos, ya que la cerámica cocida a temperaturas relativamente bajas que se obtenía en los hogares y hornos rudimentarios era porosa, a veces frágil y suplir estas falencias requirió desarrollar métodos que ayudaran a darle resistencia y hacerla impermeable, pero de igual manera estos métodos se emplearon con fines puramente decorativos.

Se obtenían diferentes acabados dependiendo del método, y aunque en principio los recubrimientos hayan sido de origen vegetal y cerámico, como en el caso que cita Cooper¹ de vasijas a las que se les aplicaba cuando aún estaban calientes del proceso de cocción, un “vidriado” vegetal que se conseguía haciendo hervir hojas y cortezas hasta obtener una solución espesa para otorgarles cierto grado de impermeabilidad. Fueron los cerámicos los que prevalecieron por las ventajas que ofrecían en cuanto a prestaciones, quizás por ello existen mayor cantidad de ejemplos documentados, principalmente de engobes², que el mismo Cooper cita como uno de los métodos más populares en épocas tempranas.

2.1.1 Los orígenes

Según el conocimiento que tenemos actualmente, la primera cerámica procede de Anatolia, la cual está relacionada con comunidades que habitaban cuevas a finales del periodo mesolítico y está datada por lo menos del 6500 a.C.³ Pese a que estas primeras cerámicas no estaban decoradas, fueron seguidas por el hallazgo en la misma zona de un grupo de cerámicas pintadas que proceden de alrededor del 5000 a.C. Lo más común entre ellas es la presencia de dibujos pintados con motivos geométricos con pigmento rojo sobre un engobe crema, donde los dibujos fueron realizados después de haber sometido las piezas al proceso de cocción.

¹Emmanuel Cooper, *Historia de la Cerámica*. Barcelona, Ed. CEAC, 1987. Pág.16.

²Ibidem. “El otro método más popular fue recubrir las superficies con un limo de arcilla fina, preparado quitando las partículas gruesas, tal como se utilizó por los griegos en su cerámica pintada roja y negra para decorarla, así como para hacer la superficie más lisa”. Pág. 16

³Ibidem. Pág.17.

→ Fig. 18 Vaso krater del periodo Micenico (siglo XIII A.C.) procedente de Siria Grecia continental o la costa de Anatolia. Con engobe crema sobre el cual se serigrafiaban las figuras dejando al descubierto la arcilla roja original al descubierto.

Fuente: Museo de Louvre.



En cuanto a los esmaltes, existen autores que sostienen que estos se usaban en Babilonia desde el 3000 a.C., pasando luego a Egipto, y que seguramente se descubrieron cuando se calentaban mezclas de bajo punto de fusión, generalmente con alto contenido de feldespatos y con algún óxido metálico que les daba color. Sin embargo otros⁴ sostienen que el origen de los esmaltes cerámicos se halla íntimamente ligado a la invención de la fundición del cobre metálico, a partir de minerales compuestos del mismo, que se realizaba para obtener bronce. Esta visión se apoya en el hecho de que el esmalte más antiguo arqueológicamente atestiguado es un vidriado alcalino, compuesto a base de carbonato de sodio o bórax más cuarzo, coloreado con carbonato de cobre, y por el contrario, no aparecen esmaltes coloreados con ocre u óxidos de hierro por ejemplo, mucho más comunes y fáciles de encontrar en todas partes.

En ciertos lugares la aparición del esmalte sigue de cerca la primera aparición del cobre. Uno de estos lugares es Egipto, en donde aparecen los esmaltes de sodio-cobre a principios de la era dinástica hacia el 3000 a.C. Se trata de pequeños objetos de esteatita recubiertos con este vidriado, que en principio eran cuentas, amuletos, escarabajos, pero alrededor del 2000 a.C. su aplicación pasa a piezas de mayor tamaño como esculturas. No obstante, solo hacia el 2600 a.C. aparecen en Egipto revestimientos para uso arquitectónico, con esmaltes color turquesas o azulados.

Sin embargo, pese a su descubrimiento, el uso del esmalte cerámico no se generaliza sino hasta el 2000 a.C., fecha en que se extiende el uso del esmalte de plomo, y puede decirse que aún de manera limitada, pues sus aplicaciones como la vajilla esmaltada por ejemplo, se destinaban al uso ritual o de las clases privilegiadas de la sociedad.

2.1.2. Desarrollo

Los descubrimientos en Mesopotamia durante el período que comprende aproximadamente del 2000 al 1000 a.C., llevaron finalmente a la producción de un vidriado adecuado que se utilizó inicialmente en ladrillos y más tarde en vasijas. Alrededor del 2000 a.C., se hizo un verdadero vidrio, fundiendo juntos arena, cuarzo y fundentes alcalinos y aunque no fue trabajado sino en estado solidó fue un descubrimiento importante, que dio pie a que durante el periodo 2000 a 1000 a.C. se produjera un vidrio que podía trabajarse mientras aún estaba caliente y fluido. En esta

⁴ Jorge Fernández Chiti. *Historia de la Cerámica*, Buenos Aires, Argentina, Ed. Taller Condorhuasi, 1975. Pág. 95.

→ Fig. 19 Vaso cerámico egipcio con vidriado azulado de Ramses II del periodo 1550-1069 A.C
Fuente: Museo de Louvre.



etapa se descubrió también que podía colorearse por la adición de óxidos metálicos, los cuales se utilizaron más adelante para colorear los vidriados.

En este punto, por primera vez se añadía plomo a la frita de vidrio y se encontró que no solo aumentaba su brillo y facilitaba su trabajo sino que también reducía la contracción cuando se enfriaba, lo que significaba que, cuando se molía la frita de vidrio, podía utilizarse como base para el vidriado y que por primera vez el vidriado era posible, pues la principal dificultad en la utilización de vidriados conteniendo álcalis, tal como la sosa, como fundente para la arena, había sido la importante contracción del vidrio líquido al enfriarse, impidiendo ello que el vidriado permaneciera sobre la superficie de la arcilla, descascarándose. A partir del descubrimiento de las ventajas del plomo, en Mesopotamia parecen haber desarrollado un vidriado de plomo adecuado para su uso en cerámica. Prueba de ello, es una tablilla de arcilla datada del 1700 a.C. que contiene la fórmula de un esmalte (color verde) de plomo y cromo, la cual fue escrita por un maestro de Babilonia. Así mismo, en el norte de Siria se han encontrado vasijas con un vidriado verde-azulado, datadas del periodo de 1700 a 1400 a.C.

De igual manera, es necesario mencionar que se cree que por estas fechas en Egipto el uso del vidriado se hizo extensivo a superficies metálicas en productos de joyería donde los metales recubiertos eran oro, plata y cobre⁵, aunque los objetos esmaltados más antiguos que se conocen fueron fabricados en Chipre alrededor del 1300 a.C., y son seis anillos de oro descubiertos en una tumba Micena en Kouklia los cuales estaban decorados con varias capas vítreas coloreadas y fusionadas al oro⁶.

Ya inventadas las técnicas de esmaltar, vinieron consecuentemente su desarrollo y perfeccionamiento. A través de la experimentación se identificaron los opacificantes como el estaño, antimonio y arsénico, es decir, las sustancias que los hacían lechosos o blancos dependiendo del porcentaje adicionado. De esta manera nacieron diferentes fórmulas, pero siempre partiendo de dos tipos básicos de fundente, el alcalino y el plúmbico.

En épocas posteriores los chinos lograron un asombroso progreso en este campo. Perfeccionando las técnicas de elaboración de pastas y formulación de esmaltes. Su trabajo llevó a un nuevo conocimiento en esta materia, como por ejemplo la amplia variedad de colores obtenida por el uso

⁵Frank A. Kuchinski. "Corrosion resistant tic films by enamelling", en *Ceramics Films and Coatings*. Edited by John B. Watchman and Richard Haber. New Jersey, U.S.A., Noyes Publications, 1993. Págs. 77-129.

⁶Institute of Vitreous Enamellers. "A Concise History of Enamel". <http://www.ive.org.uk/faq/history.html>

de diferentes óxidos y sus respectivos porcentajes. Por citar algunos ejemplos, cobalto para azules, hierro para dorados, plomo para marrones y manganeso para violáceos y rosas.

Avanzando un poco en la historia, durante la Edad Media europea los adelantos técnicos provinieron fundamentalmente del mundo árabe. La expansión islámica difundió en todo el mundo conocido las cerámicas de Mesopotamia, Egipto, Siria, Al-Andalus (hoy España) y sobre todo de Persia la más desarrollada técnica y artísticamente. Persia fue entre los siglos VIII y XII un centro cerámico de alto nivel, conectado con el Cercano Oriente hacia el oeste y con India y China hacia el este. Con estos últimos los persas mantuvieron un importante intercambio de objetos y técnicas, inclusive la porcelana china parece haber tenido imitadores en Persia. En el Imperio Romano de Oriente, particularmente en Bizancio hubo un gran auge de la cerámica, lo que trajo notables desarrollos en las técnicas de esmaltado sobre metal, y también sobre vidrio o arcilla cocida, en particular la del mosaico.

El auge de la cerámica moderna comienza en el Renacimiento, en Italia y posteriormente se expande al resto de Europa. En 1400 d.C. en Alemania surge el vidriado a la sal sobre gres⁷. Como la arcilla de Renania se caracterizaba por tener un alto porcentaje de sílice, reaccionaba bien con la sal que se arrojaba al horno casi al final del proceso de cocción. Se descubrió que con una temperatura alrededor de 1200° C la sal se evaporaba, tras lo cual el sodio reaccionaba con la sílice de la superficie produciendo un barniz simple.

Aunque las composiciones y los métodos de recubrimiento cambiaron a lo largo de estos siglos, puede decirse que en el caso de las superficies metálicas el propósito de recubrirlas con fines decorativos no cambió hasta la revolución industrial, periodo en el que se inició el recubrimiento de nuevos metales. Siendo principalmente los metales ferrosos incluidos el hierro colado y en láminas los que se recubrieron en el siglo dieciocho.

En 1761 por ejemplo, J. Gottlieb Justi describió un método para esmaltar recipientes de hierro y para 1764 su aplicación comercial ya había iniciado⁸. Este recubrimiento denominado esmaltado porcelanizado se obtenía calentado el hierro al rojo vivo y aplicando una capa del material

⁷David Hamilton. *Alfarería y Cerámica*. Barcelona, Ed. CEAC, 1985. Pág. 13

⁸Frank A. Kuchinski. "Corrosion resistant tic films by enamelling", en *Ceramics Films and Coatings*. Edited by John B. Watchman and Richard Haber. New Jersey, U.S.A., Noyes Publications, 1993. Págs. 78 y 79 *et passim*.

cerámico en polvo, tras lo cual se sometía la pieza a un segundo calentamiento para fundir el polvo, repitiendo el proceso si se deseaba incrementar el espesor del recubrimiento. Otros usos comerciales tempranos incluyeron la producción de recipientes de cocina en Alemania alrededor de 1840 y láminas de hierro esmaltadas en Alemania y Austria en 1850.

Antes de 1890, la utilidad de los óxidos de cobalto y níquel en la composición del esmalte para mejorar la adherencia a la superficie metálica ya era conocida. De esta manera, al terminar el siglo era claro que el esmaltado porcelanizado había evolucionado del arte del orfebre hacia una nueva tecnología.

A finales del siglo XIX y en la primera mitad del XX este tema atrajo a científicos de todo el mundo, quienes en esfuerzos por reunir intereses comunes fundan en América el "Porcelain Enamel Institute" en 1930, que se convirtió en el primer foro técnico dedicado a los esmaltes porcelanizados. El cual fue seguido por la fundación en 1934 del "Institute of Vitreous Enamellers" en Gran Bretaña. Como resultado de estos institutos y otra serie de foros técnicos, se generó durante la década de los 30's una cantidad considerable de literatura respecto a los principios del esmaltado porcelanizado, que hizo énfasis en la naturaleza de los esmaltados en relación con su aplicación sobre hierro fundido y láminas de acero, solo una pequeña parte se dedicó a otros metales.

En este periodo es cuando se considera que se produce la revolución industrial de los materiales cerámicos, debido a las importantes innovaciones llevadas a cabo en los procesos de fabricación. En muchos casos fueron progresos graduales en donde no pueden señalarse fechas decisivas, pero en otros se trataron de grandes saltos. Los adelantos en ingeniería fueron acompañados por una profundización de los conocimientos y la aplicación del método científico a la producción. Aquí es necesario mencionar los trabajos de Hermann Seger, químico alemán cuyas investigaciones permitieron racionalizar la formulación de vidriados y esmaltes, inventando un método para su cálculo, basado en el concepto de mol, el cual aún se encuentra en uso.

No obstante, solo hasta la década de los años setenta se dedicaron grandes esfuerzos para el desarrollo de nuevas técnicas de recubrimiento cerámico, especialmente de las capas finas con prácticamente el mismo objetivo: conseguir la mayor dureza superficial posible. La relación entre la dureza y la resistencia al desgaste focalizó las investigaciones en la obtención de compuestos cerámicos, lo que derivó en que a principios de los años ochenta dada la diversificación de estas

técnicas y el desarrollo de nuevos compuestos, algunas de ellas se escalaran rápidamente a nivel industrial.

Es en este momento -cuando la ingeniería de superficies se precisa como disciplina técnica independiente y aparecen las primeras revistas especializadas del sector- que puede decirse que nos encontramos en una época de auge de los materiales cerámicos, con una cantidad y variedad sorprendente de aplicaciones. Como consecuencia de la Revolución científico-técnica generada desde mediados del siglo XX, tenemos la constante aparición de una multitud de procesos y productos nuevos, como son los materiales cerámicos avanzados, los materiales cerámicos compuestos y las nuevas técnicas de deposición de recubrimientos.

Este fenómeno en el presente siglo es tan acelerado que se habla de una sobreoferta al no ser capaz la industria de utilizar todos los nuevos desarrollos. No obstante, esta situación también obedece a que en la actualidad el equipamiento para los nuevos procesos de fabricación está desarrollado principalmente para experimentación en laboratorio y para aplicaciones en áreas industriales altamente especializadas. Porque, aunque a nivel de investigación en la academia y en laboratorios de investigación y desarrollo existe un progreso considerable en este campo, en lo referente a la inserción de estas técnicas a escala industrial apenas se está logrando establecer criterios para el manejo de las variables de proceso de modo que se tenga control sobre el resultado, es decir, sobre las características de los recubrimientos depositados.

Aún así, los materiales cerámicos y específicamente en su aplicación como capas delgadas se han convertido en la base del desarrollo de nuevas tecnologías y en insumos de alto valor estratégico para muchos campos como la microelectrónica, la biotecnología, los vehículos espaciales, entre otros.

Cerámica

3

Materiales

– Y Cerámicos Avanzados

Los cambios suscitados por la ciencia y la tecnología a menudo llegan a nosotros a través de las prestaciones de los objetos de nuestro entorno artificial, y rara vez conocemos la incidencia que tienen en los diferentes niveles de conocimiento y los cambios que en ellos suscitan.

De tal manera, el concepto que en el común se tiene de la cerámica dista mucho del que tienen sobre ella en áreas especializadas del conocimiento, en principio porque esta evolución de las definiciones es un consenso realizado por un grupo reducido de personas que se avoca al estudio de un campo en particular, ante la necesidad de explicar los cambios que se están dando y que bajo la concepción presente son difíciles de clasificar, cuantificar y cualificar. Pero también, porque los materiales cerámicos a pesar de ser fabricados y utilizados por el hombre desde épocas prehistóricas, sólo en las últimas décadas se ha logrado tener un conocimiento más específico sobre ellos, lo que ha derivado en el surgimiento de nuevos procesos y productos que amplían el campo tradicional de los mismos.

Por ello, al entrar en un campo de conocimiento nuevo es necesario saber a qué hace referencia cada término, para poder hablar un lenguaje común. Siendo conveniente esbozar como ha sido la evolución de estos conceptos para cuando en próximos capítulos se hable de las nuevas tecnologías de recubrimiento se entienda por qué en la investigación de materiales al hacer referencia a cerámicos realmente se está hablando de compuestos cerámicos o de cerámicos avanzados.

3.1 Evolución de los conceptos de Cerámica, Materiales Cerámicos y Cerámicos Avanzados

La palabra **cerámica** deriva del vocablo griego *keramos*, cuya raíz sánscrita significa *quemar o cosa quemada* indicando de esta manera que las propiedades deseables de estos materiales generalmente se alcanzan después de un tratamiento térmico a alta temperatura que se denomina cocción. En su sentido estricto se refiere a la arcilla en todas sus formas. Sin embargo, el uso moderno de este término no se avoca a este sentido ya que se ha extendido de tal manera su significado que no existe consenso en su definición, principalmente en campos de aplicación específicos.

Algunos autores como Eduardo Mari en su libro *los materiales cerámicos*, hacen énfasis en que desde el punto de vista lingüístico la palabra **cerámica** encierra mucha información pero poco significado. En consecuencia, utilizada de manera aislada no es útil y puede llevar a malos entendidos. Si a ello le sumamos el hecho que al estar asociada a procesos productivos y no a fenómenos u objetos de la naturaleza, su contenido varía con el tiempo, así se explica un poco el por qué no existe una definición absoluta de la misma. Con relación a lo anterior, en áreas específicas como la ingeniería de materiales y la ingeniería de superficies por ejemplo, ha resultado más conveniente entonces, desde una óptica general pero que ayude a la diferenciación, hablar de **materiales cerámicos**.

No obstante, dentro del mismo concepto de **materiales cerámicos**, también existen divergencias que tienen que ver más con la inclusión o no de ciertos materiales dentro del grupo. De esta manera, algunas definiciones como las de Kingery¹ y Norton²

¹“Definimos la cerámica como el arte y la ciencia de fabricar y utilizar artículos sólidos que tienen como componente esencial, y están compuestos en su mayor parte por ellos, a materiales inorgánicos no metálicos.”

²“El campo de la cerámica comprende fundamentalmente el tratamiento de minerales no metálicos por diversos procesos, incluyendo el calentamiento para producir artículos con propiedades estéticas o utilitarias”

incluyen a todos los materiales inorgánicos no metálicos. Lo que envuelve no solo materiales de alfarería, porcelana, refractarios, abrasivos, esmaltes y cementos sino también materiales magnéticos no metálicos, ferroeléctricos, vidrios cerámicos y otros que no existían hace poco. Otras definiciones por el contrario, como la de Singer³ excluyen a los vidrios, los vidriados y los esmaltes, y las fases amorfas en general. Mientras que otras con un punto de vista más incluyente, lo hacen extensivo también a los óxidos metálicos⁴, como la de Van Vlack “los materiales cerámicos comprenden fases que están compuestas de elementos metálicos y no metálicos”, abarcando así, los materiales cerámicos tradicionales y avanzados, los vidrios, los refractarios, los cementos y muchos otros cuyo número crece a diario.

Respecto a la inclusión de los vidrios dentro de los materiales cerámicos, es un tema que siempre se ha discutido sobre todo respecto a lo que sucede en aplicaciones específicas como son los vidriados o esmaltados en el campo de los recubrimientos donde históricamente se han considerado materiales cerámicos. Actualmente se puede decir que no hay una línea divisoria absoluta entre vidrios y cerámicas, ya que éstas contienen fases vítreas que ayudan a su consolidación o modifican sus propiedades e igualmente los vidrios pueden contener fases cristalinas no deseadas o bien generadas intencionalmente para conferirles ciertas características, como en el caso de los vidrios cerámicos por ejemplo. Por otra parte, en lo que coinciden varias definiciones es que una característica fundamental en la

³“Los cerámicos son sólidos cristalinos obtenidos a partir de materiales inorganicos.”

⁴Así lo manifestó el doctor Luís Miguel Apatiga Castro, investigador del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM al ofrecer la conferencia *Ciencia e ingeniería de recubrimientos cerámicos producidos a partir de compuestos líquidos*. Gaceta UNAM comunidad, edición 10 de octubre de 2005. Pág. 5

fabricación de los materiales cerámicos, es la existencia de un tratamiento térmico en alguna de las etapas del proceso, salvando excepciones como el caso de los cementos.

Otra dificultad que surge a la hora de definirlos radica en los distintos criterios de clasificación que pueden aplicarse. Al margen de esta discusión, lo que debe recordarse es que en muchos materiales están presentes elementos que sin ser los componentes principales juegan un papel importante y a veces decisivo en sus propiedades. Por tanto, apelando a su acepción más unificadora, los materiales cerámicos son compuestos químicos constituidos por metales y no metales (óxidos, nitruros, carburos, etc.) que incluyen minerales de arcilla, cementos y vidrios⁵.

En este punto es necesario mencionar que hoy en día en la ciencia de materiales existe una marcada tendencia hacia la producción de materiales compuestos como los cermets (materiales metal-cerámicos) o los biopolímeros, situación que desdibuja los límites tradicionalmente establecidos entre grupos de materiales y promueve esta falta de consenso respecto a las definiciones. Por ello en la actualidad es común hacer diferenciación entre los mismos materiales cerámicos, ante la necesidad de referirse a un grupo con características determinadas y en razón a esto la literatura especializada los divide generalmente en dos grupos:

- **Materiales cerámicos tradicionales**
- **Materiales cerámicos avanzados o nuevos cerámicos**

⁵Solomon Musikant. "What every engineer should know about ceramics". Ed. Marcel Dekker Inc., 1991. Pág. 16

Materiales cerámicos tradicionales

En este grupo se abarca los materiales fabricados básicamente con materias primas naturales poco refinadas, que por lo general se componen de una mezcla de óxidos y arcillas, y cuyo proceso de aglutinamiento se realiza a altas temperaturas.

Sus principales aplicaciones están en la industria de la construcción y la industria alfarera, tales como recipientes y productos de barro, vajillas, porcelanas, tejas, ladrillos y aisladores eléctricos.

Materiales cerámicos avanzados

Este grupo hace referencia a materiales no tradicionales fabricados a partir de nuevas materias primas, principalmente desarrollados en los últimos setenta años⁶. Por lo general, son productos químicos muy puros y con características granulométricas muy acotadas obtenidos mediante procesos -que emergieron a partir de los sesentas y que han sido perfeccionados en las últimas dos décadas- que permiten el desarrollo de productos mejorados o nuevos, con propiedades definidas dentro de límites muy estrictos y con mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos, a altas temperaturas y/o a la corrosión; o con propiedades magnéticas, ópticas o eléctricas específicas.

Entre los materiales que se incluyen en este grupo se destaca la llamada electrocerámica, los materiales biocerámicos, los materiales cerámicos estructurales avanzados y los materiales cerámicos compuestos. Dentro de los cerámicos avanzados que se aplican como recubrimiento se incluyen los carburos, boruros, nitruros y los óxidos, que son utilizados por sus propiedades tanto mecánicas como físicas a altas temperaturas.

⁶ Cinvestav. Maestría en Cerámica.

A diferencia de los materiales cerámicos tradicionales que son los que se utilizan masivamente en construcción, fabricación de vajillas y aplicaciones decorativas, los materiales cerámicos avanzados se encuentran destinados principalmente a aplicaciones muy específicas en las tecnologías de punta como la microelectrónica, vehículos de transporte de alta velocidad, vehículos espaciales, la industria nuclear, etc. Hasta el punto que sin ellas, estas tecnologías no podrían haber obtenido el desarrollo actual. No obstante, es necesario mencionar que a la fecha ya se han introducido para usos convencionales tales como recubrimientos para herramientas de corte, en el sector automotriz, instrumental quirúrgico y recientemente como acabado decorativo de cerámicas para la construcción.

En algunos casos este término también es aplicado a materiales cerámicos tradicionales fabricados con nuevas tecnologías y a materiales cerámicos tradicionales recubiertos con cerámicos avanzados, aunque su empleo no es plenamente aceptado.

3.2 Características generales de los materiales cerámicos

Dada la gran variedad en su composición y estructuras los materiales cerámicos presentan una amplitud notable en los valores de sus propiedades, en mayor medida que otros materiales. De igual manera por el grado de desarrollo existente en la ingeniería de materiales, han surgido nuevos materiales cerámicos que contravienen las propiedades y comportamiento adjudicados usualmente al grupo cerámico. Sin embargo, pueden identificarse características generales del grupo como son:

Térmicas:

- Son capaces de soportar altas temperaturas.
- Poseen baja conductividad térmica por lo que son empleados como aislantes.
- Su bajo coeficiente de dilatación los hace particularmente resistentes a los choques térmicos.
- Son resistentes al choque térmico -respecto a esta propiedad es importante la velocidad con que se produce el cambio de temperatura, dada su baja conductividad térmica. Una disminución brusca de la temperatura es más peligrosa que un aumento brusco de la misma⁷.

Mecánicas

- Son frágiles dado que tienden a ser porosos.
- Presentan elevada resistencia a la compresión.
- En términos generales son duros. Siendo resistentes al desgaste, al rayado, a la indentación y a la abrasión.

Eléctricas (Presentan una amplia gama de cualidades eléctricas) Son tradicionalmente considerados como dieléctricos⁸, con buenas propiedades aislantes. Sin embargo, en la actualidad se fabrican cerámicas que presentan todo tipo de conducción eléctrica como los semiconductores⁹ y superconductores¹⁰.

Resistencia a los agentes químicos

⁷ Puesto que como lo primero que se enfría es la superficie externa, ésta tiende a contraerse, lo cual es impedido por las capas subyacentes, creándose tensiones de tracción sobre las fisuras. El efecto de choque térmico solo se presenta cuando hay un cambio instantáneo de la temperatura y desaparece cuando se iguala la misma en toda la masa; no se presenta si la temperatura varía de manera gradual.

⁸ Se denominan dieléctricos a los materiales que no conducen la electricidad.

⁹ Son materiales que tienen la capacidad de comportarse como conductor o como aislante dependiendo del campo eléctrico en el que se encuentre.

¹⁰ Son materiales que tienen la capacidad intrínseca para conducir corriente eléctrica, con resistencia y pérdida de energía cercanas a cero en determinadas condiciones. La superconductividad es una fase de ciertos materiales que normalmente se da a bajas temperaturas.

La estructura atómica de los materiales cerámicos es la responsable de su gran estabilidad química, que se manifiesta en su resistencia a la degradación ambiental y a los agentes químicos.

Las aplicaciones de los diferentes tipos de materiales dependen de su estructura y de los agentes químicos a los que vayan a ser sometidos.

Recubrimientos

En el uso como recubrimientos las características más apreciadas son el aislamiento térmico y que a elevada temperatura y en ambientes agresivos, son más resistentes que los metales y los polímeros, debido sustancialmente a una estructura atómica formada por enlaces híbridos iónico-covalentes que posibilitan una gran estabilidad de sus electrones y les confieren propiedades específicas como la dureza, la rigidez y un elevado punto de fusión.

Los recubrimientos

4

Cerámicos

El estado de la superficie de un material tiene una importancia decisiva en su durabilidad frente a los ataques de los agentes externos, es decir, en sus propiedades mecánicas y químicas; así mismo juega un papel de suma importancia en todos los procesos de adsorción¹, adhesión, fricción, mojado, como también en las propiedades ópticas y eléctricas. Por ello, la intención de modificar y controlar sus propiedades, para mejorarlas frente a un determinado uso, hacerlas reproducibles y protegerlas de alteraciones, ha estado en la mira tanto de la industria como de la ciencia, desde hace mucho tiempo. Y uno de los caminos recorridos para lograr estas modificaciones de la superficie, es la aplicación de recubrimientos, entre ellos con materiales cerámicos.

¹ Atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo.

4.1

Los Recubrimientos Cerámicos

4.1.1 ¿Qué es y para qué sirve un recubrimiento?

Un recubrimiento es la superposición de un material a otro material de diferente naturaleza. Normalmente se aplican para modificar ciertas propiedades superficiales de tal manera que mejoren las del material base, aunque hoy en día por la tecnología disponible puede decirse también, que permiten la introducción de propiedades totalmente nuevas.

4.1.2 ¿Por qué se aplica un recubrimiento?

Porque modifican los requerimientos mecánicos, físicos, químicos y estéticos de la superficie del material, tales como²:

- Reflectividad y Color
- Resistencia a la Corrosión
- Resistencia al Desgaste
- Barreras Térmicas
- Reacciones Catalíticas
- Biocompatibilidad

En cuanto a las propiedades mecánicas de un material recubierto, algunas pueden obtenerse independientemente de la superficie, entre ellas:

- Fatiga o Tenacidad de Fractura
- Resistencia Mecánica
- Dureza. (Esta es una de las propiedades más estudiadas en los recubrimientos cerámicos.)

4.1.3 Propiedades de los recubrimientos por el tipo de enlace³:

Uno de los aspectos sobresalientes de los materiales cerámicos como se menciona en el capítulo anterior, es la estabilidad química que proviene de su estructura atómica, y por ende de sus

² Frank A. Kuchinski. "Corrosion resistant tic films by enamelling", en *Ceramics Films and Coatings*. Edited by John B. Watchman and Richard Haber. New Jersey, U.S.A., Noyes Publications, 1993. Pág. 79.

³ J.M. Albella. *Preparación y Caracterización de Recubrimientos y Láminas Delgadas. Tema 16*. Madrid, Departamento de Física e Ingeniería de Superficies del ICMM, 2005. Pág.7

enlaces. De este modo, dependiendo del tipo y número de enlaces que presente el recubrimiento tendrá determinadas características específicas, como:

Materiales con enlace covalente:

- Energía de enlace elevada
- Baja densidad y expansión térmica
- Elevada dureza y estabilidad química
- Poca adherencia
- Resistencia y temperatura de fusión alta

Ejemplos: Nitruro de Boro, Carburo de Silicio, Carbono tipo diamante

Materiales con enlace iónico:

- Menor energía de enlace
- Estabilidad química un poco más baja que los de tipo covalente
- Resistencia a la oxidación
- Buena adherencia sobre sustratos metálicos
- Conductividad eléctrica baja

Ejemplos: Óxido de Silicio, Óxido de Aluminio, Óxido de Zirconio

Materiales con enlace tipo metálico:

- Tienen mezcla de enlaces entre iónico y covalente
- Dureza elevada y buena estabilidad química
- Buena adherencia
- Poseen características metálicas como brillo metálico, alta conductividad, etc.

Ejemplos: Nitruro y Carburo de Titanio, Nitruro de Zirconio, Carburo de Cromo

4.1.4 Evolución de los recubrimientos cerámicos

Entre las décadas de los setenta y los ochenta cuando aparecen equipos con mejor resolución y mayor alcance para la caracterización de materiales, y cuando la ingeniería de superficies se estructura como disciplina técnica independiente, apareciendo las primeras revistas especializadas del sector, es cuando comienzan a dedicarse grandes esfuerzos al estudio y desarrollo de nuevas

técnicas para el depósito de capas cerámicas, con el ánimo de lograr el depósito de capas más finas que las convencionales (gruesas), las cuales se encontraban ya entre unas decenas de micras en adelante, pero a su vez lograr la mayor dureza superficial posible. Por ello la relación entre dureza superficial y desgaste focalizó las investigaciones destinadas al desarrollo de nuevos materiales cerámicos y también al de recubrimientos. Situación que derivó en la tendencia hacia la formación de compuestos en estos dos campos, dado que en el transcurso de las investigaciones se vio que un solo material no podía cumplir con todos los requerimientos.

Como es bien sabido la aplicación de recubrimientos sobre una superficie permite jugar, como en un material compuesto, con las propiedades de la capa y del material base. En esta situación las propiedades relacionadas con el desgaste generalmente se atribuyen al recubrimiento mientras que las propiedades mecánicas las aporta el sustrato. Esta idea no es nueva, pues los tratamientos termoquímicos convencionales como nitruración, boruración y otros, ya vienen consiguiendo estos propósitos a base de difundir en el sustrato elementos como nitrógeno y boro. No obstante, dado el incremento en el grado de exigencia para los recubrimientos en el uso, esto no es suficiente y debió afianzarse a través de la composición de los recubrimientos y de la estructura de los mismos, con el uso de materiales compuestos y con la generación de recubrimientos graduales o multicapa.

Por otra parte, estudios más exhaustivos de los mecanismos de desgaste han llevado a la generación de capas con bajo coeficiente de rozamiento, diversificando las líneas de estudio antes concentradas en la obtención de alta dureza. En razón a lo anterior, las investigaciones que se están llevando a la fecha están basadas en la obtención de propiedades combinadas como tenacidad, coeficiente de fricción, dureza y por otro lado a la mejora de propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas y de resistencia a la corrosión de los recubrimientos cerámicos. De ahí se deriva que constantemente estén emergiendo técnicas de recubrimiento más especializadas, que manejan los procesos de deposición a escalas cada vez más reducidas. En este campo la tendencia hacia la miniaturización es evidente.

Ante el nuevo panorama visto anteriormente, planteado por el desarrollo tecnológico para los materiales y recubrimientos cerámicos en sus diferentes formas, se ha hecho necesario establecer criterios de clasificación para cada una ellas. En el caso de los recubrimientos, existen dos clasificaciones derivadas de esta realidad, la primera es la realizada por su espesor y la segunda por su estructura y composición.

La primera obedece a la escala en que las nuevas técnicas permiten trabajar estos materiales, ya que en el paso de micras a nanómetros, se ha encontrado que el comportamiento del material varía significativamente incidiendo en las propiedades del recubrimiento. Mientras que la segunda surge de las nuevas posibilidades estructurales y de composición del recubrimiento que ofrecen las actuales técnicas de deposición, lo que ha significado el pasar de recubrimientos homogéneos de una sola capa a un espectro más amplio de recubrimientos que tiende tanto hacia los materiales compuestos como a las estructuras compuestas.

4.2.1 Recubrimientos cerámicos según espesor: Las Capas

Las capas cerámicas son consideradas hoy en día una clase especial de recubrimiento cerámico en su forma y su preparación. Así mismo un grupo extenso de recubrimientos que tienen composiciones y características diversas, incluyendo aquellos basados en materiales cerámicos avanzados como alúmina, alúmina-magnesia, óxido de cromo, hafnio, silicón, carburos de silicio, titanio y zirconio.

Las capas cerámicas han alcanzado su máximo desarrollo en áreas como la microelectrónica y la optoelectrónica, caracterizadas por trabajar elementos de dimensiones cada vez más reducidas y con determinado tipo de materiales, lo que ha derivado en dos fenómenos: primero, que dada la escala trabajada en estas áreas, el grupo de las capas delgadas es quien concentra el mayor interés; y segundo, que se apliquen generalmente sobre metal, aleaciones metálicas y componentes cerámicos.

De igual manera, como habitualmente son empleadas en usos que requieren resistencia al desgaste, a la corrosión y/o a temperaturas elevadas, su aplicación se ha extendido a otras áreas que demandan requerimientos similares por ejemplo, en el área de protección de metales se

emplean como recubrimientos anticorrosivos, en equipamiento y piezas mecánicas como recubrimientos duros contra el desgaste, en el desarrollo de cables superconductores como recubrimientos multicapas con propiedades magnéticas y superconductoras, dejando un amplio campo para explorar nuevas aplicaciones en otras áreas.

Otro punto importante a señalar en referencia a las capas es el crecimiento paralelo de técnicas físico-químicas de caracterización como espectroscopias de electrones y microscopía de túnel entre otras, que ha permitido conocer a detalle la composición y estructura de las capas cerámicas obtenidas después de la deposición, generando un perfeccionamiento continuo tanto de las técnicas de deposición como de los materiales utilizados en ellas.

Las capas cerámicas se dividen principalmente en dos grandes grupos:

- Capas Delgadas
- Capas Gruesas

4.2.1.1 Películas o capas gruesas (Thick Films)

Esta clase de capas son las que conocemos comúnmente como barnices, esmaltados, pinturas obtenidas por procesos tradicionales como aspersion, inmersión y algunas más recientes como el rociado térmico, las cuales se caracterizan por tener espesores mayores a 20 micras en adelante.

4.2.1.2 Películas o capas delgadas (Thin Solid Films)

Son recubrimientos muy finos depositados sobre un material base o sustrato por la adición continua de átomos o moléculas, lo cual se logra a través de técnicas de deposición químicas (sol-gel y CVD) y físicas (PVD). Aunque el término no tiene una definición precisa, en general se refiere a capas cuyo espesor va del orden de nanómetros hasta unas cuantas micras, y normalmente no se aplica a recubrimientos como pinturas o barnices, que suelen ser mucho más gruesos.

Tienen aplicaciones variables dependiendo las propiedades básicas del material que forma el recubrimiento. Una de sus aplicaciones más comunes es en la microelectrónica, lo que ha permitido minimizar el tamaño de los computadores e incrementar la información almacenada en los discos duros. También son muy útiles como barreras protectoras ya sea contra agentes corrosivos o para evitar el desgaste de las herramientas o partes de automóviles o aviones. Entre

los usos comerciales más conocidos se encuentran las películas anti-reflejantes en nuestros anteojos, filtros UV y protectores contra rayaduras.

4.2.2.1 Características generales de las capas delgadas

Dado el exiguo espesor que poseen estas capas, existen una serie de características básicas que deben tener:

a) Ser químicamente estables en el entorno que van a usarse, de lo contrario si comienza a reaccionar con los agentes externos sus propiedades se modificarán, afectando las del sustrato también.

b) Tener baja densidad de imperfecciones, ya que entre mayor sea su número mayor la incidencia en las propiedades del recubrimiento, aumentando también el riesgo de que este colapse por ahí.

c) Tener un espesor uniforme, eso garantiza que el recubrimiento tenga una deformación semejante frente a los esfuerzos, evitando que se deteriore, fracture y desprenda posteriormente.

d) Adherirse bien a la superficie que recubre (el sustrato), ya que la capa es inherentemente frágil y depende de esta para su apoyo estructural. De lo contrario el recubrimiento se desprenderá fácilmente.

Esta última característica depende en gran medida de las fuerzas de unión existentes entre la capa y el sustrato, que pueden ser de naturaleza química o física. Es decir, en la primera es una reacción química en la superficie la que conecta la capa al material subyacente. Por ejemplo, cuando un óxido metálico se deposita en vidrio, las redes del óxido metálico y del vidrio se combinan en la interfaz para formar una zona delgada de composición intermedia. En estos casos “las energías de enlace entre la película y el sustrato son de la misma magnitud que los enlaces químicos, del orden de 250 a 400 kJ / mol”⁴. Por el contrario, si la unión entre la película y el sustrato es de naturaleza física se basa únicamente en fuerzas de atracción intermoleculares de

⁴ Dra. Sandra Rodil. Entrevista personal. Instituto de Materiales UNAM. México. Noviembre de 2006.

Van der Waals⁵ y en las fuerzas electrostáticas, en cuyo caso las energías que unen la película al sustrato pueden ser del orden de 50 a 100 kJ / mol⁶. Por ello, las películas en las que sólo hay uniones de este tipo no son tan fuertes.

Además de estas características generales, podrían requerirse propiedades especiales para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, puede requerirse que la capa sea aislante o semiconductora, o que posea propiedades ópticas o magnéticas especiales.

4.2.1.2.1 Formación de las capas delgadas

Estas capas se forman haciendo llegar átomos o moléculas de un material sobre la superficie a recubrir. Estos átomos y moléculas se obtienen utilizando un plasma, es decir, un gas ionizado en el cual se han separado moléculas del gas en un conjunto de electrones e iones. Los átomos al aterrizar sobre el sustrato quedan condensados y adheridos. Para ello, existen en la actualidad varias técnicas denominadas técnicas de deposición, de las cuales se hablará en el capítulo 5.

⁵ Como consecuencia de la estructura que presentan las moléculas, se producen entre ellas diferentes fuerzas de atracción. Estas fuerzas son de distinta intensidad y mantienen más o menos unidas a las moléculas entre sí. Las fuerzas de atracción intermoleculares se denominan fuerzas de Van der Waals.

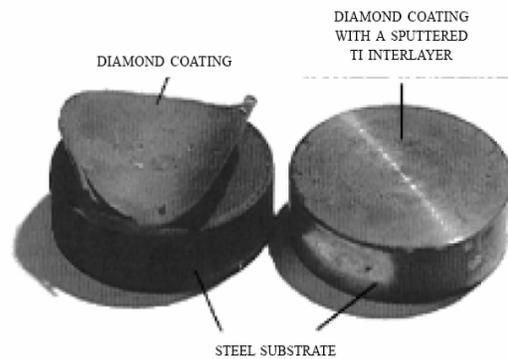
⁶ Dra. Sandra Rodil. Entrevista personal. Instituto de Materiales UNAM. México. Noviembre de 2006.

Tabla 2. Sectores Tecnológicos Usuarios de las Capas Delgadas

Automotriz	<ul style="list-style-type: none"> • Metalización de componentes del automóvil como faros y embellecedores. • Recubrimientos duros para piezas móviles del motor.
Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos duros para herramientas de corte como brocas, fresas, sierras, etc. • Útiles de moldeo y conformación de piezas, acuñación de monedas, etc. • Recubrimientos tribológicos para piezas móviles como bombas, compresores, maquinaria textil.
Saneamiento y Útiles domésticos	<ul style="list-style-type: none"> • Metalización de grifos, tuberías, pomos y tiradores de puertas.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos térmicos y ópticos para grandes paneles de vidrio utilizados en la construcción de edificios acristalados.
Microelectrónica y Óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Capas de protección para componentes electrónicos y optoelectrónicos. • Capas antirreflectantes, antihumedad para visores, lentes y espejos.
Dispositivos magnéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Discos duros, registro magnético, etiquetas magnéticas.
Juguetería y Bisutería	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos protectores y decorativos
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Capas protectoras y decorativas para empaquetamiento de alimentos y botellas de líquidos para evitar la difusión de la humedad, la acción de la luz, etc.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Sector de los biomateriales e implantes

Fuente: J.M Albella. ICMM

→ Fig. 20 (Izq.) Capa de diamante depositada directamente sobre un sustrato de acero.
(Der.) Capa de diamante con capa intermedia de Titanio (multicapa).



4.2.2 Recubrimientos cerámicos por estructura y composición

A finales del siglo pasado, los recubrimientos -principalmente los que se utilizaban para mejorar el comportamiento de los materiales- estaban formados por una sola fase homogénea. Sin embargo, por el conocimiento que actualmente se tiene a escala molecular y atómica de los materiales se sabe que no es posible que un único material cumpla con todos los requisitos necesarios de un recubrimiento. De ahí la tendencia de recurrir a la combinación de materiales, posible gracias a las técnicas actuales que permiten el depósito de capas muy delgadas de diferentes materiales, lo que se traduce en la formación de recubrimientos compuestos con espesores reducidos. De esta situación se deriva la siguiente clasificación:

- Monocapas
- Multicapas
- Graduales
- Conversores o reformadores

4.2.2.1 Recubrimientos en Monocapas

A este grupo pertenece la mayoría de los recubrimientos que conocemos, los cuales están formados por una sola fase que se caracteriza por tener una estructura y composición homogénea. Tal es el caso de las capas de esmaltes y pinturas.

4.2.2.2 Recubrimientos en Multicapas

Pueden considerarse como recubrimientos compuestos, ya que se obtienen a partir de la deposición de dos o más capas de diferentes materiales sobre un sustrato.

La formación de un recubrimiento multicapas requiere de un proceso de deposición por cada capa de material.

Fig.21 Esquema de la multicapa: Titanio/nitruro/carbonitruro /carburo de Titanio (Ti/TiN/TiCN/TiC)



Capa 4. TiC → Capa más dura que la anterior, con un coeficiente de fricción superior a los dos anteriores, y su temperatura de trabajo es más alta (700°C).

Capa 3. Ti(CN) → Capa más dura que la anterior, pero con menor coeficiente de fricción, temperatura de trabajo alta, hasta los 400 °C.

Capa 2. TiN → da una mayor dureza al material y un bajo coeficiente de fricción. Es uno de los pocos cerámicos que presentan una buena ductilidad, produciendo un mejor acople con la capa anterior

Capa 1. Ti → tiene por función principal promover una buena adherencia con el sustrato, capa colchón.

Sustrato

Para este tipo de recubrimientos en la actualidad “se utiliza una combinación relativamente limitada de materiales, siendo usual que tengan entre 2-8 capas alternadas, algunas veces con un espesor total que oscila entre 3 y 15 micras”⁷.

Las multicapas se emplean principalmente por dos razones, la primera porque su estructura permite obtener por separado, determinadas propiedades sobre la superficie del recubrimiento. Por ejemplo, la multicapa metal-cerámica, esta relacionada con la necesidad de combinar lo mejor de uno y otro material, para obtener recubrimientos que presenten alta dureza, baja fragilidad, que tengan baja reactividad química y bajo coeficiente de fricción, para ser utilizados como capas protectoras antidesgaste. La segunda razón obedece a problemas de adherencia entre el material de depósito y el sustrato, que hacen necesario el empleo de un material que medie entre ambos. (Ver figura 20).

Un ejemplo ilustrativo de la aplicación de multicapas sucede con el carburo de Titanio (TiC) - material cerámico empleado en recubrimientos de herramientas por su resistencia al desgaste- el cual es difícil depositar directamente sobre el acero, pues el carbón se difunde fácilmente hacia el sustrato, degradando la composición química del recubrimiento. En este caso se deposita una multicapa de TiN/TiCN/TiC (Nitruro de Titanio/Carbonitruro de Titanio/Carburo de Titanio) en donde el nitruro de Titanio evita la interacción del carbón con el sustrato, y el carbonitruro de Titanio sirve de colchón entre el nitruro de Titanio y el carburo de Titanio, obteniendo con ello el recubrimiento con las características requeridas. En la figura 21, se muestra un esquema de la multicapa de Ti/TiN/TiCN/TiC y la forma en que son seleccionados los materiales de cada una de las capas de acuerdo a sus propiedades y características.

Ventajas

El aporte principal de los recubrimientos en multicapas para las aplicaciones actuales, como en herramientas por ejemplo, es que permite extender la vida útil y aumentar su velocidad de corte y de avance con respecto a los recubrimientos en monocapas, lo que se traduce en una ventaja económica importante en procesos de producción continua.

⁷MCS. Harvy Castillo. Entrevista personal. Laboratorio de Física del Plasma. Colombia. 15 de diciembre de 2006.

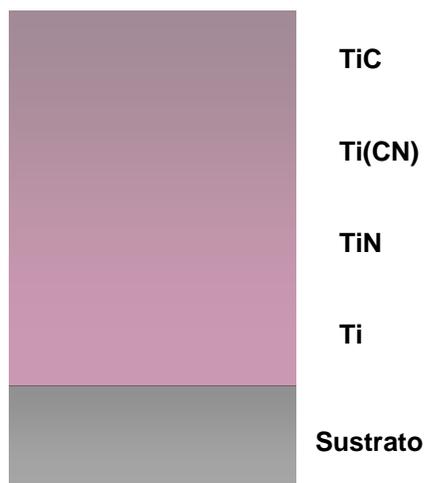


Fig.22 Esquema de Recubrimiento Gradual TiN/TiC

Inicialmente se tiene una capa de Ti puro, luego se le agrega nitrógeno gradualmente hasta tener TiN.

Se comienza a disminuir el nitrógeno y a aumentar el carbón (metano) hasta tener TiCN.

Por último se suprime completamente el nitrógeno y se obtiene TiC.

4.2.2.3 Recubrimientos Graduales o FGC

También llamados FGC por sus siglas en inglés “Functionally Graded Coating”. Están formados por dos materiales caracterizados por un gradiente composicional, que es la transición desde un tipo de material hasta otro. A diferencia de los multicapas, no existe una delimitación física entre capa y capa, debido a que durante el proceso de deposición (uno solo) se va variando tanto el tipo como la cantidad de los materiales a depositar, dando como resultado una capa que cambia gradualmente su composición a través de su espesor.

Se produce un gradiente composicional por ejemplo, cuando se pasa de TiN (Nitruro de Titanio) a TiC (Carburo de Titanio) solamente variando la concentración del gas que se utiliza, se empieza con 100% de Nitrógeno y 0 de Metano, hasta llegar a 100% Metano y 0% Nitrógeno, en este caso no hay una bicapa de TiN/TiC si no una sola capa que varía su composición. (Ver figura 22)

Este tipo de recubrimientos pueden ser continuos a nivel microscópico o estar laminados de tal manera que conformen gradientes de metales, cerámicos, polímeros o que tengan variaciones de densidad y porosidad, en contraste con los recubrimientos tradicionales que al tener mezclas homogéneas, provocan la influencia de las propiedades del uno sobre el otro. Al producirse un gradiente composicional, la influencia de un material a otro es eliminada y las propiedades de cada material pueden ser utilizadas óptimamente, por ejemplo, la tenacidad de un metal puede contrarrestar la fragilidad de un cerámico, sin comprometer sus propiedades.

Aplicaciones

Los FGCs ofrecen grandes posibilidades en aplicaciones donde las condiciones de operación son severas. Por eso sus aplicaciones se han enfocado a revestimientos de alta resistencia, al desgaste para manejar materiales altamente abrasivos, a cubiertas de cohetes que soportan altas temperaturas, a generadores termoeléctricos, cubiertas para reactores de fusión y uniones eléctricamente aisladas de metal/cerámicos.

Ventajas

La primera ventaja de los recubrimientos graduales para aplicaciones industriales es el cambio gradual en las propiedades mecánicas. Por ejemplo en la aplicación de recubrimientos metal-cerámicos, se obtienen por ejemplo, por una cara las propiedades de los metales que puede significar mejor adherencia del recubrimiento si se aplica sobre un metal y por la otra las propiedades del cerámico lo que puede significar mayor resistencia al desgaste.

Los recubrimientos graduales se pueden considerar como recubrimientos en multicapas sin interfase definida.

4.2.2.4 Recubrimientos Reformadores

Son recubrimientos cuya formación del compuesto cerámico en la deposición involucra a uno de los elementos de la superficie del material a recubrir⁸. Oxidar la superficie de una oblea de silicio para formar el dióxido de Silicio es un ejemplo de este tipo de recubrimiento.

Aplicaciones

Estos recubrimientos son muy utilizados sobre las obleas de silicio que se usan como sustratos de los microprocesadores o de sensores CCD en electrónica y así mismo en la producción de células fotovoltaicas.

Ventajas

El involucrar elementos del sustrato genera la formación de una etapa de transición con características mixtas, entre las capas superficiales del material y el recubrimiento, lo que deriva en una fuerza de enlace mayor entre los átomos y por consiguiente un mayor índice de adherencia de la capa al sustrato.

⁸ H.O. Pierson. *Handbook of Chemical Vapor Deposition: Principles, Technology, and Applications*. New York, Noyes Publications, Park Ridge, 1992.

4.3

La Superficie

Un apartado necesario al hablar de recubrimientos, es el de la superficie, pues constituye el sustrato sobre el cual será aplicado. La superficie de un cuerpo no es solamente un plano de separación con el exterior, es una parte del material que constituye una abrupta interrupción de su estructura, lo cual es resultado de un proceso de fabricación y de la interacción fisicoquímica del material con el ambiente que le rodea. Debido a esto la superficie generalmente presenta diferente composición, estructura y propiedades que el material en sí, así mismo es la región más sensible a las agresiones del entorno.

En comparación con otras causas de deterioro de un material, los problemas que afectan a la superficie (desgaste, fricción, corrosión), requieren un consumo energético mínimo debido a que son sólo los átomos de unas pocas capas superficiales y los enlaces que los unen entre sí, los que deben hacer frente a las fuerzas y ataques químicos del entorno. Pero como estas interacciones siempre van a estar presentes ningún proyecto puede considerarse completo si no prevé el comportamiento de la superficie.

Superficies sobre las que se aplican recubrimientos cerámicos

Puede decirse que la aplicación de recubrimientos cerámicos se realiza sobre cualquier tipo de material, como metal, plástico y compuestos. Aunque tradicionalmente sus aplicaciones se han enfocado en mayor cuantía a superficies metálicas y a las mismas cerámicas. Tendencia que a últimas fechas se ha acentuado, recayendo en cierto tipo de metales –como los aceros-, cerámicos y compuestos metal-cerámicos.

El caso más común en este grupo, es la aplicación de los esmaltes a alta temperatura, que se hace en un proceso posterior al de cocción o simultáneamente con el mismo.

En la actualidad, existe un mayor número de técnicas disponibles para la deposición de recubrimientos gracias al continuo desarrollo tecnológico, lo cual no solamente ha representado el crecimiento en número y variedad de las aplicaciones, que son significativas hoy en día para los problemas de desgaste, fricción, corrosión, lubricación, biocompatibilidad, aplicaciones térmicas, eléctricas y ópticas, sino también un crecimiento en importancia de estas tecnologías, lo que ha llevado a acuñar el término “ingeniería de superficies” para referirse a ellas.

4.3.1 Principales problemas en las superficies

Como se mencionó en el apartado anterior, los sustratos metálicos son los que abarcan el mayor número de aplicaciones de recubrimientos cerámicos, por eso las prestaciones de estos obedecen principalmente a los requerimientos y las necesidades que tienen los metales en sus diferentes usos.

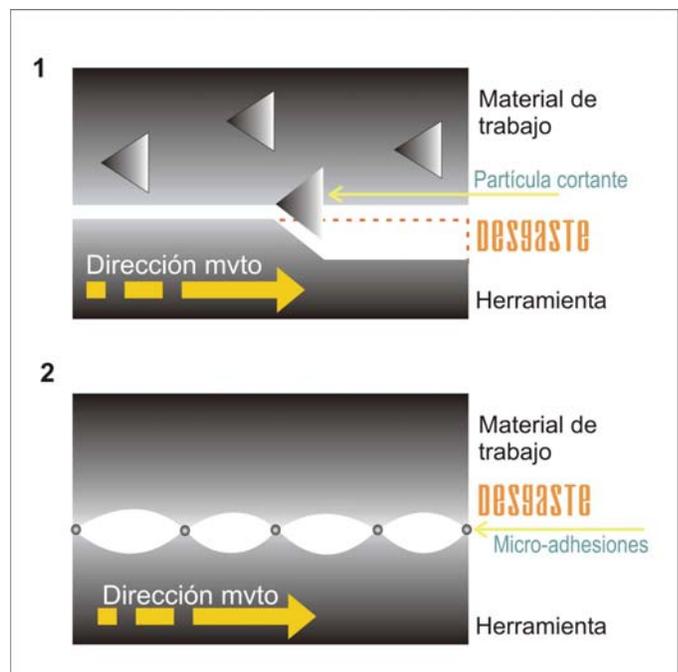
4.3.1.1 Desgaste y fricción

Aunque la experiencia del rozamiento y el desgaste es muy antigua, sólo recientemente se han podido dar las primeras descripciones científicas de los fenómenos implicados a nivel atómico, identificando hasta seis mecanismos de desgaste. Sin embargo, los más comunes son el desgaste abrasivo y el desgaste adhesivo.

En el **desgaste adhesivo** la adhesión de las dos superficies en contacto es superior a la que hay entre las capas superficiales del propio material. Produciéndose así un progresivo arranque de material. Fig. 23 (2)

En el **desgaste abrasivo**, partículas extraduras presentes entre las dos superficies en contacto abren surcos y arrancan material de una o de las dos superficies. Fig. 23 (1)

Por otra parte, la **fricción** entre dos superficies en contacto es la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (*fuerza de fricción cinética*) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (*fuerza de fricción estática*), y se genera debido a las imperfecciones, especialmente microscópicas, entre las superficies en contacto. En los metales por ejemplo, al margen del papel de los lubricantes, depende en gran medida de las capas de óxido que todos los metales,



↑ Fig. 23 Esquema de los Tipos de Desgaste

exceptuando el oro, forman en su superficie. Estas capas son en muchos casos como el aluminio y los aceros inoxidable excepcionalmente finas.

4.3.1.2 Corrosión y Oxidación

La **corrosión** definida como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque químico o electroquímico por su entorno. Es causada por el contacto con la atmósfera húmeda, ácidos y sus vapores, gases, álcalis y sales.

En los metales este ataque químico pica, perfora y eventualmente disuelve la pieza metálica. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción química **–oxidación–** la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el metal y las propiedades de los metales en cuestión

Todos los metales exceptuando el oro, tienen una tendencia a incorporar oxígeno de la atmósfera y desarrollar una capa de óxido. En algunos casos esta capa al alcanzar el espesor de unas pocas capas atómicas actúa de barrera protegiendo al metal, tal es el caso del Aluminio, del Cromo y de los primeros Aceros Inoxidables. En la mayoría de los casos, sin embargo, la capa de óxido continúa creciendo y puede deteriorar el material.

4.3.2 Características y requisitos de la superficie a recubrir

En todas las técnicas de recubrimiento y para todo tipo de sustrato es necesario un cuidado muy especial en la preparación superficial. La limpieza es fundamental para conseguir buena adherencia, dado que la presencia de grasas, óxidos, partículas incrustadas, más. dificultan el proceso y en muchos casos lo impiden. Sobre todo con las técnicas actuales de deposición de recubrimientos hay que tener en cuenta esto ya que las capas finas copian la superficie, por lo tanto, el grado de acabado superficial antes del recubrimiento debe ser el que se espera obtener después de la aplicación del mismo.

La elección de una u otra técnica dependerá principalmente del uso al cual será sometida la pieza a recubrir, sin embargo, la temperatura de proceso es un factor fundamental a tener en cuenta. El sustrato no debe perder propiedades por efecto de la temperatura de recubrimiento.

5

técnicas
de deposición
de recubrimientos cerámicos

Como se ha visto en los capítulos anteriores, el desarrollo tecnológico incorporado a la ciencia de materiales cerámicos ha propiciado la redefinición de conceptos y a su vez la emergencia de nuevas configuraciones en la estructura de los recubrimientos. En ambos casos es apreciable una clara tendencia hacia la formación de compuestos abordada ya sea desde la composición de los materiales que se depositan o desde la estructura de las capas depositadas.

Ahora bien, ¿cuáles son los desarrollos tecnológicos que han suscitado esta evolución? ¿Cuáles son las tecnologías que hacen posible esta materialización? Son preguntas complejas dado el vasto horizonte de técnicas a disposición para abordar con detalle, por lo cuál en el presente capítulo se establecerá un panorama general del estado de desarrollo de un grupo de nuevas técnicas de recubrimiento cerámico y los campos de aplicación industrial que han incorporado este tipo de recubrimientos, con el ánimo de dar al diseñador una idea de cómo se obtienen las prestaciones de los materiales que actualmente se incorporan a los productos y por ende a la vida cotidiana a través de ellos.

Las soluciones que presenta la Ingeniería Avanzada de Superficies pasan por modificar la composición y estructura superficial de los materiales tratados por dos vías, bien sea mediante la creación de un recubrimiento o mediante la introducción de nuevos elementos dentro de la superficie (Fig.24¹), a profundidades a veces nanométricas. El control de estos procesos, en buena medida ya industriales, requiere en su mayoría el empleo de equipos que trabajan en alto vacío, fuentes de iones, evaporadores o reactores asistidos por plasma. Los espesores comparativamente reducidos de estos tratamientos se deben a que un mayor conocimiento de los procesos de deterioro superficial, ha permitido conocer con exactitud el número de capas atómicas implicado en cada caso específico, diseñándose luego el tratamiento adecuado para actuar a dicha profundidad.

Fig.24 Diagrama General de Tratamientos Superficiales



Dentro de los métodos presentados en la tabla, la mayoría son los que se utilizan tradicionalmente para la formación de recubrimientos de capa gruesa. En este grupo las técnicas de deposición en fase vapor son las de más reciente desarrollo y es a través de ellas que se ha logrado el depósito

¹ Adaptación del Diagrama de Inés Fernández en Tecnología de materiales, España, Universidad de Oviedo, 2006.

de capas delgadas hasta espesores nanométricos con las estructuras antes mencionadas. Por ello se hará énfasis en este conjunto de técnicas, que son las que están revolucionando el sector de los recubrimientos cerámicos.

A su vez, la modificación del diagrama original correspondiente a la inclusión del método solgel, (el cual normalmente no se tiene en cuenta por no ser un método exclusivo de recubrimiento sino - como se verá mas adelante- es un conjunto de técnicas que permiten la obtención de materiales cerámicos en distintas formas), obedece a su relevancia para el sector de los recubrimientos porque a través de éste no solo se obtienen recubrimientos cerámicos compuestos, también polvos cerámicos con características muy acotadas que son usados como material de depósito (el que va a formar el recubrimiento) en las técnicas físicas de deposición en fase vapor.

En el presente capítulo está estructurado secuencialmente de tal manera que la primera parte inicia con la explicación de las técnicas químicas como son la técnica de solgel seguida de las técnicas de deposición en fase vapor CVD, para dar paso a las técnicas físicas PVD. En segunda instancia se habla de las aplicaciones industriales de los recubrimientos obtenidos por estas técnicas y finaliza con los desarrollos en investigación en este sector y de qué manera se articulan estos con la industria.

5.1 La Técnica Sol-Gel

Las bases del proceso químico sol-gel son conocidas desde hace muchos años, pero su aplicación es relativamente reciente. Solo a partir de la década de los 80's comenzó a ser utilizado en algunos sectores industriales por la versatilidad de usos que ofrecen los nuevos materiales cerámicos obtenidos por éste. El resultado, ha sido un sinnúmero de aplicaciones, tales como la producción de vidrios que bloquean la luz y el calor, películas adherentes para la protección de superficies con las más diversas características, y membranas con una capacidad de filtrado que pueden transformar el agua salobre en potable.

La producción de materiales cerámicos por el proceso vía sol-gel presenta diferencias significativas respecto a las formas convencionales de producción de vidrios y cerámicos, ya que estos requieren hornos potentes, con altas temperaturas que generan gran gasto de energía, mientras que las primeras etapas del proceso sol-gel se realizan a temperatura ambiente, y dependiendo de la utilización del material obtenido, se hace necesario o no un proceso a alta temperatura. Pero éste siempre es mucho menor comparativamente con los procesos convencionales. Para darnos una idea podemos citar la obtención de sílice puro mediante la fusión de cuarzo por la vía tradicional, lo cual requiere de un horno a una temperatura superior a 2.000 °C, mientras que por la vía sol-gel, la temperatura se ubica por debajo de los 1.100 °C.

5.1.1 Definición

La tecnología solgel hace referencia a una multitud de procesos de reacción que emplean una amplia variedad de precursores químicos para preparar diferentes productos cerámicos. Los cuales en su mayoría se pueden categorizar en una de las tres rutas generales, que se esquematizan en la **figura 25**.²

En la primera ruta, un sol coloidal es preparado, y posteriormente los polvos del sol son precipitados generalmente cambiando el pH. De este modo los polvos que resultan se secan después y son procesados usando técnicas tradicionales de procesamiento cerámico.

² Brian D. Fabes and others. "Sol-Gel Derived Ceramic Coatings". *Ceramics Films and Coatings*. U.S.A, Noyes Publications, 1993. Pág. 226.

En la segunda ruta, a partir de la obtención de un sol coloidal, se ligan las partículas (en vez de precipitarse, como en el primer acercamiento) para formar un gel, que se seca posteriormente, para formar una cerámica porosa. Luego, pasa por un proceso de cocción para cristalizar y/o densificar el material si se requiere de acuerdo al uso.

Por último, en la tercera ruta, se forma un gel a partir de la polimerización de unidades oligoméricas³ individuales (en vez de partículas coloidales).

Una condición muy importante de este proceso es: que los soles obtenidos siguiendo la segunda y tercera ruta, se pueden moldear, centrifugar, sumergir, o rociar sobre sustratos -piezas a recubrir- antes de la gelación completa, es decir, antes que el sol adquiera la consistencia de gelatina. Por lo cual se usan para la formación de recubrimientos⁴.

Debido a las posibilidades que ofrecen estas tres rutas, para el caso de los recubrimientos cerámicos, la tecnología solgel no solo es relevante como método de aplicación de capas de alta densidad a temperaturas bajas, sino también como método de síntesis de polvos cerámicos que luego son empleados en la aplicación de recubrimientos.

5.1.2 Proceso General de la técnica sol-gel

El principio básico consiste, en la preparación de un sol⁵, la gelación del mismo y la remoción del solvente para formar el sólido.

En primera instancia se parte de un precursor o solución, que incluye complejos metálicos que reaccionan con agua a través de reacciones de hidrólisis y condensación. Estas reacciones conducen a la formación de agregados también llamados clusters que se enlazan hasta formar un único agregado -el gel, que no es otra cosa que un material sólido lleno de solvente.

³Un oligomero es un polímero que se caracteriza por tener moléculas que contienen un número pequeño de monómeros.

⁴ Aunque las partículas coloidales –es decir, las partículas presentes en la solución de alcóxidos que se tiene antes de la formación del sol- se pueden utilizar a veces para formar recubrimientos, la mayoría de usos de los recubrimientos del sol-gel, vienen de aplicar soles a los sustratos antes de la gelación.

⁵ El sol es una dispersión de partículas coloidales u oligomeros (de tamaño inferior a los 100 nm) en un medio líquido, las cuales son suficientemente pequeñas para permanecer suspendidas por un movimiento aleatorio y continuo denominado movimiento Browniano.

Después de esta transición de sol a gel, la fase solvente es removida de los poros de la red interconectada, y dependiendo de cómo se realice esta transformación posterior se logran hacer diversas formas de materiales cerámicos. Fig. 26

Por ejemplo, si se remueve el solvente mediante un tratamiento térmico convencional, es decir, secado al aire o en una cámara de secado, se produce una gran contracción dando como resultado un **xerogel**. Si se remueve a través de condiciones supercríticas, es decir, que el líquido es eliminado por encima de la temperatura y presión crítica del sólido, no se produce contracción y el resultado es un **aerogel**.

Por consiguiente, la forma en que se realiza la remoción del solvente de los poros del gel, tiene efectos decisivos en las propiedades del producto final. De este modo, los aerogeles se caracterizan por tener baja densidad y ser altamente porosos, por ello son muy buenos aislantes térmicos y acústicos. Mientras que los xerogeles en cambio son más densos que los aerogeles, tienen un área superficial grande y son a menudo microporosos, por lo que pueden usarse como soporte de catalizadores, conductores iónicos y como precursores para una gran variedad de vidrios, cerámicas, recubrimientos y fibras, dependiendo del método de preparación.

5.1.3 Los productos y usos de sol-gel

Como se ha mencionado, por este proceso es posible obtener diferentes formas de productos cerámicos y sus aplicaciones se derivan de ellas, así:

- Los monolitos: se usan en componentes ópticos, super-aisladores transparentes y vidrios de muy baja expansión térmica.
- Las fibras: son usadas sobretodo como refuerzos en compósitos y textiles refractarios.
- Las **Capas**: se encuentran principalmente aplicadas como recubrimientos ópticos, protectivos o porosos.
- Los Compósitos: se usan en la producción de geles con materiales anfitriones como, partículas metálicas u orgánicas.

5.1.4 Formación de capas cerámicas vía sol-gel

Respecto a las capas cerámicas, como se menciono anteriormente, su formación requiere de la aplicación de la solución de alcóxidos o del sol coloidal, sobre la superficie del sustrato antes del proceso de gelación. Lo cual, puede realizarse por diferentes procesos que dan lugar a que las capas cerámicas obtenidas exhiban una amplia variedad de propiedades.

Entre los más utilizados se cuentan: la deposición por inmersión (Dip coating), la deposición por centrifugación (Spin Coating) y la deposición por aerosol (Spray coating).

Fig. 25 Esquema de las tres rutas Sol Gel

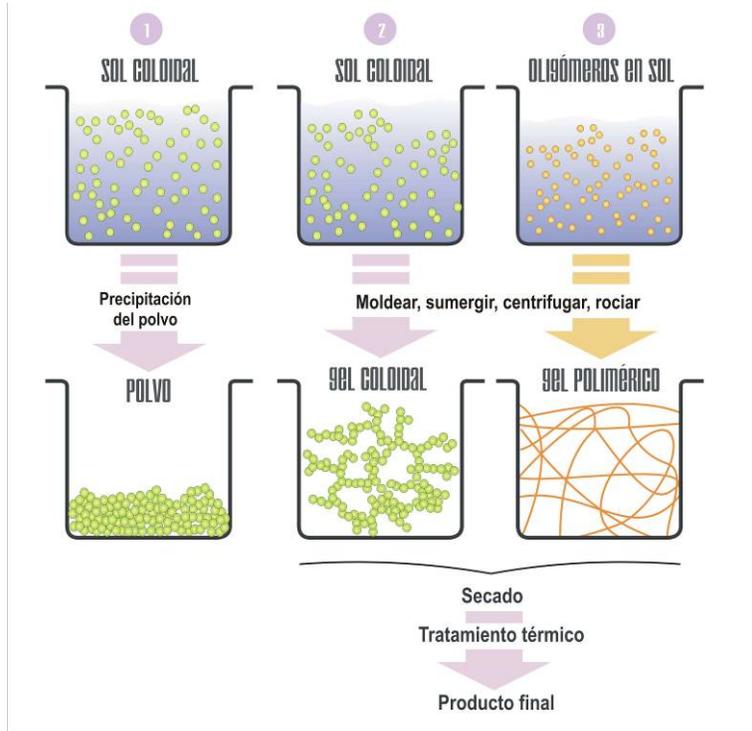
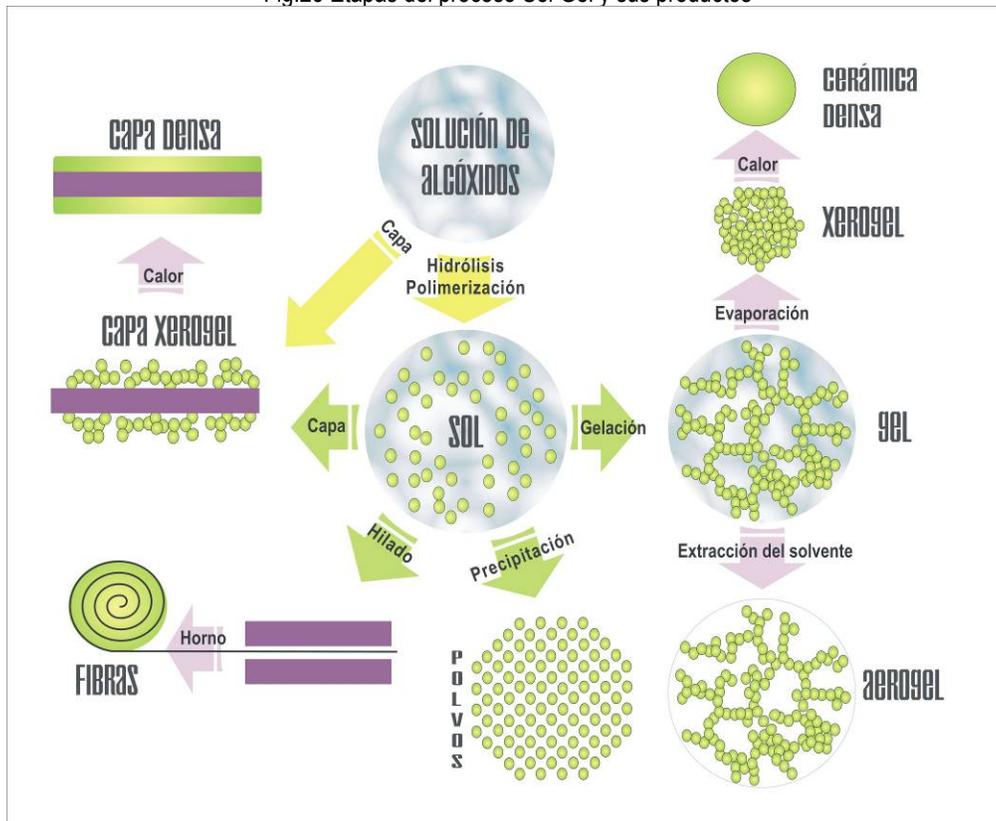


Fig.26 Etapas del proceso Sol Gel y sus productos



En la **deposición por inmersión**, el sustrato es sumergido en la solución y la capa se forma retirando el sustrato de la solución o bien drenando la solución. Por este proceso se pueden recubrir interior y/o exteriormente objetos con formas complejas, ya que la solución cubre todo el volumen.

En la **deposición por centrifugación**, una determinada cantidad de material con el que se va a recubrir la superficie es puesta bien sea sobre un sustrato inmóvil o sobre uno que se encuentre girando lentamente, para posteriormente, acelerarlo rápidamente produciendo una fuerza centrífuga que hace que todas las partículas del material formen una capa sobre el sustrato.

En la **deposición por aerosol**, la solución es forzada a través de un inyector por alta presión, formando un aerosol que se acelera hacia el sustrato mediante un gas portador inerte. De esta manera las partículas se depositan formando la capa. Este proceso se emplea con buenos resultados sobre piezas con agujeros. Asimismo, “el rociado por máquina es el método preferido para obtener un recubrimiento de espesor uniforme sobre un área grande”⁶.

Para la aplicación de recubrimientos por los tres procesos expuestos, es de vital importancia el estado de la superficie del material que se va a recubrir, ya que esto determina en gran parte el nivel de adherencia de la capa.

“Las superficies rugosas son preferidas porque existe un anclaje mecánico entre el material de depósito y el sustrato, pero no siempre se cuenta con este tipo de superficies. En estos casos, se establece la adherencia mediante enlaces químicos -que pueden ser de tipo iónico, covalente, entre otros-”⁷.

Por otra parte, es necesario mencionar la limpieza superficial. No se puede decir que existe un método general para realizarla, pues cada material requiere de un proceso diferente y aunque se trate del mismo material existen diversas maneras de hacerlo. Por eso, la mayoría de artículos sobre estas técnicas describen cómo se limpia el sustrato, por ejemplo, para el caso de la aplicación de capas anticorrosivas de óxido de Silicio híbrido (material cerámico avanzado) sobre

⁶ Robert W. Vest. “Electronic Films from Metallo-Organic Precursors”. *Ceramics Films and Coatings*. U.S.A, Noyes Publications, 1993. Pág. 322.

⁷ Dr. Ing. Quim. David Turcio Ortega. Entrevista personal. Instituto de Materiales de la UNAM. México. 21 de febrero de 2007. *et passim*.

acero inoxidable –AISI 316L–, la superficie es limpiada y desengrasada mediante un baño ultrasónico y enjuagada con etanol⁸.

Por lo tanto, cuando el anclaje no es mecánico, la adherencia depende del estado de la superficie –principalmente que se encuentre libre de grasas y óxidos– y de los enlaces que se establecen entre el material del sustrato y del recubrimiento.

Características

La aplicación de los recubrimientos mediante los tres procesos expuestos implica un tratamiento térmico posterior para su consolidación, que generalmente, requiere una temperatura inferior a la demandada por los procesos de recubrimiento tradicionales.

Otra característica adicional de los recubrimientos aplicados por esta técnica es que pueden prepararse con estructura cristalina o amorfa y pueden obtenerse espesores inferiores a una micra.

5.1.5 Ventajas y Aplicaciones

La ventaja mas importante del proceso sol-gel respecto a otras técnicas nuevas para la deposición de recubrimientos cerámicos, principalmente de capas delgadas, es el costo⁹, ya que sus procesos no requieren de equipos de alto vacío o fuentes evaporadoras de iones, sino que apelan al uso de equipos convencionales.

Por lo que no se requiere de una inversión considerable para su inserción industrial, realmente la inversión que requiere este proceso esta en la materia prima es decir los materiales precursores con los que se elabora el sol, los cuales son compuestos cerámicos obtenidos en laboratorio. Su precio esta determinado por los elementos que lo conforman, así se encuentra en el mercado precios que van desde 11 a 61 dólares por 10 gramos de material precursor. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la cantidad de material empleada para una capa es muy reducida.

No obstante, existen otras ventajas adicionales propias de este proceso, como son:

⁸J. Gallardo, A. Duran *et al.* "Electrochemical and in Vitro behaviour of solgel coated 316L stainless steel". *Corrosion Science*, núm. 46, 2004. Pág. 796.

⁹ Brian de Fabes and others. "Sol-Gel Derived Ceramic Coatings". *Ceramics Films and Coatings*. U.S.A, Noyes Publications, 1993. Pág. 236.

- Composiciones que no se encuentran en equilibrio como las capas que tienen un alto contenido de titanio, lo cual es condición básica para otros procesos, pueden hacerse por este método.
- La facilidad que da el método para dopar soluciones antes de la gelación con casi cualquier otro material, es decir, introducir pequeños porcentajes de otros materiales para variar las características del recubrimiento que se va a obtener.
- Como las capas se aplican mediante soluciones de baja viscosidad, pueden ser utilizadas para alisar superficies excesivamente ásperas. De igual manera sobre sustratos cerámicos, se utilizan para que estas penetren grietas y las curen parcialmente.
- La posibilidad de preparar recubrimientos cerámicos a temperaturas bajas, con materiales muy puros, teniendo alto grado de homogeneidad, lo cual no siempre puede conseguirse por los métodos tradicionales.

La principal desventaja de aplicación de esta técnica, principalmente de materiales híbridos sobre superficies de plásticos, esta en el proceso de curación posterior al depósito de la capa. Debido a que este tipo de sustratos no soportan altas temperaturas, se requiere de un largo tiempo de curado (varias horas) para obtener completamente las propiedades mecánicas del recubrimiento. Sin embargo, se están desarrollando sistemas prometedores de curado con rayos UV para reducir el tiempo en la obtención de recubrimientos cerámicos duros sobre este tipo de sustratos¹⁰.

Las principales aplicaciones

Reiterando lo que se ha venido diciendo a lo largo del documento, los materiales cerámicos que se depositan por éstas técnicas son en su mayoría compuestos cerámicos aplicados sobre superficies metálicas y de cerámicos avanzados. A últimas fechas, también materiales híbridos (orgánico-inorgánicos) sobre polímeros¹¹.

Las principales aplicaciones de las capas obtenidas por este proceso se encuentran en:

Sobre sustratos metálicos y cerámicos, en el área de los superconductores de alta temperatura y dispositivos electrónicos. Así mismo en el área de aplicaciones eléctricas se usan como capas

¹⁰ Gerhard Schottner. "Hybrid Sol-gel Derived Polymers: Applications of Multifunctional Materials". Chemistry Materials. Núm. 13, 2001. Págs. 3422-3435.

¹¹ *Ibidem*.

delgadas ferroeléctricas; capas dieléctricas por ejemplo de pentóxido de Tantalio (Ta_2O_5) o de oxinitruro de Silicio (Si_3N_4) que se emplean como aislantes en dispositivos micro y optoelectrónicos¹².

Otro uso muy socorrido de estos recubrimientos es su aplicación como capa previa para modificar la superficie de los sustratos, mejorando la respuesta mecánica de adherencia hacia recubrimientos de otros materiales realizados por las técnicas de CVD y PVD.

Sobre sustratos plásticos, se aplican por el proceso de inmersión como recubrimientos de alta resistencia a la abrasión, sobre lentes hechas principalmente a base de polimetil metacrilato (PMMA). También como recubrimientos antireflectivos e hidrofóbicos (llamados "easy-to-clean") sobre las mismas superficies, para usos en el sector automotriz y arquitectónico.

Recubrimientos Decorativos para vidrio

La transparencia de muchos compuestos cerámicos e híbridos obtenidos por solgel, los ha hecho candidatos para modificar superficies de vidrios mediante su aplicación como capas delgadas, un ejemplo de ello, se presenta en el campo tradicional de la coloración de vidrios.

A mediados de los noventa del siglo pasado, inicio la comercialización de productos en vidrio coloreados mediante recubrimientos vía solgel¹³. ¿Cómo se obtiene esta coloración?

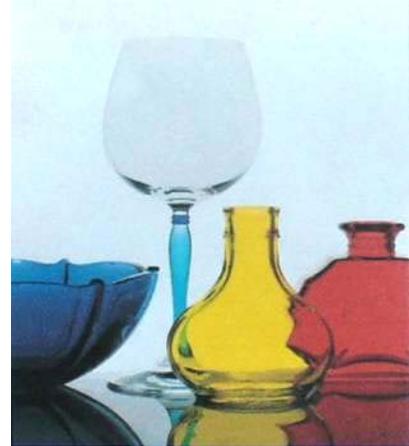
En el mercado se encuentran tintes orgánicos que pueden incorporarse al sol, de esta manera, el recubrimiento coloreado se obtiene al rociar la solución sobre el sustrato vítreo.

En el proceso de aplicación de la capa, el manejo de la viscosidad del sol es de vital importancia ya que puede obtenerse una capa de espesor no uniforme durante el rociado. Por lo tanto, las piezas son montadas horizontalmente en un disco rotatorio para favorecer la gelación, es decir, el aumento de la viscosidad del sol ocurre mientras las piezas giran.

¹² Inés Pereyra. Jefe del Departamento de Ingeniería de Sistemas Electrónicos de la Escuela Politécnica de Brasil. "La carrera del chip". Revista Pesquisa. <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1369&bd=1&pg=2&lg=es>

¹³ Gerhard Schottner. "Hybrid Sol-gel Derived Polymers: Applications of Multifunctional Materials". Chemistry Materials. Núm. 13, 2001. Pág. 3429. *et passim*.

→ Fig. 27 Piezas de Cristalería y vidrio recubiertas con capas coloreadas de solgel, aplicadas por rociado.
Fuente: Gerhard Schottner.



Posteriormente, las piezas se ubican en una banda transportadora y se curan a una temperatura inferior a los 200 °C en un horno.

Este método es altamente flexible y permite cubrir parcial o totalmente las piezas, esto aunado a la amplia gama de colores de los tintes orgánicos que se han desarrollado y que ya se encuentran en el mercado permiten un sinnúmero de nuevas configuraciones cromáticas en las superficies de las piezas que no se pueden fabricar por los medios tradicionales.

Adicionalmente, es un proceso de bajo impacto ambiental y también rentable respecto a las laboriosas técnicas tradicionales de coloración mediante cantidades de vidrio fundido (fritas) que contienen óxidos de metales de transición.

Otra ventaja de este proceso de coloreado de vidrio que ha impulsado su adopción industrial tiene que ver con la posibilidad de reciclar el material debido a la degradación completa de los pigmentos orgánicos (utilizados para la coloración del sol) en altas temperaturas. Por ello, en Japón por ejemplo, las botellas de vidrio coloreadas por este proceso están comercialmente disponibles desde 1999¹⁴.

¹⁴ Ibídem. Pág. 3430.

Principios de Funcionamiento

Aunque la denominación de las técnicas químicas y físicas descritas a continuación es parecida y en algunos casos los compuestos que se obtienen son los mismos, las propiedades de las capas, los parámetros de obtención, los equipos y los tratamientos térmicos asociados los convierten en procesos muy diferentes.

No obstante, todos estos procesos parten del principio de la deposición de materiales en fase vapor, lo que quiere decir, que los elementos que van a formar el recubrimiento deben encontrarse en estado gaseoso para poder realizar la deposición sobre la superficie del material a recubrir, así en el punto de partida del proceso estos elementos se encuentren en estado líquido o sólido.

La diferencia entre las técnicas físicas y químicas radica en la forma como se transmite la energía a los átomos de los gases para que reaccionen con la superficie formando el recubrimiento, así como también el estado en que se encuentran los materiales que se van a depositar. En las técnicas químicas todos están en estado gaseoso mientras que en las físicas al menos uno de los materiales se encuentra en estado sólido y durante el proceso es vaporizado.

De igual manera las variables temperatura y presión desempeñan un papel decisivo ya que de ellas depende la microestructura y por ende en las características que tendrá el recubrimiento. La relación de temperatura entre el sustrato y los reactantes (material a depositar) determina por ejemplo la adherencia que tendrá la capa sobre el material. A mayor temperatura, mayor difusión de los elementos en la superficie y por tanto mayor adherencia.

Por el contrario en el caso de la presión, a menor presión mayor calidad del recubrimiento, dado que en el ambiente del reactor los átomos del material de depósito encuentran menos oposición para llegar a depositarse sobre la superficie. En el caso de las técnicas que manejan rangos de temperatura media y baja (entre 250 y 350 °C), suelen manejarse presiones bajas para favorecer la deposición ya que las partículas no están lo suficientemente excitadas.

Otra característica común de estos procesos es que la formación del material cerámico se realiza sobre la superficie al momento de la deposición. Es decir, si se quiere obtener una capa de carburo de Titanio por ejemplo, se parte de los elementos separados, por una parte está el Titanio y por otra el Carbono, al ionizar sus átomos para promover la reacción entre ellos, esta reacción tiene lugar

sobre la superficie del sustrato (material a recubrir) al momento en que se forma el recubrimiento. Lo que implica, que la deposición de la capa y su curación se dan al mismo tiempo.

¿Por qué son importantes estas técnicas?

Como se vio en el capítulo pasado, las capas delgadas se forman por la agregación de átomos o moléculas que son guiados hacia la superficie del sustrato donde se depositan, formando un recubrimiento cuyo espesor puede variar desde unos cuantos nanómetros hasta unas pocas micras y cuya microestructura depende de las condiciones de formación. Estos átomos se obtienen en estas técnicas por medio de la descomposición de un gas o la evaporación de un sólido, pero ¿por qué es importante este proceso? Por varias razones, las temperaturas y tiempos del proceso de formación del recubrimiento, las características de composición y estructura de las capas formadas, entre otras.

Para lograr una mejor comprensión tomemos como ejemplo la producción de películas delgadas de carbono amorfo¹⁵, las cuales hoy en día están teniendo gran auge en áreas de la salud por las propiedades de biocompatibilidad que han demostrado tener. Hay que comenzar diciendo que las formas del carbono que se encuentran en la naturaleza se distinguen por tener estructuras cristalinas (grafito, diamante, fullerenos, nanotubos), pero en el laboratorio se ha logrado producir capas delgadas en fase amorfa (totalmente desordenada). La forma más fácil de obtener un material con estructura desordenada es enfriando un líquido de manera muy rápida para evitar que ocurra la cristalización, así se forman los vidrios. Sin embargo, existen elementos como el carbono cuya temperatura de fusión en estado sólido es muy alta, alrededor de 3500°C, lo que hace inviable este proceso. En estas técnicas, por medio de la descomposición de un gas hidrocarburo tal como el acetileno (C₂H₂) o metano (CH₄) (técnicas CVD) o la evaporación de grafito por medio de bombardeo de átomos (técnicas PVD), es posible obtener una fuente de átomos de carbono que al condensarse rápidamente sobre la superficie dan lugar a la capa de carbono, la cual de acuerdo al manejo de las condiciones como temperatura y presión entre otras, puede formarse en fase amorfa.

Lo anterior ejemplifica muy bien las posibilidades que ofrece este conjunto de técnicas y en que se traduce para el sector productivo ya que no solo permiten la obtención de películas con espesores

¹⁵ Sandra Rodil. "Carbonos amorfos y cuasidiamante". Materiales Avanzados del Instituto Investigaciones en Materiales de la UNAM. México. Año 4, núm. 7. Agosto, 2007. Pág. 28-29

nanométricos, sino también realizar recubrimientos de materiales con alto punto de fusión a temperaturas más bajas, y control sobre la microestructura de la capa que deriva en la consecución de propiedades específicas del recubrimiento.

5.2 Técnicas CVD

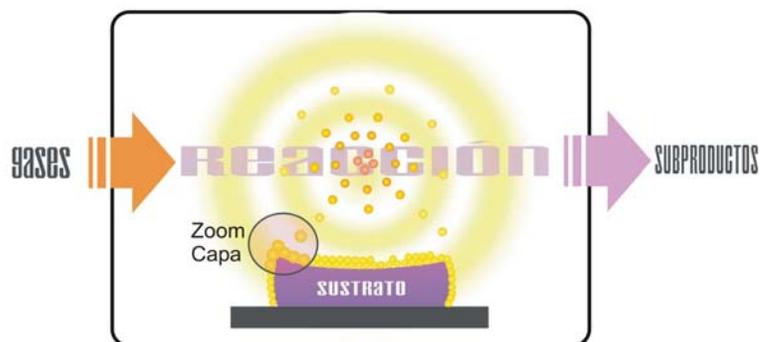
5.2.1 Definición de las técnicas CVD¹⁶.

Este conjunto de técnicas, denominado así por sus siglas en inglés (Chemical Vapor Deposition), se utiliza para formar recubrimientos a partir de la descomposición de gases.

El CVD consiste en la reacción de una mezcla de gases en el interior de una cámara de vacío (reactor) para dar lugar a la formación de un material en forma de capa delgada. Gracias a la reacción química/deposición activada térmicamente, que se da al entrar en contacto con la superficie del sustrato. (Fig. 28)

Durante el proceso de deposición que puede durar desde 3 milisegundos hasta 10 minutos como máximo, los elementos en fase vapor, reaccionan al contacto con la superficie caliente (el sustrato) para formar la capa. Siendo utilizado a menudo un gas inerte para facilitar el transporte del material. De igual manera, en el transcurso de la deposición los subproductos que se generan a partir de la reacción, son evacuados hacia el exterior, para que no alteren las características y composición del recubrimiento.

Fig. 28 Esquema General del Proceso CVD



5.2.2 Clasificación de las técnicas de CVD

Existen diferentes criterios de clasificación para las técnicas de CVD siendo los más comunes temperatura, presión y energía de proceso. A continuación se presenta un esquema general¹⁷, pero se hará énfasis en la más usual que es la tercera clasificación basada en el modo de activación de la reacción de los gases durante el proceso de deposición.

- **Clasificación por temperatura de proceso**
 - CVD a baja temperatura o LT-CVD
 - CVD a alta temperatura o HT-CVD
- **Clasificación por presión del proceso**
 - CVD a alta presión o HP-CVD (>3 Torr)
 - CVD a baja presión o LP-CVD (generalmente <1 Torr)
 - CVD a presión atmosférica o AP-CVD (0.75 Torr)
- **Clasificación por método de comunicar la energía al proceso**
 - CVD activado térmicamente
 - CVD activado por plasma
 - CVD Fotoinducido
 - CVD Asistido por láser

En seguida se muestran las características específicas de las diferentes técnicas de activación utilizadas, así como algunas de sus aplicaciones:

¹⁷ Basado en las clasificaciones que manejan el ICMM (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid) y el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo en España.

5.2.3 CVD activado térmicamente

En esta técnica la activación de los gases de reacción se da por calentamiento, por ello la reacción química se favorece trabajando a temperaturas elevadas generalmente entre 500 y 1000 °C. Aquí mayor temperatura significa mayor velocidad de reacción, y por ende menor tiempo en la formación del recubrimiento.

La activación térmica del proceso se realiza de dos maneras, por calentamiento del sustrato mediante una resistencia local (reactor de pared fría) o bien por calentamiento de la región del reactor donde tiene lugar la reacción (reactor de pared caliente).

5.2.3.1 Reactor de pared fría

En este método el calentamiento del sustrato (pieza a recubrir) se realiza directamente, bien sea mediante un horno alojado en el interior del reactor, o bien mediante un sistema de calentamiento por inducción.

La ventaja de los reactores de pared fría es que aparte de consumir menor energía, la deposición tiene lugar únicamente sobre los sustratos y no sobre las paredes del reactor. Esto disminuye el consumo de reactantes (gases) utilizados, así mismo permite un mejor control de la reacción de deposición y se evita además el depósito no deseado que con el tiempo acaba por desprenderse de las paredes, formando partículas que pueden alterar la formación del recubrimiento en determinadas zonas de la superficie de las piezas a recubrir. (Fig. 29)

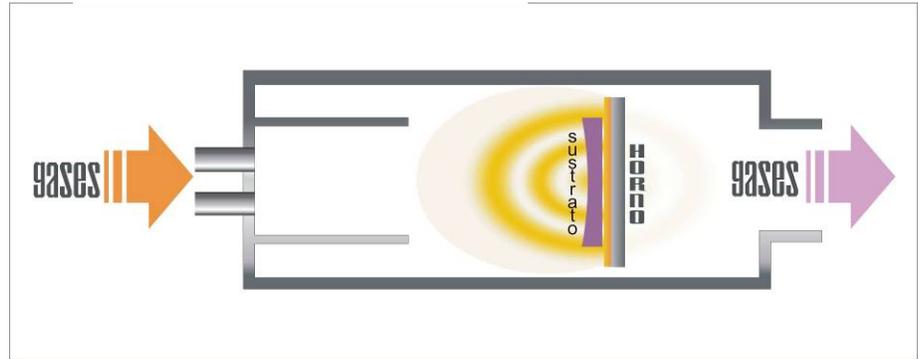
5.2.3.2 Reactor de pared caliente

En los reactores de pared caliente, el calentamiento se efectúa generalmente mediante un horno que rodea a la cámara de deposición.

Aún cuando presentan los inconvenientes asociados a la formación de depósitos no deseados en las paredes, se utilizan muy a menudo en la formación de capas delgadas debido a la facilidad de diseño. Su ventaja es la homogeneidad de temperatura que se logra en una amplia zona del reactor lo que facilita la deposición de recubrimientos sobre varias piezas. (Fig. 30)



↓ Fig. 29 Reactor de Pared fría

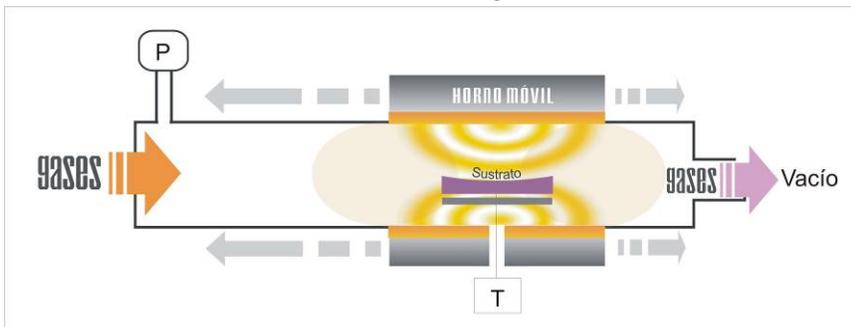


↑ Reactor de Pared fría. Fuente: Department Chemistry of Syracuse University

Las dimensiones de estos equipos vienen dadas por el uso. Si es para laboratorio las dimensiones son reducidas porque se hacen los depósitos sobre placas que no sobrepasan los 10cms. En promedio tienen 30 centímetros de diámetro por 50 de largo.

Para uso industrial no hay dimensiones estándar, se desarrollan por lo general sobre pedido según la aplicación específica, dado que para recubrimientos industriales por CVD los reactores más utilizados son los de pared caliente, o en su defecto los asistidos por plasma que son los mismos utilizados para las técnicas PVD.

↓ Fig. 30 Reactor de Pared Caliente



Reactores de pared caliente
Uso de laboratorio. Fuente: CVD Equipment Corporation ↑

↓ Uso industrial. Fuente: SecoWarwick

Las dimensiones y materiales de construcción de estos reactores dependen en gran medida del uso para el que son requeridos.

De esta manera, en los reactores para producción en pequeña escala o de laboratorio que son los descritos en el esquema, la cámara de deposición es un tubo de cuarzo o pyrex que no excede los 100 cm de largo y 20 cm de diámetro, rodeado de un horno cilíndrico que alcanza temperaturas cercanas a los 1050°C.

Mientras que los reactores para uso industrial alcanzan esta misma temperatura pero están hechos principalmente de acero inoxidable con alto contenido en cromo, y las dimensiones estándar van desde:

Tamaño promedio pequeños 2.5 x2.5 x4 metros.

Tamaño promedio grandes 4.6 x4 x8 metros.

Sin embargo existen hornos de dimensiones especiales que se han desarrollado para usos específicos, como por ejemplo para el recubrimiento de partes de los frenos de avión, cuyas dimensiones son 1.39 x2 x3 metros.



5.2.4 CVD activado por plasma o PACVD

A diferencia del CVD convencional o térmico, los métodos de Plasma-CVD sustituyen las elevadas temperaturas por descargas eléctricas con el mismo fin de facilitar la reacción de deposición, rompiendo las moléculas de los gases.

Este método se caracteriza por la presencia de una descarga eléctrica en forma de plasma en el interior del reactor, la cual hace que las moléculas de los gases pasen a estados de energía elevada favoreciendo la velocidad de reacción y por ende el proceso de deposición (formación del recubrimiento). Sin embargo, esto no excluye que el sustrato deba calentarse para favorecer la formación de la capa cerámica en su superficie.

Generalmente, estas descargas se hacen con fuentes de corriente alterna de alta frecuencia, con objeto de aumentar la eficiencia del proceso y se usa principalmente para la deposición de carburos y nitruros. Siendo esto posible con temperaturas en los sustratos que oscilan entre los 350-500 °C, mucho más bajas que las empleadas en el método CVD térmico que están alrededor de 1.000 °C.

Los equipos disponibles permiten trabajar a diferentes frecuencias, lo que genera la subdivisión del método en dos tipos: el que emplea el rango de la radiofrecuencia (PACVD) y el que emplea microondas (MWCVD):

5.2.4.1 Técnica de CVD asistida por plasma de radiofrecuencia (RF plasma-assisted CVD ó PACVD)

Esta técnica utiliza una descarga de radiofrecuencia fija cuyos rangos más empleados son 450 KHz y 13.56 MHz-, para generar el plasma, el cual transfiere la energía a los gases, propiciando la reacción entre ellos y la posterior deposición de la capa cerámica en el sustrato.

El proceso normalmente trabaja a presiones bajas (0.01-1 Torr) y la temperatura de operación suele ser menor a 350°C lo que constituye una diferencia significativa respecto a la técnica activada térmicamente.

Los reactores en que se realiza el proceso se caracterizan por tener en su interior dos electrodos para la aplicación de la descarga, y adicionalmente en el electrodo inferior (ánodo) donde se sitúan los sustratos, se cuenta con un sistema de calentamiento para favorecer la formación del recubrimiento, que puede alcanzar una temperatura de 350°C.

Esta técnica es muy utilizada para depositar capas de Si_3N_4 (nitruro de silicio) empleadas como máscaras de difusión en microelectrónica y para aislamiento entre diferentes niveles de metalización. También se utiliza para depositar silicio amorfo con aplicaciones en células solares.

5.2.4.2 Técnica de CVD asistida por plasma de microondas (Microwave assisted CVD ó MWCVD)

En esta técnica para generar el plasma se utiliza una frecuencia de descarga de 2.45 GHz y el proceso generalmente se realiza en un reactor de pared fría con el objeto de mantener la pared del reactor a temperatura ambiente y evitar con ello la deposición de material sobre las paredes internas del mismo.

Adicionalmente, el calentamiento del sustrato se lleva a cabo mediante una bobina de inducción situada debajo del sustrato, la cual permite conseguir temperaturas más altas que en PACVD, próximas a los 1000 °C.

5.2.5 Láser CVD o LCVD

En esta técnica la deposición del recubrimiento es asistida por fotones, de este modo la transferencia de energía a los gases que van a reaccionar se realiza mediante iluminación con láser o con lámpara ultravioleta. Aquí la transferencia de energía se realiza por dos vías, directamente al sustrato (pirolisis) o bien al gas precursor -material a depositar- (fotólisis).

5.2.5.1 En la Pirolisis el láser calienta el sustrato localmente de forma que los gases próximos a ese punto sufren una descomposición térmica, y se adhieren a él dando lugar a la deposición y formación del recubrimiento. (Fig.31)

5.2.5.2 En la Fotólisis que es el más empleado de los procesos CVD inducidos por láser, los gases o reactantes absorben la radiación láser, lo cual hace que sus átomos se ionicen y sean atraídos por el sustrato ubicado en el ánodo para lograr la deposición del recubrimiento. (Fig.31)

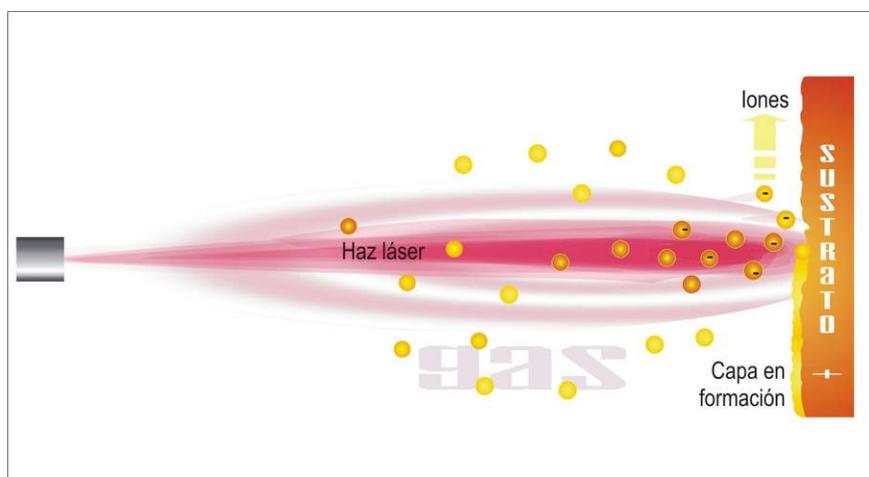
5.2.5.2.1 Fotólisis con UV o fotoinducido PCVD

La variante en este grupo es que la mezcla gaseosa se activa mediante radiación ultravioleta, lo cual puede hacerse de manera directa o indirecta a través de vapores de mercurio. Si es

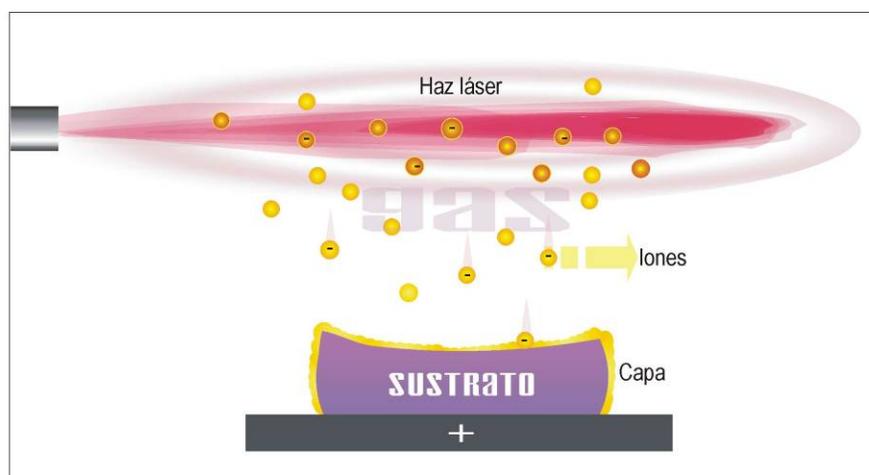
directamente sucede lo mismo que en el apartado anterior, e indirectamente, se hace irradiando vapor de mercurio el cual activa los gases reactantes mediante la transferencia de energía por choques entre los átomos.

Fig. 31 Esquema de Láser CVD

Pirolisis



Fotolisis



5.2.6 Ventajas y Desventajas de los procesos CVD

Los procesos de CVD presentan como principal ventaja la posibilidad de depositar capas delgadas y gruesas bien adheridas, tanto de materiales cerámicos como de compuestos cerámicos, y las capas depositadas tienen gran homogeneidad en su composición y espesor.

Por este proceso pueden recubrirse piezas de geometría complicada porque se logra el depósito de la capa en el interior de agujeros y cavidades. Así mismo se adaptan fielmente a las formas y aristas de la superficie que recubren.

Es la única técnica posible para depositar algunos materiales compuestos.

Su principal desventaja, además de la complejidad de los procesos, estriba en las altas temperaturas (exceptuando PACVD) necesarias para la deposición lo que excluye a superficies de materiales como los polímeros que se degradan en ellas.

5.2.7 Aplicaciones

Como se mencionó antes, las altas temperaturas que demanda el proceso y la interdependencia de un gran número de variables hace que la obtención de los recubrimientos requiera de un estricto control y por ende las aplicaciones tienden a especializarse en la deposición de ciertos materiales sobre sustratos con usos determinados.

Los recubrimientos CVD en Herramientas de Corte

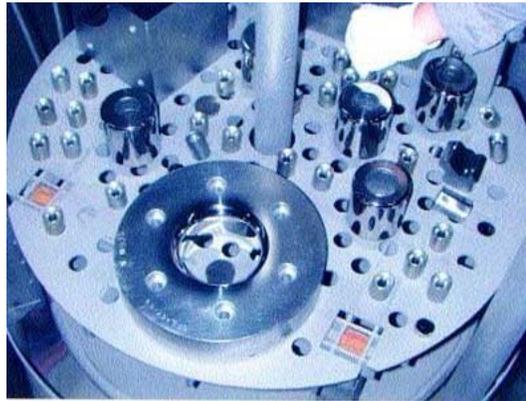
Fueron introducidos a principios de la década de los 70's, siendo la primera aplicación industrial de esta tecnología.

Aunque la oferta inicial fue un solo material, capas de carburo de Titanio, su aplicación representó para las herramientas recubiertas un aumento promedio del rendimiento frente al desgaste del 100 al 300% y de un 50% en la velocidad de corte¹⁸. De ahí derivó la popularidad y rápida asimilación de la tecnología ya que en el sector no se habían presentado mejoras significativas desde la introducción de los carburos cementados.

No obstante la aceptación lograda, pues en la primera década cerca del 40% de las herramientas vendidas eran revestidas por CVD. Fue tiempo de experimentación que se dedicó tanto a la búsqueda de un óptimo control del proceso para disminuir la porosidad y aumentar la

¹⁸ Thomas E. Hale. "CVD Coated Cutting Tools". *Ceramics Films and Coatings*. U.S.A, Noyes Publications, 1993. Pág. 23.

→ Fig. 32 Piezas en reactor CVD antes del proceso.
Fuente: MetalUniverse



→ Fig. 33 Herramientas recubiertas con carburo y nitruro de Ti por la técnica CVD.
Fuente: Iran Cutting Tools



homogeneidad del espesor de las capas, como también de nuevos materiales para depósito, incorporándose de esta manera las capas de Nitruro de Titanio y Óxido de Aluminio a la oferta.

La gran limitante de este proceso han sido las altas temperaturas que maneja ya que si bien esto hace que la adherencia de la capa sobre el sustrato metálico sea inigualable, también limita el espectro de materiales a ser recubiertos. Esta es una de las razones por las cuales su campo de aplicación permaneció por años limitada a industrias, como las de fabricación de herramientas y matricería cuyos productos pudieran tolerar las altas temperaturas.

Para estos casos, el proceso se ha integrado a tal grado que actualmente la mayor parte de fabricantes de herramientas de corte por ejemplo, ofrecen al menos una línea de productos recubiertos por CVD siendo ellos mismos en sus plantas los que realizan el recubrimiento, situación que ha derivado en que ya existan condiciones de proceso estandarizadas para los materiales más utilizados como son el carburo y nitruro de Titanio entre otros.

Un ejemplo de aplicación específica: Capas de Carburo de Titanio (TiC) en herramientas de corte

La deposición de capas de carburo de Titanio en herramientas de corte se realiza en reactores de pared caliente, construidos generalmente en acero inoxidable con alto contenido en cromo porque permite temperaturas de trabajo alrededor de 1200°C.

Estos reactores comerciales de CVD para uso industrial tienen capacidad para introducir entre 5.000 y 20.000 piezas pequeñas (p.ej. brocas) que se apilan verticalmente sobre estantes ventilados para que sean recubiertos por todos lados.

La uniformidad de la capa depende del estricto control de la reacción superficial, lo cual se logra para el caso de las capas de TiC usando:

- Temperaturas en el reactor entre 950 y 1100°C
- Flujo vertical de los gases reactivos que forman el cerámico: el tetracloruro de Titanio ($TiCl_4$) y metano (CH_4) y
- Presiones alrededor de 100 Torr.

Este conjunto de condiciones hace que la velocidad promedio del flujo de gas sea de 1cm/seg., por lo que los átomos llegan con la suficiente energía a las piezas cubriendo fácilmente toda la superficie, inclusive llegando a penetrar microgrietas que puede haber en ella.

El resultado son recubrimientos con espesores que varían entre 4 y 8 micras con una dureza de >3500 HV muy resistentes a la abrasión.

Tabla 3. Síntesis comparativa de las técnicas CVD

Técnicas	Características	Temperatura	Presión	Materiales
CVD Térmico	La gran adherencia de las películas al sustrato, que se atribuye a la T° del proceso.	Alta 950 a 1050°C	Para recubrimientos oscilan entre bajas y presión atmosférica.	Nitruro de Si y Ti (SiN, TiN) Cabonitruro de Ti (TiCN) Carburo de Ti, Si, B y W (TiC, SiC, B ₄ C y WC) Alúmina(Al ₂ O ₃)
CVD Plasma	<p>Generales *Recubrimientos homogéneos *Posibilidad de recubrir piezas de geometría compleja. *Velocidad de deposición alta incluso a temperaturas bajas. *Presión de gases en el reactor baja. *Difícil control de la composición de la capa depositada.</p> <p>PACVD-RF *Posibilidad de depositar capas en varios materiales por la temperatura que maneja.</p> <p>PACVD-MW *Daño por radiación sobre la capa y el sustrato</p>	Media < 350°C	Presión baja 0.1-10 mtorr	DLC (Diamond like Carbon), que se emplea en componentes móviles sujetos a gran abrasión (engranajes, herramientas, cojinetes)
		Alta ~ 1000°C	Presión más baja < 0.1 mtorr	Óxido de Silicio (SiO ₂)
CVD Láser	<p>Generales: *Velocidad de deposición alta incluso a T bajas. *Dificultad de adaptar la frecuencia de la radiación a la energía de excitación de las moléculas. *Difícil control de la composición de la capa depositada. *Problemas de deposición en las ventanas del equipo.</p> <p>Fotolisis. *Baja densidad de la capa depositada. *Permite la disminución de la velocidad (-1nm/min) de deposición para la obtención de películas ultradelgadas con espesores inferiores a 4nm.</p>	Baja ≤ 250°C	Presión 1-3 Torr	Carburo de Titanio (TiC), Silicio amorfo, Óxido de Silicio (SiO ₂) Nitruro de Boro (BN) Óxido de Si (SiO ₂) Nitruro de Si y B (Si ₃ N ₄ , BN) y Boro
		Baja ≤ 250°C		

Fuentes: J. M. Albella. "Técnicas de Deposición Química en Fase Vapor (CVD)". *Láminas Delgadas y Recubrimientos*. Madrid, España, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003.

Tabla 4. Aplicaciones de los recubrimientos cerámicos obtenidos por CVD

Aplicaciones	Materiales Cerámicos y Compuestos Cerámicos
<p>Mecánicas:</p> <p>Resistencia al desgaste</p> <p>Baja Fricción</p> <p>Reducción de la corrosión</p> <p>Protección térmica</p>	<p>Carbono como diamante. (DLC)</p> <p>Nitruros de Titanio, Boro, Aluminio y Silicio (TiN, BN, AlN, Si₃N₄)</p> <p>Carburos de Boro, Silicio y Titanio (B₄C, SiC, TiC)</p> <p>Óxidos de Aluminio, Zirconio y Berilio. (Al₂O₃, ZrO, BeO)</p> <p>Disulfuro de Molibdeno (MoS₂), Nitruro de Boro (BN), Fluoruro de Bario (BaF₂)</p> <p>Óxidos de Cromo, Silicio, Aluminio, Magnesio (Cr₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, MgO), Nitruro de Silicio (Si₃N₄), Siliciuro de Calcio (CaSi₄), Aluminato de Magnesio (MgAl₂O₄).</p> <p>Óxido de Zirconio (ZrO) estabilizado con Magnesio o Calcio.</p>
<p>Eléctricas y Magnéticas:</p> <p>Ferro y Piezo-eléctricos</p> <p>Ferrimagnéticos</p>	<p>Titanato de Bario y Plomo (BaTiO₃, PbTiO₃), Niobato de Litio (LiNbO₃).</p> <p>Óxidos de Hierro y de Cromo (Fe₂O₃, CrO₂).</p>
<p>Ópticas:</p> <p>Absorción Selectiva</p> <p>Antirreflexión</p> <p>Guías de onda y fibras ópticas</p> <p>Sensores</p>	<p>Fluoruro de Bario (BaF₂), Sulfuro de Zinc y de Cadmio (ZnS, CdS), Óxidos de Cerio y Estaño (CeO₂, SnO₂).</p> <p>Óxido de Silicio, Aluminio y Talio (SiO₂, Al₂O₃, Ta₂O₅), Nitruro de Silicio(Si₃N₄).</p> <p>Óxido de Silicio (SiO₂).</p> <p>Óxido de Silicio, Estaño y Zirconio (SiO₂, SnO₂, ZrO₂).</p>
<p>Electrónicas:</p> <p>Semiconductores</p> <p>Aislantes</p> <p>Conductores</p>	<p>Silicio, Arseniuro de Galio (GaAs), Fosfato de Galio (GaP), Sulfuro de Cadmio (CdS).</p> <p>Óxido de Silicio (SiO₂), Nitruro de Silicio (Si₃N₄).</p> <p>Compuestos de Silicio-Cobalto (SiCo₂), Silicio-Cromo (SiCr), Silicio-Talio (SiTa₂), Silicio-Titanio (SiTi₂).</p>

Fuente:

J. M. Albella."Técnicas de Deposición Química en Fase Vapor (CVD)". *Láminas Delgadas y Recubrimientos*. Madrid, España, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003.

5.3 Técnicas PVD

5.3.1 Definición¹⁹.

La técnica de deposición física en fase vapor se conoce comúnmente como PVD por sus siglas en inglés. Consiste en la formación de una capa cerámica por medio de reacciones físicas en el interior de una cámara de vacío (reactor).

El proceso se basa en la formación de un vapor del material que se quiere depositar como capa delgada. En principio se parte del material sólido (material de aporte) que es sometido a un proceso de calentamiento o a un bombardeo intenso con partículas cargadas en forma de iones para vaporizarlo, de esta manera el vapor obtenido se condensa sobre la superficie del sustrato formando el recubrimiento.

Cuando en el proceso adicionalmente se introducen gases para la formación de compuestos cerámicos se denomina PVD reactivo. Por el contrario, cuando en el proceso se realiza solo con el material del blanco²⁰ y el gas inerte que lo vaporiza se denomina PVD no reactivo.

Alternativamente, es posible combinar las técnicas existentes e introducir nuevos elementos, lo que da origen continuamente a otras mejoradas. Esto sucedió por ejemplo, al utilizar la fuente de iones para bombardear directamente la superficie del sustrato durante el proceso de evaporación, con objeto de impartir más energía a los átomos evaporados y mejorar con ello las propiedades de la capa depositada como adherencia y densidad²¹. La técnica se denominó IBAD por sus siglas en inglés (deposición asistida mediante haces de iones) y es la más reciente dentro de las técnicas de PVD.

5.3.2 Tipos de PVD

Existen diferentes tipos de PVD dependiendo del proceso que se lleva a cabo para la evaporación. Sin embargo para la deposición de materiales cerámicos como recubrimiento se utilizan principalmente:

- Evaporación térmica (solamente para algunos materiales cerámicos como óxidos)
- Bombardeo Catódico o Sputtering

¹⁹ Las definiciones sobre las técnicas PVD esta basadas en diversos documentos como artículos, memorias de cursos, entre otros realizados por el ICMM y/o personal adscrito a este instituto.

²⁰ El blanco es el material de aporte para la formación del recubrimiento. Se le llama de esta manera porque es el objetivo del bombardeo que se realiza con los iones para vaporizarlo.

²¹ J. M. Albella. "Deposición Asistida mediante haces de iones IBAD". ICMM.

- Arco pulsado
- Ablación láser

5.3.2.1 PVD por evaporación térmica

Consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material a depositar. El vapor del material termina condensándose en forma de capa delgada sobre la superficie fría del sustrato. Normalmente el proceso de evaporación se hace a presiones reducidas (del orden de 10^{-6} o 10^{-5} Torr) con objeto de evitar la reacción del vapor con la atmósfera ambiente. A estas presiones bajas, el recorrido libre de los átomos de vapor es del orden de las dimensiones de la cámara de vacío, por lo que estas partículas viajan en línea recta desde la fuente de evaporación hasta la superficie de la pieza a recubrir.

Cuando la evaporación del material de aporte se realiza en una atmósfera reactiva, es decir, en la presencia de otro material en estado gaseoso, se denomina evaporación térmica reactiva. Este proceso requiere que el sustrato se caliente y se emplea para la formación de compuestos cerámicos cuando no se pueden depositar directamente, por ejemplo: en el caso de algunos óxidos metálicos. (Ver tabla 5.)²²

Tabla 5. Datos de Evaporación Reactiva de algunos Óxidos

Metal Evaporado	Óxido Depositado	Presión O ₂ (Torr)	Velocidad de deposición (Å/seg.)	Temp. Sustrato °C
Aluminio	Al ₂ O ₃	$10^{-5} - 10^{-4}$	~1	400- 500
Cromo	Cr ₂ O ₃	2×10^{-5}	~1	300- 400
Tantalo	Ta ₂ O ₅	$10^{-4} - 10^{-3}$	~2	700- 900
Titanio	TiO ₂	10^{-4}		300
Bario+Titanio	BaTiO ₃	10^{-2}	2-8	770-1025

En las técnicas de evaporación térmica, el calentamiento del material de aporte puede llevarse a cabo por diferentes métodos, pero para recubrimientos cerámicos solo se utilizan:

²² J. M. Albella. "Técnicas de Deposición Física (PVD)". *Láminas Delgadas y Recubrimientos*. Madrid, España, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003. Pág.15.

- a) **Calentamiento mediante resistencia.** La evaporación del material de aporte se lleva a cabo mediante el paso de corriente eléctrica, bien sea a través de un filamento o bien de una placa metálica sobre la cual se deposita. De esta manera, el material en forma de vapor se condensa sobre el sustrato formando el recubrimiento.
- Esta técnica es simple pero debido a que la temperatura de evaporación de los cerámicos es alta solo se utiliza para depositar algunos materiales cerámicos y compuestos cerámicos con bajo punto de fusión, tales como el óxido de Silicio.
- b) **Calentamiento por haz de electrones.** Aquí la evaporación del material de aporte se logra por bombardeo intenso de electrones de alta energía procedentes de un cañón de electrones.
- Esta técnica en cambio da la posibilidad de evaporar materiales con alto punto de fusión, pero requiere de equipo más complejo –cañón de electrones-, lo que la hace más costosa.

Ventajas y Desventajas de PVD por evaporación térmica:

- Las películas pueden depositarse a altas velocidades (del orden de media micra por segundo).
- Como el sustrato no es calentado no sufre alteraciones.
- La baja energía de los átomos que se depositan hace que el impacto superficial sea leve. Sin embargo, lo anterior da lugar a fenómenos de 'sombreado' en piezas con volumen, sobre todo en aquellas regiones que no son directamente accesibles desde la fuente de evaporación.
- En estas técnicas de evaporación térmica la energía media de llegada de los átomos de vapor a la superficie del sustrato suele ser baja, lo cual puede afectar seriamente la morfología de las capas, resultando frecuentemente un material poroso y poco adherente.
- Las desventajas significativas son la dificultad de controlar la composición de los recubrimientos formados y que se presentan variaciones en el espesor del recubrimiento.
- En el caso de los compuestos cerámicos puede haber problemas de disociación²³, por lo cual el uso de estas técnicas está limitado a compuestos cerámicos que no se disocian a temperatura de evaporación, tales como: los óxidos de Silicio, Estaño, Germanio, Boro (SiO, SnO, GeO, B₂O₃), y los fluoruros de Calcio y Magnesio (CaF₂, MgF₂)²⁴.

²³ Es la separación de los componentes de una sustancia mediante alguna acción física o química.

²⁴ J. M. Albella. "Técnicas de Deposición Física (PVD)". *Láminas Delgadas y Recubrimientos*. Madrid, España, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003. Pág.13.

5.3.2.2 PVD por bombardeo Catódico o Sputtering²⁵

La idea general de esta técnica es evaporar el blanco –material sólido a depositar- mediante el bombardeo superficial con iones de gas muy energéticos obtenidos por la ionización de un gas inerte, que generalmente es Argón por ser el mas estable, menos reactivo y de menor costo.

El proceso inicia con la formación del plasma generado por diferencia de potencial -ionización del gas-, lo que da lugar a que los iones sean atraídos por el cátodo, donde se encuentra el blanco, y al impactar sobre éste, arranquen los átomos del material dejándolos libres para depositarse en el sustrato, para la consiguiente formación del recubrimiento. Paralelamente los electrones que quedan libres al ionizarse el gas inerte son atraídos por el ánodo donde se encuentra el sustrato, generando una corriente eléctrica que favorece la deposición del recubrimiento en la superficie. (Fig. 34)

5.3.2.2.1 Tipos de Sputtering

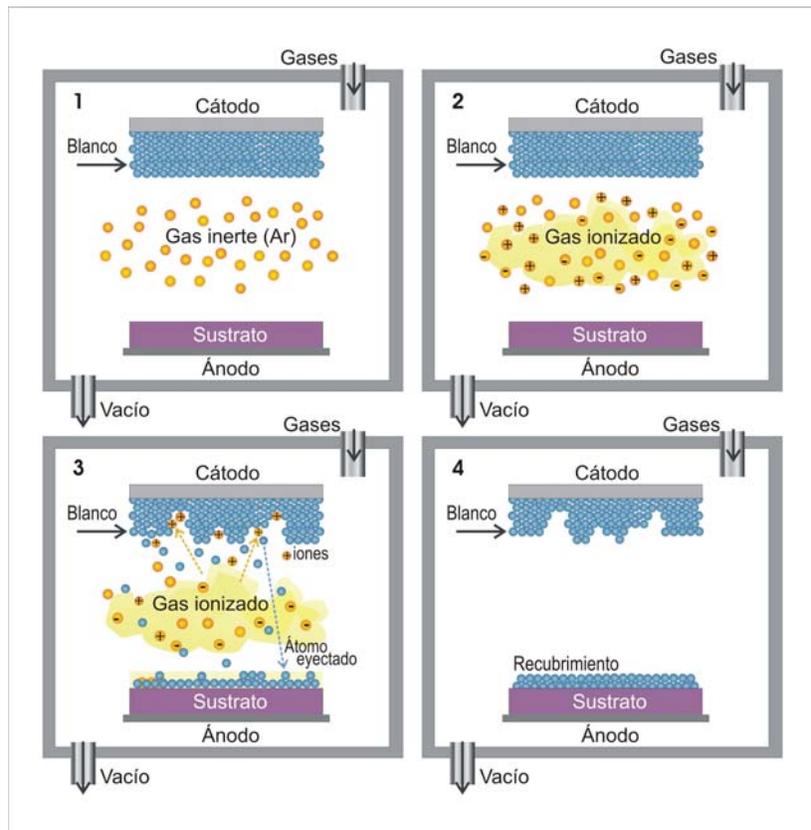
El termino Sputtering engloba un gran numero de técnicas, que van desde la simple descarga por corriente directa en materiales conductores, al más sofisticado de los magnetrones de Sputtering funcionando en radiofrecuencia. Sin embargo, puede decirse que hay tres técnicas principales:

Técnicas de Sputtering	
Sputterin DC	Utiliza una fuente de voltaje DC (corriente directa) entre 1000 y 7000 V.
Sputtering RF	Usa una señal de radiofrecuencia de alta potencia entre 50 y 300 Watts.
Sputtering Magnetron	Puede ser con cualquier fuente (DC o RF) solo que en este caso al cátodo se le ponen imanes que generan campos magnéticos que aceleran o dan mayor energía a los iones de Argón, facilitando la evaporación del cátodo y en consecuencia la formación del recubrimiento.

²⁵Peter Martin. "Magnetron Sputtering". *Vacuum Technology and Coating*, February, 2007. Pág. 30

La propia naturaleza del proceso de Sputtering permite el uso de partículas ionizadas que gobiernen tanto la química como la estructura de los recubrimientos. Por ello a partir de las técnicas mencionadas anteriormente surgen constantemente nuevas técnicas que incorporan modificaciones para lograr una mayor eficiencia en el proceso de deposición y en las características de los recubrimientos. Así por ejemplo, en nuevas técnicas como son el "Bias Sputtering" y el Sputtering asistido por iones (IBS) se bombardea la película mientras se esta formando. Esto potencia la movilidad de los átomos adsorbidos por el sustrato, lo cual mejora las características del recubrimiento.

Fig. 34. Proceso Sputtering por etapas



El diagrama ejemplifica las etapas de deposición de películas a través de la técnica de sistema Sputtering. El sistema básico está constituido por un par de electrodos planos. Uno es el cátodo y el otro el ánodo. En la cara del cátodo que da al plasma se sitúa el blanco que se quiere evaporar. En el ánodo se coloca el sustrato a recubrir. Cuando en la cámara de Sputtering se logran las condiciones de vacío adecuadas (presión de 0.1 Torr aprox.), se aplica a los electrodos, a través de unas resistencias unos kilovoltios para producir el plasma. Los iones de Ar que es el gas que se ioniza (plasma) son atraídos hacia el cátodo, los cuales por alto nivel de energía que tienen impactan sobre el material depositado en este evaporándolo, tras lo cual estos átomos libres son atraídos por el ánodo yéndose a depositar sobre el sustrato formando el recubrimiento. Fuente: ICMM.

5.3.2.2.2 Ventajas

El Sputtering es uno de los métodos para la deposición de capas delgadas que más se usa en la actualidad. Su popularidad se deriva de la sencillez del proceso físico comparativamente con las técnicas de CVD, de la versatilidad de la técnica, de la flexibilidad y las posibilidades de personalización para aplicaciones específicas que ésta ofrece.

Por otro lado, en los materiales cerámicos que debido a su alto punto de fusión, se evaporan con dificultad o no se evaporan mediante otras técnicas, pueden ser depositados con facilidad por este método sin alterar las características del sustrato.

Una ventaja adicional de este método es que permite la obtención de capas con espesores nanométricos (entre 1 y 5 nanómetros).

Su uso está ampliamente extendido a las industrias de semiconductores, de medios de grabación, del automóvil, cristalera, así como otras más específicas, como por ejemplo en la fabricación de sensores o sistemas ópticos. Sin embargo donde encuentra mayor aplicación es en la generación de recubrimientos sobre herramientas de corte.

5.3.2.3 PVD por arco

La técnica por arco es muy similar a la de sputtering (ver fig. 35), la diferencia radica en la manera en que se ioniza el gas y se genera el plasma.

En este caso el plasma se produce a través de un dispositivo denominado trigger, el cual genera una chispa (un flujo de electrones descontrolados), los cuales al chocar con el gas de trabajo (argón) lo ionizan.

La ubicación del trigger depende de los sistemas, en algunos se pone paralelo al ánodo (sustrato) y al cátodo (blanco), pero en otros, se perfora el cátodo con un pequeño orificio en el centro y aislando eléctricamente se introduce el trigger, quedando una pequeña apéndice sobresaliente de la superficie del cátodo por donde se emite la chispa que activa la reacción.

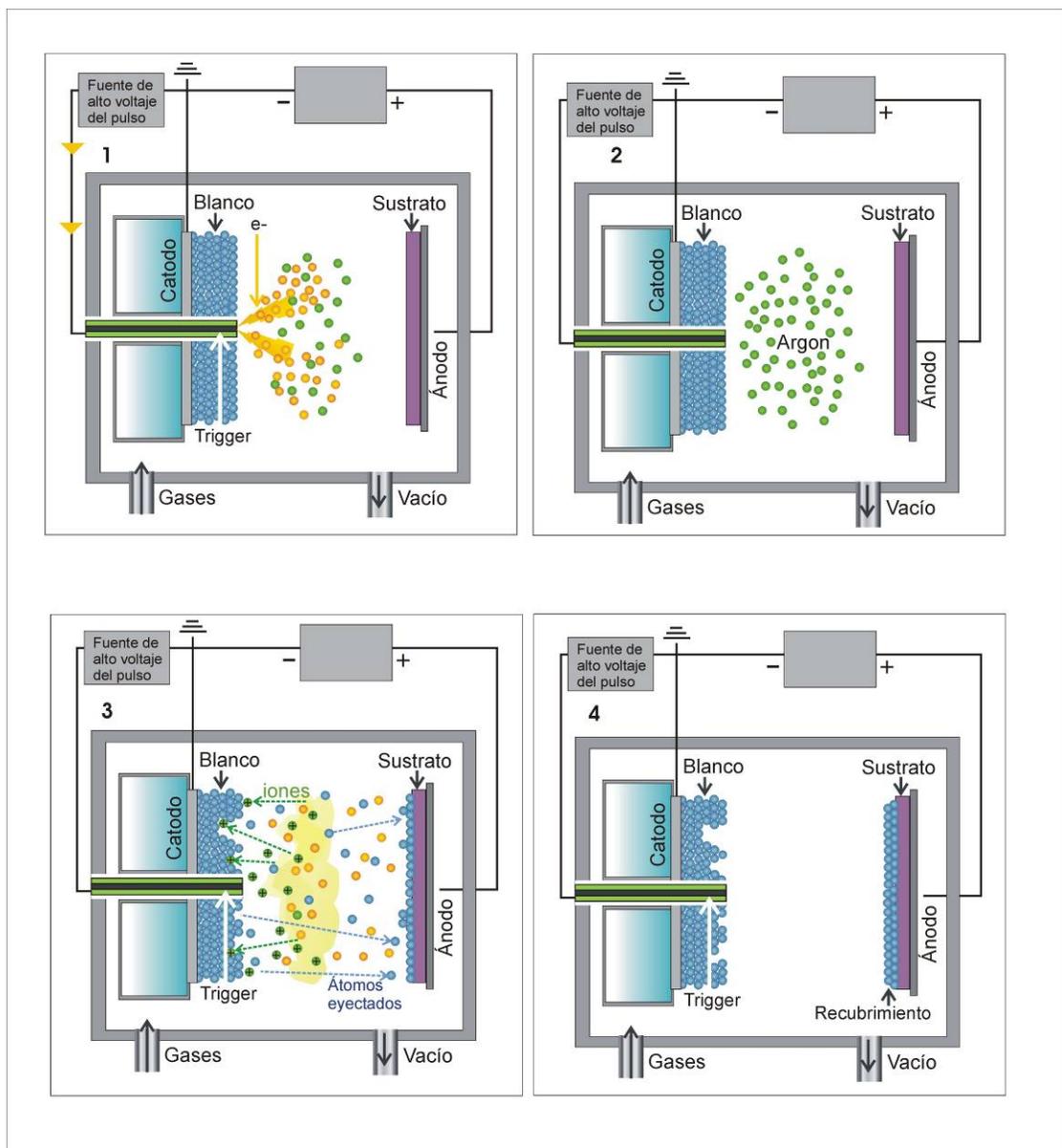
Esta técnica se subdivide en:

-Arco Pulsado

-Arco continuo

La diferencia entre uno y otro es la duración, el arco continuo puede durar desde unos cuantos segundos hasta varios minutos, en cambio el arco pulsado dura desde unas cuantas milésimas de segundo hasta 1 o 2 segundos como máximo.

Fig. 35. Proceso PVD por Arco por etapas



5.3.2.4 PVD por Ablación Láser o PLD

Una de las técnicas de depósito de películas delgadas que ha dado notables resultados en los últimos años es la de ablación láser, o PLD por su sigla en inglés (Pulsed Laser Deposition).

Inicialmente esta técnica era poco considerada debido a su tendencia de depositar macropartículas junto con átomos y moléculas, lo que ocasionaba alteraciones en las características del recubrimiento depositado. Sin embargo, debido al éxito para depositar capas finas de cerámicas superconductoras de alta temperatura crítica, se despertó un gran interés en el perfeccionamiento de la técnica, utilizándose hoy ya en escala industrial.

Conceptualmente PLD es extremadamente simple, como se ilustra en forma esquemática en la figura 36. La configuración experimental más resumida consiste en un sustrato enfrentado paralelamente al blanco. Un haz de alta intensidad de láser pulsado se hace incidir sobre el blanco, vaporizándolo y depositando una película delgada sobre el sustrato. Usualmente este proceso se lleva a cabo en vacío. En caso que se utilice un gas o aire se le denomina ablación láser reactiva y es ampliamente usada para cierto tipo de materiales.

Fig. 36 Esquema General de PVD por Ablación Láser

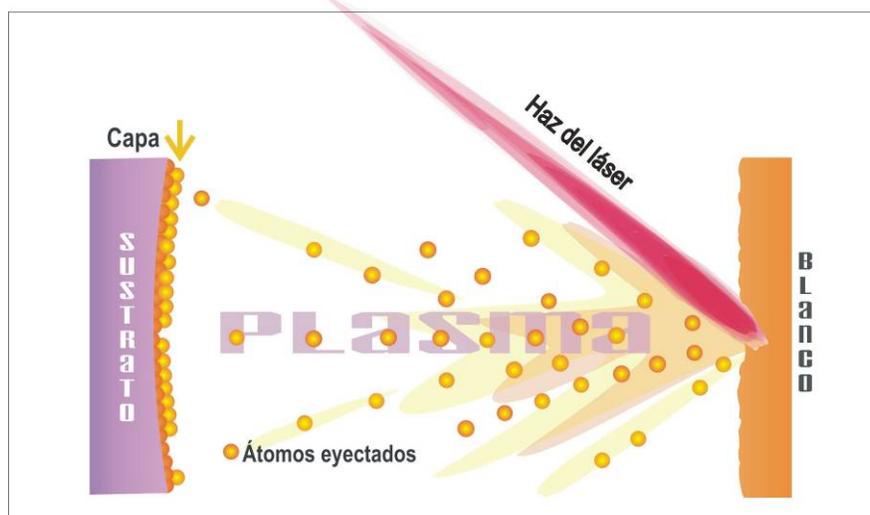


Tabla. 6. Síntesis comparativa de las técnicas PVD. Fuente: ICMM

Técnicas PVD	Características	Temperatura	Presión	Materiales y Aplicaciones
Evaporación Térmica	<ul style="list-style-type: none"> *Gran adherencia de las películas al sustrato *Alta velocidad de deposición. *El sustrato no es calentado *Baja energía de los átomos que se depositan provocando daño superficial leve. *Fenómenos de 'sombreado' en piezas de 3D sobre todo en aquellas regiones que no son directamente accesibles desde la fuente de evaporación. *Difícil control de los compuestos formados. *Variación del espesor del depósito. 	Depende del punto de fusión del material a depositar.	Baja 10^{-6} - 10^{-4} Torr	Principalmente óxidos como SiO, SnO, GeO, B ₂ O ₃ y nitruros refractarios.
Sputtering	<p>Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> *Deposición a baja temperatura sin necesidad de calentar el blanco. *Deposición de materiales de alto punto de fusión. *Buena adherencia de la película depositada. *Permite la obtención de capas graduales y de nanocapas <p>RF</p> <ul style="list-style-type: none"> *Puede trabajar a presiones bajas *Permite depositar materiales aislantes. Permite recubrir materiales no conductores. <p>Magnetron:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Puede trabajar a presiones bajas. *Velocidad de deposición más alta (1-3 nm/sg). *Permite recubrimiento de grandes áreas y formación de multicapas. *Permite aislar el sustrato de la región de descarga evitando el bombardeo de los iones de la descarga lo que puede alterar la película. 	480-550°C	Baja 10^{-2} - 10^{-4} Torr	<p>Carbono amorfo, como recubrimientos de alta dureza y</p> <p>Sulfuro de molibdeno (MoS₂) bajo coeficiente de fricción en herramientas de corte,</p> <p>Carbonitruros, Nitruros y Óxidos como TiN, ZrN, ZrCN usados como recubrimientos decorativos en vidrio, plástico, grifería, etc.</p>
Arco	<p>Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> *Permite realizar tratamientos termoquímicos previos al recubrimiento cerámico en una sola etapa. 	<p>~ 600°C para rec. duros</p> <p>~ 450°C para rec. De bajo coeficiente de fricción.</p>	Baja 10^{-2} - 10^{-5} Torr	TiN, TiCN, ZrN, AlTiN, CrN como recubrimientos duros para resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción
Ablación Láser	<p>Generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Permite la deposición de capas finas de superconductores. *No requiere de alto vacío. *Permite evaporar grandes cantidades de material. *Formación de películas densas. 	<p>~ 600°C para rec. duros</p> <p>~ 450°C para rec. De bajo coeficiente de fricción.</p>	Presión baja 10^{-2} - 10^{-5} Torr	Películas nanoestructuradas de Silicio para usos ópticos.

5.4 Las Nuevas Técnicas en la Industria

Aunque estas técnicas se han desarrollado principalmente para depositar recubrimientos destinados a mejorar el comportamiento superficial de los materiales frente a problemas de corrosión, desgaste y oxidación a los cuales se encuentran expuestos en el uso. Algunos de los resultados obtenidos hasta la fecha con ciertos materiales, han generado también expectativas en el sector industrial para su uso decorativo.

Como se menciona anteriormente, la primera técnica que se incorporó al sector industrial fue el CVD térmico para recubrimiento de herramientas de corte. No obstante, la información consultada respecto a las aplicaciones industriales derivadas de estas técnicas hace alusión principalmente a la implementación de procesos PVD y entre ellos puntualmente a los métodos de PVD por arco eléctrico y Sputtering.

Esta situación obedece en parte, a que el método con mayor desarrollo entre los CVD es el térmico y dadas las altas temperaturas con que se opera en éste, su aplicación se ve limitada a productos que las toleren. De ahí se deriva que a la fecha siga siendo usado para aplicar recubrimientos tanto funcionales como decorativos principalmente sobre herramientas, piezas de matricería y conformado; y en áreas alternas como la electrónica para aplicaciones muy específicas. En la fabricación de sensores CCD utilizados en las cámaras fotográficas digitales por ejemplo, el depósito de capas delgadas de óxido de silicio utilizadas como aislante eléctrico, se realiza mediante esta técnica²⁶.

Un punto a resaltar dentro de las aplicaciones industriales de los procesos de CVD, es que con el desarrollo de las técnicas basadas en la formación de plasma como son PACVD-RF y PACVD-MW en las que no se requiere calentar el sustrato a altas temperaturas, se están explorando nuevas posibilidades de aplicación de capas delgadas sobre sustratos plásticos. Tal es el caso, por ejemplo de la aplicación de capas de carbono tipo diamante (DLC) en botellas de PET para envases.

La empresa japonesa fabricante de máquinas de moldeo de botellas PET Nissei ASB Machine en colaboración con Mitsubishi Shoji Plastics Corporation y Youtec Co., fabricante de unidades de

²⁶ Antonio Espejo. "El precio y la calidad de la cámara digital dependen de las características del sensor". El país. España. 8 de Enero de 2004.

CVD de plasma está iniciando la comercialización de una botella de PET de alta barrera para cerveza. La maquina desarrollada para tal efecto llamada HBB-8 proporciona el recubrimiento de DLC para 2000 botellas por hora, con un espesor de capa promedio que oscila entre 20-40 nanómetros²⁷.

Una de las limitantes más significativas que presentan los envases de PET para utilizarse en bebidas, sobre todo sensibles al Oxígeno como la cerveza, es el alto nivel de permeación del gas que tiene el material. Por ello, se ha buscado desde hace tiempo el incremento de las propiedades de barrera de gas mediante procesos alternos como la inyección de capas múltiples con plásticos que tengan un nivel de barrera de gas alto –con lo cual se logra aumentar de 2 a 3 veces las propiedades de barrera respecto al solo material-, pero esto implica el aumento del costo de producción.

Según pruebas realizadas a las botellas de PET recubiertas con este equipo, las capas de DLC aplicadas tienen una propiedad de barrera de gas 20 veces más alta que la botella de PET común, casi equivalente al envase de vidrio a pesar de su ligereza. Otras características son: que tienen una ligera coloración café dependiendo del espesor de la capa, su claridad es muy alta, tiene gran flexibilidad debida a la presencia de Hidrógeno por lo tanto evita la figuración contra la deflexión de la botella y por la influencia del carbono posee resistencia a los rayos ultravioleta; por estas razones se presenta como alternativa para envases destinados a cerveza, vino y otras bebidas que contienen vitaminas, y también al envasado de alimentos con requerimientos similares como son: la mayonesa y productos que contengan jitomate, entre otros. Actualmente la solicitud para la aprobación por la FDA esta en proceso, por lo que se prevé una rápida inserción de esta técnica en el campo de producción de envases para bebidas y alimentos. Uno de los factores que se esta buscando reducir es su costo, el cual es equiparable al de la botella de PET convencional de capas múltiples.

Por otra parte, comparativamente las técnicas PVD al manejar temperaturas que dependiendo del material de depósito oscilan entre medias y bajas admiten mayor flexibilidad de los procesos y pueden usarse para el recubrimiento de una amplia variedad de materiales.

Para este caso se adoptará la clasificación más general de los recubrimientos según su aplicación para hacer referencia a estos desarrollos:

²⁷ Fuente: Nissei ASB Machine. Página de internet: <http://www.nisseiasb.com.mx>

→ Fig. 37 Piezas de mecanizado recubiertas con una capa de Nitruro de Titanio por PVD.
Fuente: Plasmante.

→ Fig. 38 Molde para luces traseras de automóvil recubierto por PVD con Nitruro de Titanio Replikote™, de la empresa Richter Precision Inc.
Fuente: Richter Precision Inc.



- Técnicos o Funcionales
- Decorativo

5.4.1 Recubrimientos Técnicos

Capas Duras.

Como se ha mencionado la característica que captó la atención de la investigación por años en el sector de los recubrimientos fue la dureza, de ahí que este tipo de recubrimientos hayan sido los primeros en introducirse en el sector industrial, dado el grado de conocimiento sobre el manejo de las variables y materiales para lograr su deposición.

Las capas depositadas por técnicas PVD se introdujeron a partir de los mismos materiales usados en las técnicas CVD, siendo el nitruro y el carburo de Titanio con una dureza cercana a los 400 HV y una temperatura de oxidación de 800 °C los primeros en aplicarse industrialmente como recubrimientos funcionales, en el mismo sector de las herramientas de corte y mecanizado (Fig.37), y posteriormente en piezas de matricería y conformado (Fig. 38).

Hoy en día este sector al igual que el sector automotriz son en quienes está concentrada la aplicación de estas técnicas.

Principales aplicaciones:

Herramientas para conformación: Punzones y matrices de corte, herramientas de estampado e Inyección.

Herramientas de corte por arranque de viruta: fresas, brocas, machos, herramientas en metal duro.

Componentes mecánicos de precisión: componentes sujetos a elevados ciclos productivos de desgaste, instrumentos quirúrgicos, bioimplantes.

Una característica de esta inserción a nivel industrial es que las técnicas de PVD se han especializado según las aplicaciones y los materiales específicos requeridos para esas aplicaciones, explorando las diferentes posibilidades que ofrecen estas técnicas en cuanto a las



→ Fig. 39 Pomos y bisagras de puertas en aluminio fundido recubiertas con nitruro y carburo de titanio por PVD, de la empresa SAVIO.



variaciones composicionales y estructurales en el depósito de los recubrimientos, como son las monocapas, multicapas y nanocapas.

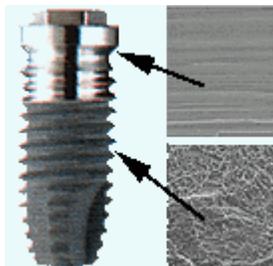
De esta manera, los recubrimientos duros para resistencia al desgaste a través de las técnicas de Sputtering por arco y por haz de electrones por ejemplo, se realizan principalmente para depósito de nitruros, carburos y carbonitruros como son el Nitruro de Titanio, Carbonitruro de Titanio, Nitruro de Cromo.

Así mismo, para recubrimientos de bajo coeficiente de fricción por estas técnicas la base del depósito son materiales con alto contenido de carbón y bajo porcentaje de metales como Wolframio, Molibdeno y Talio.

Otra situación derivada de esta implementación es el surgimiento de empresas que realizan sus propios desarrollos de equipo y compuestos cerámicos con base en modificaciones de estas tecnologías, que posteriormente patentan y comercializan bien sea a través de los productos que ellas mismas elaboran, en forma de servicio de recubrimiento²⁸ (Ver tabla 8), venta de materiales para depósito o como asesoría y fabricación de equipos bajo pedido para aplicaciones determinadas.

Sin embargo, la deposición de capas duras no es la única aplicación industrial existente, actualmente estas técnicas se han incorporado a otros campos, tales como:

En biomateriales²⁹. La principal característica que se valora en este sector es la



biocompatibilidad, pues se busca evitar tanto las reacciones alérgicas que desarrollan las personas frente a elementos con los que tienen contacto temporalmente como son el instrumental quirúrgico en medicina, o los aparatos de ortodoncia como frenillos y braquets, utilizados en odontología. O bien frente a elementos permanentes como los implantes, donde se busca evitar el rechazo por parte del cuerpo, a la par de favorecer la regeneración de los huesos y su adhesión al mismo; como también la mejora de la dureza superficial y resistencia a la corrosión de estos implantes.

²⁸ En México por ejemplo la empresa Sadosa, S.A de C.V. ofrece el servicio de recubrimiento por PVD para piezas como brocas, machuelos, cortadores verticales y circulares, rimas, sierras circulares de acero y carbono.

²⁹ Dra. En Física Julia Serra Rodríguez. "Recubrimientos Bioactivos para implantes dentales y ortopédicos". Grupo de Nuevos Materiales. Universidad de Vigo de España. Fuente: <http://webs.uvigo.es/jserra/>
L. Carreras, S. Bueno, F. Montala. "Aplicaciones Decorativas de las Técnicas PVD". Grupo TCC. Dep. de Recubrimientos Avanzados. Pág. 4.

Hasta la fecha se han aplicado satisfactoriamente a prótesis, implantes dentales, instrumental quirúrgico, aunque esta en fase de experimentación todavía.

Implantes dentales. El Titanio es ampliamente utilizado en la fabricación de implantes dentales ya que investigaciones realizadas sobre biocompatibilidad de materiales han comprobado que la biocompatibilidad de este material obedece a una fina capa de óxido que se forma espontáneamente en su superficie al estar en contacto con el cuerpo. Por tal razón en la actualidad a través de técnicas PVD de evaporación térmica y bombardeo catódico se está depositando una capa delgada de óxido de Titanio a los implantes de Titanio para incrementar el nivel de biocompatibilidad.

En recubrimientos de plástico y vidrio³⁰. En este campo prima la aplicación de capas delgadas de óxidos metálicos como filtros protectores de radiaciones U.V. e I.R., ya que su reducido espesor permite simultáneamente filtrar las radiaciones a la par de conservar un alto grado de transparencia, dos condiciones de suma importancia en ciertos usos como en el caso de los cascos de bomberos en los que se aplica sobre la pantalla protectora del visor.

En el sector automotriz. En este sector las capas por PVD se introdujeron ante la necesidad de reemplazar los metalizados de las autopartes que tradicionalmente se hacían por procesos de galvanizado. De esta manera, las capas de óxidos metálicos son los más usados en esta industria para el recubrimiento de los componentes plásticos tales como faros, espejos, etc.

5.4.2 Recubrimientos Decorativos

Aunque puede decirse que tanto el nivel de desarrollo de equipos como de aplicaciones se encuentran en una etapa temprana, donde gran parte de la experimentación se concentra aún en instituciones académicas y laboratorios de I+D. Hay industrias que hace años están comercializando productos con estos recubrimientos y de igual manera ofreciéndolo como servicio y desarrollo de equipo personalizado.

³⁰ Ibidem.

→ Fig. 40 Piezas de joyería recubiertas por PVD.
Fuente: Vacuum Surtec.

→ Fig. 41 Pág. Siguiende. Baldosas cerámicas
recubiertas por PVD.
Fuente: Vacuum Surtec.



Los materiales que se usan principalmente para deposición son los mismos que se emplean en la técnica CVD nitruros, carburos, óxidos. Precisamente, porque fue de su aplicación como recubrimientos funcionales que se observó el potencial decorativo de estos materiales. Ejemplo de ello es el recubrimiento de Nitruro de Titanio (TiN) que a la par de las características de dureza superficial que presenta, posee un llamativo color dorado, que le ha valido gran popularidad a nivel industrial, siendo incorporado por empresas como Citizen y Helvex a sus productos, la primera como recubrimiento de partes de sus relojes de pulso y la segunda en productos de grifería y partes de baño³¹.

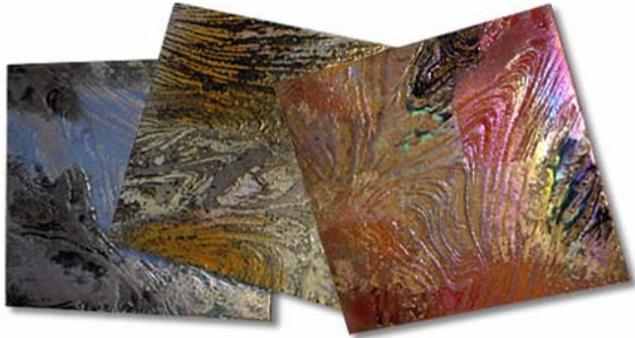
Por otra parte, el desarrollo del PVD decorativo³² como se ha denominado industrialmente, se ha centrado tanto en la obtención de capas cerámicas con nuevas texturas y colores, como también en el proceso de recubrimiento de materiales diferentes a los utilizados en los usos técnicos – aceros y aluminio- como bronce, latones y plásticos; y sobre todo en la consecución de procesos que permitan la reproducción estandarizada de color, brillo y adherencia de las capas cerámicas obtenidas. Dado que, como se ha mencionado, en estas técnicas al ser interdependientes las variables que intervienen en el proceso no es fácil conseguir un resultado constante y reproducible.

A diferencia de los recubrimientos funcionales donde priman las características de dureza y bajo coeficiente de fricción, en los decorativos los aspectos estéticos son fundamentales, por ello se hace necesario un estricto control de los parámetros involucrados. Así, aspectos como la limpieza superficial tan necesaria en estas técnicas cobra mayor importancia, de igual manera si la pieza a recubrir tiene un recubrimiento previo también es vital la calidad del mismo, pues como se menciona en el capítulo anterior cualquier imperfección en la superficie será copiada por la capa cerámica dado su delgado espesor.

Los campos de aplicación de estos recubrimientos cerámicos son diversos, aunque gran parte de sus aplicaciones está centrada en las industrias que los implementaron como acabado funcional como el sector de las herramientas y el sector automotriz, debido a que encontraron en sus colores una característica de diferenciación de sus productos en el mercado. No obstante en otras áreas

³¹ Dr. Ing. Química. David Turcio Ortega. Entrevista personal. Instituto de Materiales de la UNAM. México. 21 de febrero de 2007.

³² Según Grupo TCC. Departamento de Recubrimientos Avanzados.



sus aplicaciones van desde el menaje de cocina, bisutería, construcción, biomateriales hasta la ornamentación en general.

Un denominador común en estos recubrimientos, es que sobresalen las tonalidades metálicas en sus colores, entre las más conocidas debido a su demanda porque imitan al oro viejo están el dorado intenso y dorado más tenue de los Nitruros de Titanio y Zirconio respectivamente, que se aplican principalmente a elementos de construcción como grifería y artículos de baño. (Fig. 39)

Este fenómeno en los colores no es resultado de una tendencia como pudiera pensarse sino que obedece a dos razones, la primera es porque han sido implementados como reemplazo de procesos decorativos altamente contaminantes realizados con metales sobre sustratos metálicos como es el caso de los procesos de galvanizado, especialmente del cromado a partir del cromo exavalente, sustancia reconocida como altamente tóxica y prohibida a la fecha en muchos sectores industriales por nuevas reglamentaciones³³. De ello se deriva la necesidad de lograr colores que imiten el acabado que otorgan los metalizados, así como también ciertas variaciones que sufren los metales por el uso o por procesos a los que son sometidos, como el antes mencionado oro viejo o el latón pulido.

Esta situación ha dado lugar a un énfasis en el desarrollo de recubrimientos cerámicos basados en carbonitruros, oxinitruros y óxidos con los que se consigue realizar las imitaciones, que a la par permiten leves variaciones de color dependiendo de la proporción de los gases a la hora del depósito de la capa en el sustrato.

En segunda instancia, se debe a la limitada cantidad de materiales que se encuentra disponible para realizarlos. La pregunta que surge entonces es ¿por qué si constantemente oímos del acelerado desarrollo de nuevos materiales cerámicos y de las técnicas para depositarlos, no están disponibles? Porque lograr la microestructura y composición del recubrimiento cerámico durante la deposición para que se comporte de tal o cual manera en determinado uso es un proceso complejo que requiere de bastante experimentación y paciencia. Sobre todo si se tiene en cuenta que dependiendo del método varía el resultado obtenido significativamente, es decir, no es lo mismo un recubrimiento de Carburo de Titanio depositado por CVD térmico que depositado por CVD asistido

³³ Chromium CAS # 7440-47-3 "Agency for toxic substances and Disease Registry ATSDR". Febrero de 2001. Fuente: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>

por plasma, los índices de dureza y adherencia por ejemplo son mayores en el obtenido vía térmica. No obstante, el panorama no es desalentador para nada porque a pesar de que el abanico de materiales aún es reducido comparativamente con la gama que ofrecen otro tipo de recubrimientos como los esmaltes, poco a poco se han ido introduciendo nuevos materiales en su mayoría compuestos que ofrecen características únicas. Consideremos que se requirió de una década más o menos para que los carburos y nitruros fueran desarrollados e incorporados en la industria, mientras que los DLC lo hicieron en un lustro, a medida que las tecnologías se van integrando al aparato productivo, las materias, los procesos, las aplicaciones que involucran se van expandiendo con mayor rapidez.

Entre las propuestas más recientes que se están desarrollando para su inclusión en usos decorativos, se encuentran los denominados materiales interferométricos³⁴, los cuales están basados en óxidos metálicos que al ser depositados en forma de capa delgada (del orden de nanómetros) por técnicas PVD son transparentes. Por ello difractan la luz consiguiendo efectos tornasolados o irisados con mezcla de colores del espectro de descomposición de la luz. También por esa línea se encuentran los recubrimientos termocromáticos³⁵, los cuales se desarrollan primordialmente para su uso en sensores pero que sin embargo presentan grandes expectativas para decoración.

³⁴ L. Carreras, S. Bueno, F. Montala. "Aplicaciones Decorativas de las Técnicas PVD". Grupo TCC. Dep. de Recubrimientos Avanzados. Pág. 4.

³⁵ Fuente: ICMM

Tabla. 7 Características de los recubrimientos cerámicos por PVD más utilizados en la industria

Propiedades	TiN Nitruro de Titanio	TiC Carburo de Titanio	ZrN Nitruro de Zirconio	CrN Nitruro de Cromo	W-DLC Carbon tipo diamante con Wolframio	MoC Carburo de Molibdeno
Dureza HV	2500+/-400	2800+/-300	2500+/-300	2100+/-300	1250+/-250	2000-1500
Temperatura de Oxidación °C	500+/-50	400+/-50	450+/-50	650+/-50	350+/-50	300-400
Coeficiente de fricción	0.65-0.70	0.45-0.60	0.65-0.70	0.50-0.60	0.15-0.30	0.3
Ductilidad	Buena	suficiente	suficiente	Muy buena	Buena	Muy buena
Color	Dorado	Gris	Dorado claro	Gris	Negro	Gris oscuro

Fuente: Grupo Galol (empresa española especializada en el recubrimiento de piezas metálicas). <http://www.galol.com/esp/home.html>

Tabla. 8 Precios del servicio de recubrimiento con compuestos cerámicos por PVD

Diámetro / Largo	Hasta 94 mm				150 mm – 230 mm			
	TiN	TiC	TiCN	AlTiN	TiN	TiC	TiCN	AlTiN
Brocas de acero								
2 mm.	0.79	0.95	0.99	1.11	1.39	1.67	1.74	1.95
4 mm.	1.44	1.73	1.80	2.01	2.52	3.02	3.15	3.53
10 mm.	3.39	4.07	4.24	4.74	5.61	6.73	7.01	7.85
Brocas de carburo								
2 mm.	1.03	1.24	1.29	1.44	2.35	2.81	2.93	3.28
4 mm.	1.86	2.24	2.33	2.61	4.24	5.09	5.30	5.94
10 mm.	4.05	4.86	5.07	5.68	10.77	12.92	13.46	15.08

TiN Nitruro de Titanio - **TiC** Carburo de Titanio - **TiCN** Carbonitruro de Titanio - **AlTiN** Nitruro de Aluminio y Titanio

*Los precios están en dólares americanos (2006)

Fuente: Empresa Mexicana Sadosa, S.A. de C.V. Página de internet: <http://www.sadosa.com>

5.5 En que va la Investigación

5.5.1 Desarrollo e investigación sobre recubrimientos cerámicos en México y Colombia

En la actualidad las nuevas técnicas de deposición de recubrimientos cerámicos son conocidas en profundidad en el ámbito académico. En éste continuamente se están realizando estudios sobre nuevos materiales cerámicos y sus posibles aplicaciones mediante la utilización de estas técnicas. Sin embargo, la etapa de experimentación aún se encuentra salvo contadas excepciones a nivel de laboratorio.

Tanto en México como en Colombia los institutos y laboratorios de investigación adscritos a las universidades son quienes adelantan en su mayoría este tipo de investigaciones. La diferencia radica en la vinculación academia-industria, la cual ha obtenido mejores resultados en Colombia a partir de iniciativas aisladas de algunos laboratorios.

5.5.1.1 ¿Qué se ha hecho en México?

5.5.1.1.1 Superconductores

En el Instituto de Investigaciones en Materiales y en el Instituto de Física, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México, se ha logrado la preparación de estos materiales muy poco después de su descubrimiento. Sin embargo, a casi veinte años de este importante hallazgo, muy pocos investigadores en México permanecen trabajando en este campo. Las investigaciones en la aplicación de estos materiales ni siquiera se iniciaron (salvo por unos pocos casos de esfuerzos individuales que no han podido continuarse), a pesar de que el universo de las aplicaciones tecnológicas de los superconductores esta demostrando ser muy amplio.

5.5.1.1.2 Otros Proyectos

Por otra parte, tan solo en la UNAM a nivel de investigación pueden citarse un número significativo de proyectos relacionados con el estudio de las propiedades de los materiales cerámicos, algunos concentrados en aplicaciones puntuales pensando en su futura aplicación industrial. Algunos de ellos son:

En el Instituto de Materiales el Dr. En Metalurgia Julio Juárez Islas estudia la síntesis de materiales nanoestructurados, buscando obtenerlos por molienda fina y a baja temperatura para reducir el

costo de su producción. Adicionalmente, Juárez Islas coordina el Programa Universitario de Ciencia e Ingeniería de nuevos materiales de la UNAM.

Por otro lado, el Dr. En Ciencias Luis Enrique Sansores Cuevas, Director del Instituto de Investigaciones en Materiales, estudia la simulación de nuevos materiales con propiedades especiales para aplicaciones específicas, como es el caso de las propiedades catalíticas de nanoestructuras metálicas. El modelaje informático que incluye el comportamiento teórico directo de los materiales en función de sus propiedades estructurales, magnéticas y eléctricas, así como los procesos de síntesis de los mismos. De igual manera, el comportamiento de micropartículas y su aplicación en pinturas y nanodispositivos.

En el Departamento de Materia Condensada y Criogenia, el Dr. En Física Doroteo Mendoza López estudia las propiedades del carbono 60 (fullereno), aplicándolo a polímeros y películas donde el fullereno está combinado con otros materiales, asimismo, las propiedades físicas de las nanopartículas. Una de las metas de esta investigación es descubrir materiales laminados mejorados con recubrimientos formados por películas altamente resistentes.

Los investigadores Dr. Sandra Rodil y Dr. En Física del estado sólido Stephen Muhl se encuentran enfocados al estudio de las capas delgadas nanoestructuradas obtenidas por los procesos PVD de Sputtering y Arco Pulsado. En el caso puntual de capas cerámicas actualmente este grupo adelanta el estudio de películas delgadas de carbono amorfo con fines de biocompatibilidad.

Estas capas delgadas se vislumbran como una alternativa importante en la prestación de servicios de ciertos materiales a costos razonables. Por ejemplo, en medicina en el área de ortopedia se utilizan prótesis de una aleación entre aluminio y vanadio que cumple con los requisitos de compatibilidad para ser aceptada por el cuerpo y mecánicos de resistencia a los esfuerzos que requiere el mismo. Sin embargo, este material es muy costoso, por lo tanto no se encuentra a disposición de la mayor parte de la población que lo requiere. La investigación en este caso busca la deposición de capas cerámicas delgadas (carbono amorfo) en prótesis de acero inoxidable, por dos razones, la primera, es porque este material es mas accesible en costos aunque no posee las mismas características de la aleación mencionada, y la segunda, es porque el carbono amorfo aparte de ser biocompatible es muy duro, de esta manera además de aumentar la aceptación del cuerpo hacia la prótesis, mejoraría las prestaciones mecánicas del acero inoxidable.

↓ Fig. 42 Pieza cerámica del Templo Mayor recubierta con la pintura azul maya.
Fuente: Constantino Reyes

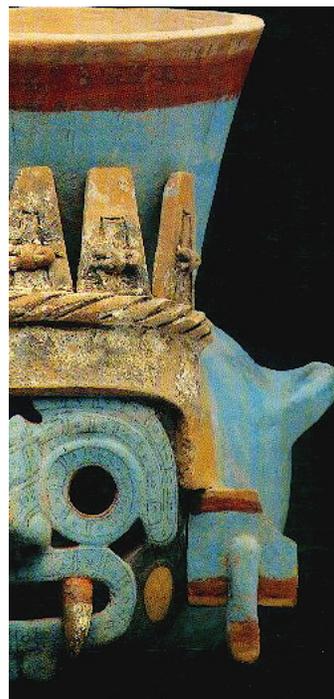
No obstante, la dificultad no radica solamente en realizar investigación. Aunque en instituciones y centros de investigación académica del país, se han venido desarrollando en el área de investigación de materiales, estudios sobre desarrollo de composiciones mejoradas para la obtención de recubrimientos de superficies que sean más resistentes a las condiciones medio-ambientales con miras a conservar por un mayor tiempo las características de aspecto y funcionalidad de las superficies recubiertas, son contados los ejemplos de aplicación directa.

5.5.1.1.3 Casos de aplicación e inserción en la industria

De la pintura azul maya a las nuevas pinturas altamente resistentes³⁶

En 1995, el PhD. En Física Miguel José Yacamán del Instituto de Física de la UNAM, la Dr. En Antropología Mari Carmen Serra Puche del Instituto Nacional de Antropología e Historia, y J. Arenas del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, efectuaron un estudio sobre la estructura molecular de la pintura azul maya, usada en Mesoamérica y la Colonia sobre vasijas, murales y artefactos ceremoniales, que es conocida por resistir ácidos minerales, álcalis, solventes oxidantes, agentes reductores, calor moderado y biocorrosión, manteniendo su color vivo durante siglos.

El punto de partida fue saber que esta pintura difiere de sus contrapartes europeas y asiáticas en que no tiene una base de cobre o de lapislázuli, ya que está conformada de índigo o añil comunes en la América Precolombina. En el estudio efectuado se encontró que la mezcla de poligorskita y el índigo, que debieron ser mezclados químicamente a temperaturas no mayores de 150 ° C en el momento de su fabricación, produjeron pequeñas impurezas de óxido de hierro nanoestructurado.



³⁶ La pintura mural prehispánica en México. Boletín informativo de Investigaciones Estéticas de la UNAM. Año 10, núm.20, junio, 2004.

Las impurezas siempre desestimadas en otros análisis por representar menos del 0.5 % de la muestra, fueron las que llevaron a los investigadores mencionados a descubrir que son estas "impurezas" las que le dan efectiva resistencia y permanencia del color. Adicionalmente se encontró que la pintura puede ser reproducida fielmente a bajo costo y con técnicas rudimentarias, al calentar barro de la región de Sacalum (al este de Río Bec, Campeche) mezclado con añil, que es obtenido por molienda fina de la planta xiuquilit (*indigophera sp.*), a una temperatura de 100 °C. Se concluyó en este estudio, que pequeñas dosis de material nanoestructurado permiten obtener una pintura resistente a condiciones extremas típicas de los bosques tropicales, y como se ha comprobado, persistente durante 1300 años, que es la antigüedad que poseen las piezas analizadas. En la actualidad, empresas como Du Pont exploran nuevas pinturas altamente resistentes con agregados nanoestructurados para ser comercializadas próximamente.

Recubrimiento cerámico (sol-gel) para artesanías en cobre

En el caso específico de los recubrimientos cerámicos, desarrollados a partir de una necesidad dentro del sector industrial, se encuentra el recubrimiento con base sílice para proteger de la corrosión y oxidación ambiental a superficies metálicas como cobre, plata y acero, desarrollado por el Laboratorio de Investigación en Materiales del Cinvestav- Querétaro.

En este desarrollo se realizó empleando el método vía húmeda sol-gel, donde la mezcla de los componentes da como resultado la obtención de soluciones de baja viscosidad que permiten la obtención de recubrimientos transparentes o de coloración ámbar, con espesores alrededor de 0.8 micrones, con la opción de generar recubrimientos de mayor espesor mediante la aplicación de capas múltiples. Su aplicación puede realizarse por diferentes procesos como inmersión, drenado, atomización o manualmente con brocha fina, dependiendo de la forma que tenga la superficie a recubrir, es decir si son placas metálicas o piezas de forma irregular. En general el proceso puede utilizarse para recubrimientos en el exterior y/o interior de objetos con formas complejas con espesores de varias micras o con un espesor uniforme sobre grandes áreas.

La primera aplicación de esta tecnología se dio en el caso específico de las artesanías en cobre realizadas en la población de Santa Clara del cobre, Michoacán ante la necesidad de este gremio artesanal de proteger sus artesanías de los factores ambientales, que corroían la superficie del cobre generando un aspecto desgastado y opaco del producto.

Hasta la fecha esta aplicación del recubrimiento cerámico en la artesanía ha permitido una mayor promoción y exposición de la producción artesanal conservando el aspecto de brillo uniforme en la superficie de los objetos, aunque aún no se encuentra ampliamente difundida.

5.5.1.2 ¿Que se ha hecho en Colombia?

A nivel de investigación en laboratorios, el caso de Colombia es similar al de México. Habiendo una inclinación marcada hacia el desarrollo de materiales cerámicos por las técnicas de sol-gel y PAPVD. Sin embargo, existen algunos laboratorios que han emprendido iniciativas que, mediante el trabajo conjunto han sido llevadas satisfactoriamente al sector industrial.

Este nexo industria-academia ha surgido por dos vías. La primera obedece al acercamiento por parte de la academia a la industria, situación en la que algunos laboratorios han logrado el acceso a equipos, instalaciones y personal de algunas empresas, principalmente de ingeniería, para trabajar conjuntamente en el proceso de experimentación y desarrollo de nuevos equipos, con la intención de llevar estas aplicaciones a nivel industrial. Así mismo se ha dado este acercamiento a la inversa, con empresas que se aproximan con un interés específico a los laboratorios para buscar asesoría, en este caso, pertenecen principalmente a la rama de suministros e insumos para la manufactura. Como estos laboratorios cuentan con el servicio de caracterización de materiales tanto otros laboratorios que adelantan investigación en el ramo que no poseen estos equipos como empresas, contratan estos servicios para conocer las características de los recubrimientos que desarrollan. Debido a esto, los laboratorios encuentran la manera de saber si están alcanzando los objetivos de desarrollo y las empresas por su parte reciben un diagnóstico acerca de las propiedades de sus recubrimientos. Este camino ha llevado a que se emprendan proyectos conjuntos entre la academia y las empresas con miras a mejorar las propiedades tanto a nivel de composición de materiales como estructura de las capas depositadas para aplicaciones industriales en casos específicos.

Sin embargo, en líneas generales puede decirse que esta relación es incipiente y requiere todavía de esfuerzos conjuntos de manera permanente, no intermitente como se viene realizando, para que se fortalezca y comience a dar frutos en el área de aplicación industrial.

El caso específico del Laboratorio de la Física del Plasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, ha logrado generar un vínculo con algunas empresas, que no solo ha resultado en la aplicación industrial de recubrimientos cerámicos a través de las técnicas de PAPVD por arco

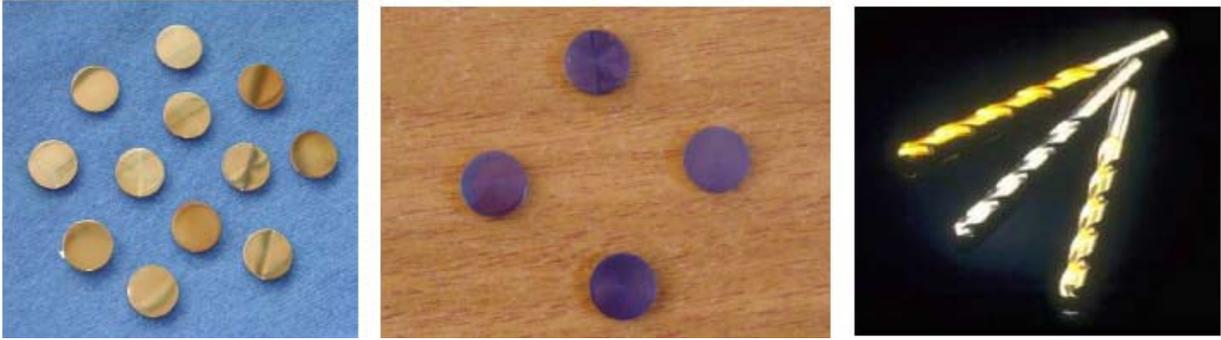


Fig. 43 Recubrimientos Superficiales mediante PAPVD Bicapas TiN/ZrN, Monocapas (Ti,Al) N y Brocas con recubrimiento TiN. Fuente: LAFIP

pulsado y sputtering, sino también en iniciativas para el desarrollo de nuevos equipos (condensadores), que permitan por una parte la aplicación de estos recubrimientos sobre piezas tridimensionales de mayor tamaño, y por otra, la accesibilidad por costo para las industrias. Dado que los equipos que se consiguen actualmente en el mercado por una parte están desarrollados para aplicaciones muy específicas, principalmente para uso a nivel de laboratorio o para áreas como la microelectrónica, que requieren los recubrimientos sobre muestras muy pequeñas y piezas laminares. Por otra parte también existen empresas que desarrollan equipos bajo pedido pero a costos que no son accesibles para las pequeñas y medianas empresas que conforman en su mayoría el aparato productivo nacional.

Como la investigación siguiendo las directrices a nivel mundial se ha enfocado principalmente a obtener recubrimientos cerámicos sobre sustratos metálicos, con el nivel de conocimiento actual es posible obtener una superficie de contacto perfectamente lisa y libre de porosidades entre prácticamente cualquier material cerámico y metal utilizando estos procesos de deposición. Por ello los acercamientos industriales en cuanto a recubrimientos han sido principalmente para la aplicación de capas protectoras y para el aumento de la dureza, sobre piezas metálicas como tornillos, termopozos, tuercas y brocas (Fig.43)

En cuanto al desarrollo de equipos, lo que se busca es reproducir el proceso a escala industrial. Teniendo consideraciones como: que en cada proceso de deposición de capas se logren recubrir varias piezas, que el depósito del recubrimiento pueda hacerse sobre volúmenes y que sea de espesor homogéneo. Así mismo, en el caso de la deposición de multicapas, que hacer la variación de material entre capa y capa no implique abrir el reactor porque eso representa variaciones significativas en las características de las capas obtenidas. Puede decirse que conforme a la experimentación y los requerimientos de las industrias, van surgiendo nuevos retos tecnológicos



Fig. 44 Esquema de un sistema industrial monoevaporador PAPVD, desarrollado por LAFIP. Fuente: LAFIP

para hacer viable una aplicación industrial, y este laboratorio esta trazando un camino que conjuga el trabajo conjunto entre varias facultades de la Universidad y otras instituciones con las empresas para lograr que estas tecnologías sean una realidad viable en el sector industrial.

En este momento por ejemplo, se encuentra en fase de prototipo el desarrollo de un sistema industrial monoevaporador para recubrimientos por las técnicas de PVD (Fig. 44), en el cual están trabajando estudiantes de maestría de física e ingeniería adscritos al laboratorio quienes son los encargados del diseño del equipo, junto con técnicos del SENA que son quienes desarrollan y hacen las partes del mismo. El objetivo es tener el primer equipo listo en el primer semestre de 2007 para comenzar a realizar pruebas de deposito de capas delgadas de nitruros y carburos sobre piezas pequeñas, e implementarlo como servicio adicional del laboratorio a empresas mientras se logra la estandarización de las variables para ser incorporado directamente a la industria.

El rol 6 del diseñador

frente a las nuevas tecnologías de recubrimiento
cerámico

La ciencia, la tecnología, el diseño, llevan implícita en mayor o menor medida la intención de maravillar¹. Sin embargo la industria ha logrado tal grado de sofisticación que la reproducción de tanta maravilla es tan rápida que no hay tiempo de digerir una novedad cuando ya aparece otra que la hace obsoleta. Pareciera que ya nada nos sorprende o que si bien logra sorprendernos lo hace por poco tiempo, de manera efímera, porque permanecemos a la expectativa de lo que vendrá y pensamos que lo que tenemos en nuestras manos será superado en un lapso muy corto. La percepción que tenemos de los cambios es tan acelerada como el desarrollo mismo de la innovación.

Una reflexión más puntual entorno a cómo se presenta la innovación tecnológica y se involucra al entorno artificial puede servirnos de guía para ver la importancia de conocer las nuevas tecnologías en cuanto a sus principios generales y cómo esto constituye un panorama de acción para el diseñador bajo otra óptica.

¹ Giulio Ceppi, "Proyecto y Maravilla: Figuras en la innovación de lo artificial". *Revista Experimenta Ediciones de Diseño*, núm.5, Madrid, Primavera, 1994. Pág. 26

Uno de los caminos por el que la maravilla se concreta es a través de la ciencia de los materiales, cuyo acelerado desarrollo de las últimas décadas ha favorecido el surgimiento de nuevos grupos de materiales, procesos y técnicas que aunque no comprendemos del todo, ya nos encontramos familiarizados con sus prestaciones, pues forman parte de nuestra vida a través de los objetos con los que interactuamos cotidianamente. Para darnos cuenta de ello solo hace falta detallar un poco nuestro entorno y encontraremos la maravilla materializada en cerámicas tan delgadas como el papel, papeles que resisten el calor del horno sin degradarse, lentes que se oscurecen con un aumento de la incidencia de luz, pieles sintéticas tan reales que son difíciles de diferenciar de las verdaderas, un sinnúmero de cosas que nos deslumbran pero que no sabemos de donde vienen.

En parte esta situación de estar más familiarizados con las prestaciones de la materia que con la materia misma obedece a que muchos de estos materiales en sus diferentes configuraciones no se revelan ante nuestros ojos de manera directa, por ejemplo lo que sucede con los microprocesadores en las computadoras: sabemos por referencias a veces mercadológicas que continuamente están evolucionando y cada vez mejoran su capacidad pero lo que nosotros realmente percibimos es el cambio en las características de la aplicación, es decir, que los computadores ahora son portátiles, más livianos, con mayor capacidad de almacenamiento de información, aunque, nuestra concepción de los microprocesadores sigue siendo la de un elemento perdido en el sistema. Ahora bien, así se presenten directamente ante nuestros sentidos, otra razón es nuestra percepción de conjunto, la cual hace que ni siquiera nos demos cuenta que están ahí porque percibimos al objeto y sus características como un todo, aunque en el fondo sepamos que lo que aporta cada componente que lo conforma es lo que permite que sea y se comporte de determinada manera cuando lo usamos. Al interactuar con un objeto por ejemplo, la superficie deja de ser simplemente el contorno que lo delimita para convertirse en la piel del objeto.

El diseñador al igual que el consumidor no escapa a este fenómeno, dado que todos estos materiales que aparecen en escena, con nuevas prestaciones inimaginadas, cambiando, mutando su comportamiento, generando secuencias constantes o cambiantes ante variables casuales del entorno, constituyen un panorama que también maravilla por lo que ofrece, una mina de oro para dejar volar la imaginación, pero que a menudo tampoco termina de entender, como dice Ceppi “se trata de una maravilla que nos convierte un poco a nosotros mismos en unos chamanes frente a un

→ Fig. 45 La empresa japonesa Konami acaba de lanzar en 2006 un híbrido entre el tamagoshi y el ipod llamado Otoizmu. Este animal virtual escucha y baila la música que el usuario escucha, con ella se alimenta, crece y desarrolla un aspecto de acuerdo al tipo de música que ha escuchado También memoriza oraciones y muestras de música que utiliza para hacer creaciones propias.



tótem: la leemos, interpretamos sus signos, pero no sus razones profundas²” porque finalmente lo que mas valoramos no es la propia materia y lo que subyace en ella sino lo que hace y lo que eso representa para nuestro quehacer.

Si bien esta capacidad del diseñador de interpretar la tecnología vislumbrando nuevos escenarios que permitan su integración a lo cotidiano, no es algo nuevo, no siempre es resultado del conocimiento y de la reflexión concienzuda de su utilidad respecto a las necesidades del entorno. A menudo se cae en el antagonismo de intentar incidir de manera positiva en las problemáticas actuales pero en la acción se termina contribuyendo a reafirmar los fenómenos que en teoría pretendemos frenar. De esta manera, podemos encontrar en el mercado ejemplos, como los “gadgets”, este término empleado para denominar ciertos artefactos con alto contenido tecnológico pero que al mismo tiempo parecen poco razonados y algo primitivos (Fig. 45). Los cuales se ofrecen en ruidosos y repetitivos comerciales en televisión a la par de un sin número de promociones junto con otros gadgets complementarios que sirven un poco como premio de consolación. Tienen un mercado enorme, ya sea por la facilidad para adquirirlos como por las promesas maravillosas atadas al último grito de la tecnología. Y su producción parece estar saltándose al diseño llegando directamente al consumidor, pero también el diseño parece hacerse el de la vista gorda ante esta dinámica intensa de producción y distribución sin sentido.

En épocas pasadas los límites a la imaginación del diseñador venían dados por la tecnología disponible, hoy en día la situación es muy diferente dado este frenético desarrollo. En contraposición, ahora lo que sucede es que hay tanta producción que no es posible darnos abasto para conocer todo lo que continuamente esta emergiendo. No obstante es necesario adoptar una visión analítica respecto a lo que continuamente aparece ante nuestros ojos, pues no toda respuesta tecnológica es adecuada para implementarse en el contexto industrial, cultural, ambiental, es decir, en nuestro contexto.

Conocer entonces, de donde vienen las prestaciones de los materiales que continuamente tenemos a disposición, a que obedece esta capacidad de mutar, cuales son las tecnologías que hacen posible que existan, cómo este desarrollo suscita cambios que retan las concepciones prefiguradas

² Ibidem. Pág. 26.

que tenemos sobre ellos, así sea a nivel general es un punto de partida que nos permite vislumbrar con mayor certeza cuál puede ser el impacto de las tecnologías a nivel cultural, ambiental, productivo al ser adoptadas.

Los cambios conceptuales derivados del desarrollo tecnológico de los materiales y las superficies

Lo que vemos en lo cotidiano donde las aplicaciones actuales de los materiales contravienen las características que tenemos asociadas a ellos –como la fragilidad a la cerámica, la suavidad a los textiles, la plasticidad a los polímeros- no son otra cosa que el reflejo a nivel macro de los cambios que se han operado a nivel micro y más recientemente nano en su estructura y composición.

El cambio de escala obedece como se ha visto en el documento al avance del conocimiento en la ciencia de materiales, y el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten por un lado, observar tanto la estructura como el comportamiento de la materia a nivel atómico y por otro manipularla a ese mismo nivel. Situación que no es otra cosa que la resultante del proceso seguido por la ciencia a la luz del paradigma vigente regido por el método científico, cuya tendencia a la especialización ha permitido el surgimiento de nuevas áreas del conocimiento avocadas al estudio de temas muy puntuales.

En el caso específico de los recubrimientos, el avance se ha derivado de la ingeniería de materiales y específicamente de la ingeniería de superficies. Trayendo consigo no solo la continúa emergencia de materiales con características cada vez más delimitadas sino también la reconceptualización teórica de las definiciones ante la imposibilidad de clasificar estos nuevos grupos bajo la óptica tradicional. Por ello, cuando en estas áreas se habla de materiales cerámicos realmente se está haciendo alusión a los compuestos cerámicos que son la combinación de materiales inorgánicos con metales generalmente, lo cual explica en parte el cambio que se ha operado en sus prestaciones al navegar sus características y comportamiento en un plano intermedio entre un grupo y otro. De este modo, encontramos nuevos cerámicos como el nitruro de titanio que aplicado como recubrimiento, a simple vista es percibido como metal dadas sus características físicas tales como color dorado y brillo metálico de la superficie, no por nada, muchas de sus aplicaciones decorativas se realizan buscando imitar el aspecto superficial de metales como el oro.

Una pregunta que surge entonces, en este contexto es ¿Por qué el desarrollo de nuevos materiales ha evolucionado hacia la generación de materiales compuestos? Quizás si al cambio de escala

citado anteriormente sumamos que su repercusión ha generado una tendencia a la miniaturización en los sectores productivos puede deducirse que una de las directrices que rige el desarrollo de materiales es hacer más con menos. La reducción en los volúmenes de los objetos en general, implica también una disminución del margen de tolerancia dimensional para las capas de recubrimiento por ejemplo, lo que obliga a que tengan cada vez de menor espesor pero cumpliendo la misma función. Por el contrario, en cuanto a prestaciones sucede lo inverso, aumentando la exigencia de los materiales en el uso, es decir, con necesidades cada vez más específicas y menos espacio es muy difícil que un solo material cumpla con todos los requerimientos demandados. En el caso de las celdas de combustible SOFC que están compuestas de capas cerámicas, se requiere un comportamiento muy delimitado para cada capa, así por ejemplo, como el electrolito debe ser conductor iónico y eléctrico a altas temperaturas se usa óxido de zirconio estabilizado con itrio, mientras que para un ánodo se requiere una capa porosa que se logra con zirconio/níquel.

Sin embargo, como se vio en el capítulo cuatro esta tendencia hacia los compuestos no solo se concreta en la composición de los materiales cerámicos utilizados para recubrimientos sino también en la estructura misma de ellos, a través de los recubrimientos en multicapas y los recubrimientos graduales, en donde las propiedades emergen del comportamiento conjunto de cada capa depositada.

Esta situación se da en medio de una relación simbiótica entre tecnología y ciencia que permite que los avances de la una se incorporen en la otra y viceversa evolucionando simultáneamente. En este contexto es evidente como las tecnologías se convierten en el medio que materializa estos desarrollos, magnificando a su vez el impacto de la ciencia al abrir nuevas posibilidades de aplicación en otros campos de acción. Alrededor de la años 70's cuando se comenzó a implementar la aplicación de capas delgadas por CVD sobre herramientas, su aplicación estuvo limitada a materiales que pudieran soportar las altas temperaturas del proceso, lo cual excluyó un número importante de productos. No obstante, la investigación tecnológica avocada a encontrar nuevas maneras de lograr los mismos resultados dio origen a otro tipo de técnicas para trabajar a temperaturas más bajas, lo que se tradujo en la ampliación del horizonte aplicativo para este tipo de recubrimientos, incorporándose a sectores como el automotriz por ejemplo que los usa sobre plásticos.

Por otra parte, en esta tríada de la maravilla surge la pregunta de ¿cómo se articula la relación de estas tecnologías con el diseño? La ciencia llega al diseño a través de la tecnología, constituyéndose esta última en un umbral que abre las puertas a nuevos campos de exploración, una herramienta que le permite configurar nuevas formas de comunicar³. En general a todas las disciplinas del diseño se les reconoce la capacidad de incidir en las personas, en su comportamiento, en su forma de vida⁴. No se puede desconocer que el entorno artificial que hoy nos rodea junto con las problemáticas que lo acompañan, lo ayudamos a construir los diseñadores. Habría que ver en esta dinámica de emergencia, materialización e interpretación qué mensajes transmitimos.

Siendo Responsables

Como se vio en el primer capítulo existen diferentes corrientes en el pensamiento de diseño surgidas de la preocupación por las problemáticas sociales, productivas y ambientales derivadas del proceso de construcción del ambiente artificial, proceso que desde la revolución industrial hemos venido realizando bajo el modelo expansionista⁵, que promueve el crecimiento desmedido, el hacer por hacer sin conciencia de límites. Llevándonos a una situación insostenible, que nos obliga a tomar una postura más activa en la disciplina y así mismo empezar a incorporar con mayor rigor la noción de límite dentro del proceso de diseño.

A través de los Procesos

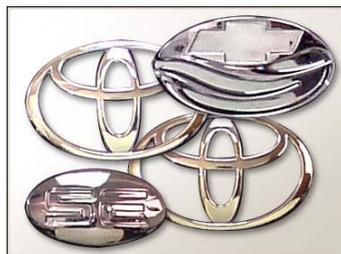
Una de las demandas que más fuerza está cobrando a nivel de producción, diseño, y tecnología, es la reducción del impacto ambiental que genera todo el aparato productivo, de ahí se deriva que constantemente en las diferentes áreas del conocimiento se busque concretar esta intención. Existen diferentes caminos por los cuales se puede apelar a este cambio, bien a través de la implementación de tecnologías limpias o sistemas de reciclaje que permitan incorporar nuevamente los materiales a los procesos productivos, alargando la vida útil de los productos,

³ Victor Margolin. "Global Expansion or Global Equilibrium. Design and the world situation". *Design Issues*, vol. 12, núm. 2. Madrid, Verano, 1996. Págs. 22-31.

⁴ George Marcus. *What is Design Today?*. New York, Harry N. Abrams, Inc., 2002. Pág. 87

⁵ Victor Margolin. "Global Expansion or Global Equilibrium. Design and the world situation". *Design Issues*, vol. 12, núm. 2. Madrid, Verano, 1996. Pág. 25.

→ Fig. 46 Partes automotrices recubiertas con capas cerámicas por PVD de la empresa Siegel-Robert Automotive



buscando nuevas aplicaciones tanto para los productos como los materiales en el desuso, entre muchas otras.

Algunas de estas alternativas vienen dadas por la ciencia y la tecnología. De esta manera, la investigación en nuevos materiales y procesos ha realizado desarrollos que pueden sustituir a los materiales y procesos convencionales que han demostrado ser ambientalmente nocivos.

Y una de las alternativas que emergen en el campo de los materiales cerámicos y de las técnicas para su procesamiento como recubrimientos son las técnicas de deposición química y física vistas en el capítulo 5, incluidas dentro del grupo de tecnologías limpias⁶. En la categoría de procesos y desechos, debido a que la cantidad de materia prima que se requiere para la deposición de los recubrimientos es muy reducida, y por ende los residuos de sus procesos también además de ser extraídos de los reactores con los sistemas de vacío, es decir, que no se liberan contaminantes en el aire sino que se recuperan a través de estos sistemas.

Las técnicas de deposición PVD se proponen como procesos alternativos para reemplazar ciertas prácticas industriales altamente contaminantes. En el caso de recubrimientos de metales con fines de protección frente a problemas de corrosión o simplemente como acabado decorativo, son usados procesos de galvanizado, donde los recubrimientos se realizan por baños químicos utilizando sustancias tóxicas como el cromo hexavalente, lo que produce polución de aire y contaminación de agua⁷. A razón de ello se han emprendido iniciativas como la del "Parlamento Europeo y del Consejo, que en 2002 publicó directrices relativas a los vehículos"⁸ con miras a disminuir el uso de estos procesos en el sector automotriz, donde se insta a los fabricantes a diseñar los elementos de forma que en su fabricación se limite el uso de sustancias peligrosas. Fruto de este "interés renovado" de las empresas automotrices de sustituir las técnicas galvánicas por tecnologías limpias, hace un par de años se implemento la tecnología PVD por arco pulsado y sputtering en razón a que los sustratos a recubrir en este sector son materiales poliméricos como ABS y PC que no toleran temperaturas de proceso altas (Fig.46). La sustitución trajo un cambio sustancial no solo por la adopción de un proceso de menor impacto ambiental, también por que signífico un aumento de la vida útil de los productos recubiertos.

⁶ Según el Centro de Ingeniería Avanzada de Superficies de la AIN (Asociación de la Industria de Navarra) y según el listado de tecnologías limpias 2006, publicado en la revista Orekan, núm. 37 editada por el IHOBE (Sociedad Publica de Gestión Ambiental Española) en septiembre de 2006.

⁷ Tecnologías PVD: Una alternativa limpia a las técnicas galvánicas. Pág.1

⁸ Ibidem.



A través de las Prestaciones

La ciencia, la tecnología y el diseño convergen en el mundo material, lo que sucede en cada una de estas áreas afecta inherentemente a las otras dos y de alguna manera su efecto se materializa. Esta tendencia a reducir la escala en la que trabajamos, la cual como vimos en el primer capítulo no es nueva, ha generado una serie de fenómenos en la configuración y percepción de los objetos. Los cuales Ceppi⁹ agrupa acertadamente en lo que el mismo denomina los tres macro-escenarios de la *performance* de la materia: el de la metamorfosis superficial, el de las variaciones dimensionales y el de las cualidades. El primer escenario que plantea tiene mucho que ver con el tema de este documento, pues habla de la importancia que las superficies han asumido en el universo artificial no sólo por el factor tecnológico de la tendencia a la bidimensionalidad y a la desmaterialización sino por una nueva necesidad renovada de ornamento. Renovada porque con el funcionalismo y el racionalismo el ornamento se consideró un exceso, siendo desterrado un buen tiempo, hasta que en medio de la saturación derivada de la producción en serie de objetos nace la necesidad de diferenciación y una nueva concepción del ornamento emerge como respuesta.

En este contexto, el aspecto de las superficies cobra un sentido que va más allá de su intención estética, apelando a un sentido de personalización del objeto (Fig.47) que genere una conexión emotiva con el sujeto. En este punto el diseño asume un rol decisivo, porque si bien como se menciono antes, algunas de las alternativas vienen dadas por el factor tecnológico, es el diseñador quien puede dar a la materia nuevas configuraciones, dotarla de este sentido de identidad, de diferenciación y de emoción, promoviendo una vinculación más profunda y duradera entre usuario y ambiente artificial que supere “el enamoramiento” inicial y superfluo con la novedad, con la maravilla. Así por ejemplo, este aspecto mutable de las superficies dado por los recubrimientos foto y termocromáticos (Fig. 48), iridiscentes, acabados sensibles a los factores ambientales y temporales son una herramienta del diseño para crear una cultura reactiva de interacción lúdica con el usuario. Marcus¹⁰ en su libro “What is design today?” hace referencia a la revista “Wired Magazine” que en una de sus ediciones sorprendió a sus lectores cuando veían que sus dedos dejaban marcas

⁹“Proyecto y Maravilla: Figuras en la innovación de lo artificial”. *Revista Experimenta Ediciones de Diseño*, núm.5, Madrid, Primavera, 1994. Pág. 24

¹⁰George Marcus. *What is Design Today?*. New York, Harry N. Abrams, Inc., 2002. Pág. 82

← Fig. 47 Carátulas adhesivas para ipod de la colección nanodeco 2007, de Kiwali.

→ Fig. 48 Esta bandeja diseñada por Josh Owen para DMD en 2002. Es sensible al calor por lo que refleja una imagen temporal en la superficie mientras es usada.



amarillas temporales en su cubierta verde y cuyo texto decía “me tocan por todas partes”, la cual fue impresa con tintas termocromáticas sensibles al calor del cuerpo. De la misma manera, todos estos desarrollos de las capas cerámicas por las técnicas mencionadas suponen nuevas herramientas para lograr este tipo de propuestas en lo cotidiano, a distintos niveles, es decir el juego de las superficies no solo se limita a la percepción visual que se tiene de ellas, también apela a los otros sentidos, más aún teniendo en cuenta la diversidad de usuarios para quienes diseñamos, pues existen miles de personas con alguna discapacidad que a menudo encuentran limitantes en los mismos objetos. La capacidad de las capas cerámicas delgadas con espesores micrométricos de copiar fielmente la superficie que recubren abren una puerta para establecer una comunicación enfocada hacia lo táctil, por citar alguna idea se me ocurre pequeñas incisiones o relieves en la superficie de una vajilla que contengan texto en lenguaje braille para los débiles visuales, estos usuarios probablemente no puedan disfrutar de los colores de la superficie pero si pueden disfrutar de la textura de los objetos.

El diseño como hemos visto tiene la capacidad de abordar las problemáticas desde diferentes frentes, apelando a relaciones más perdurables con los objetos a través de una vinculación emotiva es solo un camino para alargar la vida útil de los objetos, sin embargo, en un plano que obedece más a las características de la materia, también es posible. Las prestaciones de las capas cerámicas obtenidas por estas técnicas como vimos en el capítulo pasado no se limitan a lo decorativo, el campo que abarca mayor esfuerzo de investigación es los recubrimientos funcionales, siendo las capas duras las que más sobresalen en este grupo. Esta propiedad se traduce en la aplicación en que las características de extrema dureza que le confieren estas capas a la superficie de las herramientas por ejemplo, hace que las condiciones de corrosión y desgaste a las que se encuentran expuestas en el uso no las afecten en el tiempo en que normalmente lo hacen, lo que deriva en un incremento en la vida útil de las mismas. Para el diseñador este conocimiento implica tener una opción adicional a tener en consideración a la hora del desarrollo de un proyecto de diseño.

El compromiso

El compromiso ético del diseñador, debe partir de la reflexión en torno al impacto social, cultural, ambiental que tiene su quehacer a través del universo material que cotidianamente ayuda a construir. Reflexión que debe hacerse extensiva hacia la incidencia que tienen las diferentes

herramientas involucradas -como la tecnología- en el proceso de diseño, buscando desarrollar una postura más analítica, más autocrítica respecto a lo que decidimos.

No obstante este proceso de reflexión no puede hacerse de manera aislada, necesita nutrirse de los distintos puntos de vista que tienen los demás actores que participan de la construcción del universo artificial para tener una visión más completa del sistema mismo, que nos permita generar respuestas más congruentes frente a las problemáticas actuales. Si bien esto no es tarea sencilla, dado que en las diferentes áreas del conocimiento aún prevalece la tendencia hacia la especialización, que ha provocado el distanciamiento entre las disciplinas. Las situaciones actuales están demostrando que las iniciativas que parten de una visión de conjunto, integradora, que son producto del trabajo interdisciplinario son las que prevalecen e inciden de mejor manera sobre los conflictos.

Un ámbito propicio para llevarla a cabo es la academia, no solo a nivel de estudios de posgrado, sino de pregrado. El conocimiento general de estas tecnologías es fundamental para el diseñador en desarrollo, ya que si bien todavía no son una realidad tangible para la mayor parte del sector industrial, por sus características antes mencionadas se plantean como alternativa viable no muy lejana de implementarse. Desde esta óptica el estudiante tendrá un referente a partir del cual puede ir participando de la reflexión, de la discusión teórica como ejercicio que le permita ir desarrollando un discurso más articulado de su papel como profesional del diseño, de su compromiso ético y social, para cuando salga a trabajar sea cual fuere su campo de acción a nivel laboral.

Retomando el porque la academia es un buen punto de partida para la reflexión, no es sólo porque ahí se encuentran los espacios ya establecidos para hacerlo, situación contraria al ámbito industrial en donde es muy difícil hacer una reflexión sobre aspectos que no signifiquen un beneficio económico inmediato, también lo es porque dada la situación actual del aparato productivo de nuestros países gran parte de la investigación está concentrada en ella.

Precisamente teniendo en cuenta que nuestro sector industrial esta constituido principalmente por medianas y pequeñas empresas, que muchas veces no disponen de recursos para adelantar investigación, ni del conocimiento respecto a lo que sucede en estos ámbitos de desarrollo tecnológico, es que esta circunstancia puede asumirse como un nuevo campo de acción para el diseño, asumiendo el papel de mediador para que este conocimiento permeé esas esferas, pues si

bien algunas de las técnicas y equipos disponibles requieren de una inversión importante, así mismo existen otras que no la requieren y constituyen una alternativa factible para ser implementadas por nuestras empresas. Dentro de este grupo como se menciona en el capítulo pasado se encuentran tanto las técnicas químicas vía solgel cuyos procesos no requieren equipos sofisticados (de alto vacío) sino que apelan al uso de las tecnologías tradicionales, ya que el valor agregado de estas técnicas radica en las características de los materiales que se obtienen. Es quizás por eso que los proyectos que se han concretado de los emprendidos conjuntamente academia-industria, como es el caso del recubrimiento cerámico desarrollado por el Cinvestav de Querétaro para las artesanías en cobre de Santa Clara del Cobre, se han desarrollado utilizando esta tecnología.

A la par de eso, se encuentra la situación inversa en los centros y laboratorios de investigación, quienes avocados al desarrollo de nuevos materiales se quedan cortos a la hora de encontrar campos de aplicación para los mismos. El diseñador nuevamente puede integrarse en este punto ya que por su perfil es más conocedor de la industria y por ende de los requerimientos para aplicaciones concretas. Es claro que en la incipiente relación, apenas en construcción entre industria y academia, en la que tanto énfasis hacen los estudios de prospectiva tecnológica como vía propicia para favorecer el desarrollo tecnológico del país. El perfil del diseñador calza perfectamente como elemento integrador que sirva de vínculo entre estas dos esferas.

Por otra parte, es necesario mencionar que habiendo entrado a indagar mediante esta investigación en el estado de desarrollo que se encuentran las nuevas tecnologías de deposición de capas cerámicas, surgen varios interrogantes imposibles de responder por los límites de tiempo trazados en la misma pero que sin embargo quiero dejar planteados. Respecto al impacto que puede tener la incorporación tanto de las tecnologías como de los recubrimientos obtenidos a través de ellas en el aparato productivo.

Tanto la ciencia como el desarrollo tecnológico se encuentran avocados a la consecución de fines específicos respecto a las necesidades de la industria, principalmente de ciertos sectores, sin embargo en este marco de acción no se da un espacio de reflexión entorno a lo que ello representa, es decir, en el caso de esta tendencia hacia la formación de compuestos en materiales y recubrimientos por ejemplo, surgen las dudas de ¿qué pasa con ellos en el desuso de los objetos que los llevan incorporados, si son fácilmente reciclables, si es posible separar estos compuestos para ser reutilizados, cómo se llevaría a cabo este proceso y cuál sería el costo tanto económico

como ambiental de hacerlo? Porque si bien en la actualidad ya existen configuraciones de este tipo que en cuanto a prestaciones han significado una gran ventaja para la industria y el consumidor por otra parte han representado un problema ambiental de grandes dimensiones, como es el caso del tetrapak, que uno de sus grandes inconvenientes surge al fin de la vida útil –la cual es muy corta– de los productos que lo emplean. De igual manera sucede con las actuales propuestas, como se menciona en el documento se dice que estas nuevas tecnologías son consideradas limpias por el bajo nivel de residuos que generan, no obstante, estos residuos aunque bajos finalmente son liberados a la atmósfera¹¹. Si estas tecnologías logran el nivel de introducción al aparato productivo que se prevé tendrán en los próximos años, la sumatoria de todas estas emisiones ¿qué efectos puede traer consigo? ¿será acaso que se propone subsanar un mal con otro aunque más lento igual de dañino?. Este tipo de consideraciones no son abordadas por las áreas que están generando y haciendo posible su desarrollo, frente a este panorama no le corresponderá al diseño abordar o promover este tipo de reflexiones acerca de las implicaciones del cambio tecnológico que se vislumbra? Creo que cuando en la discusión de diseño se habla de tomar un papel proactivo respecto a la construcción del mundo material, no sólo se hace referencia a acciones prácticas en el proceso de diseño, también a nivel de análisis teórico sobre lo que las acciones de todos los actores participes en este proceso de construcción traen consigo. La maravilla no solo radica en lo que podemos hacer con la materia también en como hacerlo sin poner en riesgo nuestra existencia.

¹¹MCS. Harvy Castillo. Entrevista personal. Laboratorio de Física del Plasma. Colombia. 15 de diciembre de 2006.

Conclusiones y Perspectivas

Existen puntos de convergencia entre las diferentes tendencias de producción, diseño y materiales como son la preocupación por el impacto ambiental de los materiales y procesos productivos que se emplean en la producción de los objetos que conforman nuestro entorno artificial; así mismo, la incidencia que tienen fenómenos derivados de esta configuración como son la obsolescencia programada de los productos, el consumismo dictado por modas, la noción de productos “desechables” elaborados con materiales no biodegradables, entre otros. Sin embargo cada sector busca llegar a la materialización de esta intención sin sacrificar los intereses propios. De esta manera el sector productivo por ejemplo, busca tener un desarrollo sostenible –presionado por las nuevas legislaciones que prohíben el uso de tecnologías altamente contaminantes- mediante el uso de tecnologías limpias, la reducción del gasto energético de los procesos y de materiales, y el reciclaje de componentes. Ello sin renunciar a las prestaciones que tienen sus productos y propendiendo a que estas mejoren para poder mantenerse competitivas en el mercado actual cada vez más exigente. A su vez, la ciencia de materiales enfoca su investigación a resolver las necesidades del sector productivo, que cada vez demanda materiales con características mas delimitadas para aplicaciones específicas, sin perder de vista que los nuevos desarrollos deben ajustarse a procesos productivos sustentables. Frente a este panorama, el diseño por su parte, desde diferentes frentes como el que propone la neoartesanía que promueve la configuración de objetos a partir de materiales naturales biodegradables y obtenidos de procesos renovables; o el camino seguido por el diseño emocional que apela a fortalecer el vínculo entre el producto y el consumidor para que los objetos no se desechen al ritmo tan acelerado que actualmente sucede; busca incidir en la vida cotidiana de las personas para frenar estos fenómenos.

En este orden de ideas, ¿a qué se debe que todas estas tendencias promuevan ciertas tecnologías, materiales e intenciones de configuración del entorno artificial dentro de los escenarios planteados a futuro? Históricamente cada época se caracteriza por la preferencia hacia un grupo de materiales, en el campo de los recubrimientos cerámicos esta inercia se materializa a partir de la revolución industrial en la concentración de la investigación hacia los sustratos metálicos para modificar sus propiedades físicas y químicas frente a usos en áreas especializadas que incorporan con mayor rapidez la tecnología de punta. Por ello, su estudio en las últimas décadas se ha enfocado principalmente a la generación de capas delgadas con fines funcionales y en menor medida a aplicaciones decorativas para estos sectores.

Otra circunstancia que ha orientado este enfoque es la tendencia hacia la miniaturización, que ha derivado en dos fenómenos: primero, la bidimensionalidad de los objetos en donde la superficie cobra una significativa importancia; y segundo, la conformación de compuestos tanto en estructura como en composición de los materiales y los recubrimientos.

Esta situación a la par de ampliar el horizonte aplicativo de los recubrimientos cerámicos en áreas que apenas se está explorando, ya se ve reflejada en el cambio gradual que han tenido los conceptos y definiciones de los materiales cerámicos, principalmente en áreas específicas del conocimiento como la ciencia de materiales y la ingeniería de superficies, ante la necesidad de clasificar estos nuevos desarrollos que contravienen las propiedades asignadas a los grupos bajo la óptica tradicional y de igual manera para establecer un lenguaje común que permita la comunicación con otras disciplinas encargadas de integrar este desarrollo en el aparato productivo.

Por otra parte, el cómo se materializa en el campo de los recubrimientos cerámicos la incorporación del desarrollo tecnológico y el conocimiento científico generado por la especialización en la ciencia de materiales, se percibe en lo que son los recubrimientos cerámicos hoy en día, sus aplicaciones, cuales son las propiedades y sustratos que concentran el mayor interés en investigación. Así mismo, en la emergencia de nuevos grupos de recubrimientos cerámicos, derivados del cambio de escala –atómica- en que se trabajan los materiales.

Para la industria los recubrimientos compuestos representan entre otras cosas la posibilidad de integrar propiedades de materiales de grupos diferentes lo que permite obtener por separado determinadas propiedades sobre la superficie del recubrimiento, extender la vida útil de los productos con respecto a los recubrimientos en monocapas, lo que se traduce en una ventaja económica importante en procesos de producción continua, así mismo involucrar elementos del sustrato lo que deriva en una fuerza de enlace mayor entre los átomos y por consiguiente un mayor índice de adherencia de la capa al objeto recubierto.

Teniendo presente qué son y cuales son las nuevas configuraciones de los recubrimientos cerámicos se abordó la tecnología que hace posible tener este nuevo abanico de posibilidades mediante la manipulación a escala micro y nanométrica de la composición y de la estructura atómica tanto de los materiales cerámicos que son depositados, como de las capas generadas por estos métodos, de tal modo que se obtengan las propiedades y comportamiento deseados. Así

como algunos ejemplos de aplicación de estas técnicas en sectores industriales que en la actualidad las han incorporado como parte de su proceso productivo. ¿A qué obedece esta adopción de las técnicas por la industria? Para el sector productivo este conjunto de técnicas representa no solo la obtención de películas con espesores nanométricos, sino también realizar recubrimientos de materiales con alto punto de fusión a temperaturas más bajas, y control sobre la microestructura de la capa que deriva en la consecución de propiedades específicas del recubrimiento para las aplicaciones que demandan. Esto por una parte, representa la reducción en la cantidad de materiales y energía empleados en los procesos sin sacrificar las prestaciones de los productos frente al uso, y por otra, a través de la incorporación de tecnologías limpias responder a las nuevas legislaciones ambientales.

Consecuencia del proceso de inserción de las técnicas de deposición de recubrimientos cerámicos, concentrado principalmente en sectores como el automotriz, de las herramientas y la electrónica, han surgido empresas que se han especializado en el desarrollo de los materiales empleados en estos procesos, también en la prestación del servicio de recubrimiento de productos mediante estas técnicas y el desarrollo de los equipos para la experimentación en laboratorio y para los usos industriales que se han estandarizado. Es necesario mencionar que la inversión que realizan estas empresas en el perfeccionamiento de los equipo, técnicas y materiales lo protegen a través de patentes, lo cual implica por una parte, que a pesar de haber adelantos en este campo al no estar la información disponible retrasa el proceso de inserción de esta tecnología en otros campos; y por otra parte, con relación a los materiales ya existe información técnica sobre sus características, procesamiento y sustratos sobre los cuales pueden aplicarse. No obstante, al presentarse con nombres comerciales no es posible saber si son compuestos cerámicos, metálicos o poliméricos. Situación que para el caso de esta investigación limita la posibilidad de mostrar con mayor detalle los procesos de estas técnicas llevados a escala industrial y las aplicaciones comerciales de los recubrimientos cerámicos.

El panorama general de investigación tanto en México como en Colombia respecto al sector de los materiales y recubrimientos cerámicos, es alentador en el sentido que se adelantan proyectos de investigación -aunque en menor cantidad- al mismo nivel de países que como Alemania, Estados Unidos y China que han concentrado grandes esfuerzos en el campo de las nanotecnologías. La gran diferencia radica en la introducción de estos avances en el aparato productivo, ya que mientras en estos países estas tecnologías ya son una realidad comercial, en los nuestros solo

existen casos aislados surgidos de iniciativas particulares de trabajo conjunto entre la academia y la industria. Este carácter aislado obedece a dos razones, la primera es que el aparato productivo nacional esta conformado en su mayoría por pequeñas y medianas empresas que no disponen de recursos para la inversión en investigación y desarrollo, pero tampoco están al tanto de la investigación que se adelanta en los institutos; y a su vez, a pesar de que en la academia se encuentra concentrada la investigación, no existe una vinculación con el sector productivo que permita llevar a la práctica los desarrollos que adelanta. Salvo por casos, en donde industrias trasnacionales se interesan por desarrollos específicos para producirlos, la mayor parte de los resultados de la investigación se queda en el plano de difusión académica mediante artículos, congresos y demás, que por otra parte son lo que les garantiza a los investigadores contar con recursos para hacer investigación. La segunda, tiene que ver por una parte, con el costo del equipamiento requerido en algunas de estas técnicas (CVD y PVD), que trabajan en alto vacío, con fuentes de iones, y evaporadores o reactores asistidos por plasma, lo cual requiere de una inversión de capital importante; y por otra parte, con el desarrollo de estos equipos, que a la fecha están dirigidos principalmente para experimentación en laboratorio y bajo pedido para aplicaciones en áreas industriales altamente especializadas, porque en lo referente a la inserción de estas técnicas a escala industrial se ha logrado establecer criterios para la estandarización del proceso solo para un grupo relativamente limitado de compuestos cerámicos (carburos, nitruros, óxidos), de modo que se tenga control sobre el resultado, es decir, sobre las características de los recubrimientos depositados.

Sin embargo, precisamente esta circunstancia se propone como un nuevo campo de acción para el diseñador, que puede asumir el papel de mediador para que este conocimiento permeé esas esferas, pues si bien algunas de las técnicas y los equipos disponibles actualmente requieren de una inversión importante, así mismo existen otras que no la requieren y constituyen una alternativa factible para ser implementadas por nuestras empresas. Dentro de este grupo por ejemplo, se encuentran las técnicas químicas vía solgel cuyos procesos no requieren equipos sofisticados (de alto vacío) sino que apelan al uso de las tecnologías tradicionales, ya que el valor agregado de estas técnicas radica en las características de las soluciones que se obtienen para aplicar como recubrimiento y mediante las cuales se puede obtener capas de espesores nanométricos.

No obstante, es necesario mencionar que el grupo de técnicas expuestas, aunque todavía la mayor parte de su experimentación se da en laboratorio, se plantean como una alternativa viable para el futuro cercano por dos razones, la primera por su bajo impacto ambiental y la segunda porque su evolución esta avanzando hacia condiciones de producción menos complejas, como por ejemplo la

deposición de capas a presión atmosférica y la disminución en la temperatura de proceso, lo que abaratará el costo de los equipos que actualmente se manejan.

De acuerdo a lo anterior, puede verse que el área de los recubrimientos cerámicos se encuentra en pleno desarrollo, por lo cual representa un universo de posibilidades que motiva a que el diseñador siga explorando por una parte, nuevas aplicaciones y configuraciones a partir de las prestaciones que estos desarrollos ofrecen; y por otra, la adopción de una papel proactivo como gestor e integrador entre el área del desarrollo tecnológico y el sector industrial. No obstante, sea cual fuere el camino que decida seguir, esta exploración debe realizarse aunada a un proceso de análisis y reflexión dado que en el estado de desarrollo que se encuentra esta tecnología deja muchos interrogantes por resolver –como se vio en el capítulo seis- respecto al impacto que puede tener su amplia inserción en la industria como se tiene previsto sucederá en los próximos años. En este contexto ¿cuáles son los escenarios de acción para el diseñador?:

El diseñador integrador y gestor. Como se menciona en el documento por una parte los estudios de prospectiva tecnológica hacen énfasis en la necesidad de fomentar el desarrollo del sector industrial a través de I+D y la urgencia de desarrollar tecnologías que en el ámbito de los materiales incorporen un mayor uso de los conocimientos. Así mismo se reconoce que uno de los caminos que ha dado resultado en otros países es la vinculación academia e industria. No obstante, son pocas las iniciativas de este tipo en el país, falta crear un espacio para que el dialogo entre estas dos esferas se de y se concreten proyectos conjuntos. Teniendo en cuenta que las políticas de ciencia y desarrollo formulan la importancia de fomentar este trabajo multidisciplinario y comienzan a tomar acciones al respecto. Esta situación puede verse como un campo de acción para el diseñador, cuyo perfil le permite moverse entre las esferas productivas y académicas y puede desempeñar un papel de integración como elemento gestor en proyectos de este tipo. Como se vio, no es un camino ampliamente transitado menos aún por el diseñador, pero constituye un escenario para explorar y validar en la práctica lo dicho en la discusión teórica de la disciplina por autores como Buchanan “el nuevo rumbo del diseño va hacia consolidarse como ciencia de la organización, en donde el diseñador explora las diferentes aspectos de la tecnología y la artesanía para elevar su valor e impulsar el desarrollo económico y tecnológico de su contexto”¹.

¹ Richard Buchanan. Conferencia: Nuevo Diseño. UNAM. Sala de conferencias del Posgrado de Diseño Industrial. 17 de agosto de 2005.

El diseñador de producto. La tendencia de desarrollo en el campo de los recubrimientos cerámicos apunta a que el desarrollo de materiales con características muy definidas se comercializaran en.. de tal manera, que el diseñador podrá elegir entre materiales que a la par de satisfacer los requerimientos tradicionales propios de un proyecto de diseño, le darán ventajas adicionales para su materialización. Citando un ejemplo, el óxido de Titanio aplicado como recubrimiento sobre vidrio se utiliza como barrera de protección y antiadherencia, lo cual en usos como ventanales de rascacielos significa que estos no requieran ser limpiados. No obstante este recubrimiento posee una ventaja adicional y es que es fotocatalítico, es decir, que activado por la luz solar reacciona con los elementos de su entorno -en este caso el aire- descomponiendo los elementos más importantes causantes de la contaminación como son el formaldehído y el nitruro, lo que en términos coloquiales significa que purifica el aire. Este tipo de prestaciones adicionales en la materia en manos de un diseñador es un campo que vale la pena explorar.

El diseñador teórico de la tecnología. Existe un avance notable en el conocimiento y desarrollo tecnológico en el área de los materiales, sin embargo, dado el carácter especializado de esta información se encuentra concentrada en el grupo de profesionales que trabajan en estos campos. Ante esto, se requiere fortalecer el proceso de difusión mediante un lenguaje que sea comprensible para profesionales de otras disciplinas y dado que el diseñador tiene la capacidad de entender los diferentes aspectos de la tecnología y de explorar las formas que esta puede llegar a tener en la vida cotidiana, puede llevar a cabo esta tarea en sus proyectos de investigación académica. No solo con el ánimo de generar una herramienta teórica que permita a otros diseñadores comprender de mejor manera a que obedecen las actuales prestaciones de la materia y lo que representa en cuanto a aplicaciones la inserción de nuevas tecnologías. También desde un punto de vista analítico que evalúe su impacto a nivel social, cultural, económico y ambiental, porque como hemos visto históricamente este tipo de reflexiones se obvia hasta que nos encontramos inmersos en los fenómenos, cuando tenemos la problemática como una realidad ineludible, y no cuando se esta realizando el proceso de inserción tecnológica.

Fuentes Consultadas

Libros

- AGUILAR SAHAGUN Guillermo.** El hombre y los materiales. Vol. 69. México, Fondo de Cultura Económica, 1988.
- ALBELLA Juan Manuel.** Láminas Delgadas y Recubrimientos. Madrid, España, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003. 701 Págs.
- ARFUCH Leonor y Norberto Chávez.** Diseño y comunicación: teorías y enfoques críticos. SAICF, Buenos Aires, Argentina, Paidós, 1997.
- BIRKS, Tony.** Guía Completa del Ceramista. 1ra ed. Lengua española. Barcelona, España, Ed. Blume, 1995.
- BONSIEPE Gui.** Del objeto a la interfase: mutaciones del diseño. Buenos Aires, Argentina, Ed. Infinito, 2001.
- BURDEK Bernhard.** Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial. Barcelona, España, Gustavo Gili, 1994.
- CHITI FERNANDEZ, Jorge.** Historia de la Cerámica. Buenos Aires, Argentina, Ed. Taller Condorhuasi, 1975.
- COOPER Emmanuel.** Historia de la Cerámica. Barcelona, Ed. CEAC, 1987.
- COOPER Emmanuel.** Manual de Barnices Cerámicos. Barcelona, Ed. Omega, 1982.
- DERRY T. and T. Williams.** Historia de la Tecnología. 2 vols. 8va. ed. México, Siglo XXI Editores, 1986.
- DE KERCKOVE Derrick.** La piel de la cultura. Barcelona, España, Gedisa Editorial, 1999.
- HELGESON Susanne.** Nuevo Diseño Sueco. Estocolmo, Suecia, Ed. Instituto Sueco, 2002.
- JONES G.** Ciencia y Tecnología en los países en desarrollo. México, Fondo de Cultura Económica, 1973.
- KUSIAK Andrew.** Engineering design: product, processes, and systems, California: Academic, San Diego, c1999.
- LAZO Mario.** Diseño Industrial: tecnología y utilidades. México, Trillas, 1990.
- MARCUS George.** What is Design Today?. New York, Harry N. Abrams, Inc., 2002.
- MALDONADO Tomas.** El diseño industrial reconsiderado. Barcelona, España, Gustavo Gili, 1977.
- MARI Eduardo A.** Los materiales cerámicos. Buenos Aires, Argentina, Editorial Alsina, 1998.
- MATTHEWS Clifford.** Case studies in engineering design/ Diseño multidisciplinario de optimización –estudio de casos-. New York, J Wiley, c1998.
- MITCHELL C. Tomas.** New Thinking in design. New York, Van Nostrand Reinhold, c1996.
- MUSIKANT Solomon.** What every engineer should know about ceramics. New York, Marcel Dekker Inc., 1991.
- NORMAN Donald.** La psicología de los objetos cotidianos. Madrid, España, Nerea Ediciones, 1990.

- PIERSON H.O.** Handbook of Chemical Vapor Deposition: Principles, Technology, and Applications. New York, Noyes Publications, Park Ridge, 1992.
- POTTER, Norman.** What is a Designer: things, places, messages. Barcelona, España, Ed. Paidos, 1999.
- PRESS, Mike and Rachel Cooper.** The Design Experience: The Role of Design and Designers in the Twenty First Century. U.S.A, Ed. Ashgate Publishing Limited, 2003.
- RIERADEVALL Joan.** Ecodiseño y Ecoproductos. Barcelona, España, Rubes Ediciones, 1999.
- SABATO J.A.** Visión del pensamiento Latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia. Buenos Aires, Argentina, Paidos, 1975.
- SMITH, William.** Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. 3ra Ed. McGraw Hill, 1998.
- SUH Nam Pyo.** Axiomatic design: advances and applications. Oxford, Ed. Oxford University, c2001.
- WATCHMAN Jhon B. y Richard Haber, comp.** Ceramic Films and Coatings. New Jersey, U.S.A, Noyes Publications, 1993.
- WIONCZEK Miguel.** La transferencia Internacional de Tecnología: El caso de México. México, Fondo de Cultura Económica, 1974.
- WOLF E. Matthes.** Vidriados Cerámicos. Barcelona, España, Ed. Omega, c1990.

Artículos

- ESPINOZA BELTRAN F.J y González-Hernández J.** “Nuevos materiales superduros”. *Avance y Perspectiva*. Núm. 21, 2002. Págs. 347-354, Cinvestav-IPN, México.
- CEPPI Giulio,** “Proyecto y Maravilla: Figuras en la innovación de lo artificial”. *Revista Experimenta Ediciones de Diseño*, núm.5, Madrid, Primavera, 1994. Págs. 23-30.
- GALLARDO J., A. Duran et al.** “Electrochemical and in Vitro behaviour of solgel coated 316L stainless steel”. *Corrosion Science*, núm. 46, 2004. Pág. 795-806.
- GONZÁLEZ HERNÁNDEZ J., Gorley P.M., Horley P.P., Vartsabyuk O.M. y Vorobiev Yu.V.** “X-Ray, kinetic and optical properties of thin CuInS₂ films”. *Thin Solid Films*, 2002. Págs. 403-404 y 471-475.
- GONZALES Jesús.** “Nuevos materiales, nuevos destinos” *Periodismo de ciencia y tecnología*, Junio, 2000.
- MADROÑERO A.** “Tecnología e Investigación en materiales compuestos”. *Política científica*. No.33, 1992.
- MARGOLIN Victor.** “Global Expansion or Global Equilibrium. Design and the world situation”. *Design Issues*, vol. 12, núm. 2. Madrid, Verano, 1996. Págs. 22-31.
- MARTIN Peter.** “Magnetron Sputtering”. *Vacuum Technology and Coating*, February, 2007. Págs. 30-35.
- MORACE Francesco** “Treinta años de mobiliario”. *Revista Experimenta*, No 5, 1994. Págs. 37-50.

OJEDA F., F. J. Marti y J.B. Albella. "Preparación de Recubrimientos Cerámicos mediante técnicas de CVD". España, CSIC Instituto de Ciencia de Materiales, núm. 37. 1998. Págs. 447-453.

RODIL Sandra. "Carbonos amorfos y cuasidiamante". Materiales Avanzados del Instituto Investigaciones en Materiales de la UNAM. México. Año 4, núm. 7. Agosto, 2007. Págs. 27-34.

SCHOTTNER Gerhard. "Hybrid Solgel Derived Polymers: Applications of Multifunctional Materials". Chemistry Materials. Núm. 13, 2001. Págs. 3422-3435.

Tesis y monografías

ADIAT. Tecnologías de Diseño y Producción. España, Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial ADIAT, 2002.

ESCORSA C. Pere and Emil Herbolzheimer. Diseño industrial y su Gestión en la PYME española. Barcelona, España, Universidad Politécnica de Cataluña, 1995.

GIL TEJEDA Jorge. El Nuevo Diseño Artesanal. Inédita. Barcelona, España. Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor de Proyectos de Innovación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería, 2002.

NAMAKI M. S. Desarrollo y promoción de tecnologías y habilidades técnicas en pequeñas industrias manufactureras.

Internet

CARDENAS Victor. Las perspectivas del desarrollo de la ciencia y tecnología de materiales. Curso por internet.

DROOG DESIGN. <http://www.droogdesign.nl/index1.html>. 18 de Marzo de 2005.

MATERIA. <http://www.materia.nl/tentoonstelling/uk/index.htm>.

OCAMPO Ernesto. Investigación en materiales y el diseño constructivo industrial.

REVISTA VIRTUAL Consumer Eroski. Ciencia aplicada: Nuevos materiales. Septiembre de 2005

RUCKSTUHL. <http://www.ruckstuhl.com/>. 12 de Octubre de 2004.

Conferencias

Ciclo de Conferencias: El Diseño de las Innovaciones Suecas. Distrito Federal, México. Universum, Museo de las Ciencias de la UNAM. Octubre 14 de 2004 a enero 9 de 2005.

Glosario de términos

Ánodo: se denomina al electrodo positivo del reactor en donde se ubica generalmente el sustrato.

Arco: se denomina a la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión.

Blanco: es la denominación que se le da al material en estado sólido que se va a depositar como recubrimiento por las técnicas de PVD.

Cátodo: se denomina al electrodo negativo del reactor en donde se ubica generalmente el blanco.

CVD (Chemical Vapor Deposition): es un conjunto de técnicas de reciente desarrollo, que se emplean para formar recubrimientos a partir de la descomposición de gases.

Disociación: Es la separación de los componentes de una sustancia mediante alguna acción física o química.

DLC Diamond like Carbon

Ion: átomo o molécula cargado eléctricamente debido a que ha ganado o perdido electrones de su dotación normal, lo que se conoce como ionización.

IBAD Ion Beam assisted deposition

Metamateriales: compuestos cuyas propiedades físicas son distintas a las de sus constituyentes.

Microtecnologías: Son las tecnologías que permiten la fabricación de materiales a escala micrométrica (la milésima parte de un milímetro). Se han desarrollado principalmente en el campo de la electrónica.

Multimaterial: término que hace referencia a la combinación temporal o permanente de distintas materias primas que le dan, ya sea al producto o al material propiedades diferentes a las que tendrían por separado, tratando de aprovechar las virtudes de cada una. Tal es el caso, por ejemplo, de los empaques tetrapak o en el caso específico de los recubrimientos, el acero porcelanizado.

Nanotecnología: ciencia que estudia y crea materiales y dispositivos funcionales a través del control de la materia a nivel atómico y molecular, explotando nuevas propiedades de los materiales por medio de la miniaturización.

NeoArtesanía: Este término hace referencia a la utilización de conocimientos de disciplinas como las artes o el diseño, y/o de técnicas de última generación, en procesos tradicionales y/o para transformación de materiales tradicionales.

Oligómero: es un polímero que se caracteriza por tener moléculas que contienen un número pequeño de monómeros.

Plasma: es un sistema que contiene un número significativo de partículas cargadas (iones) libres y cuya dinámica presenta efectos colectivos dominados por las interacciones electromagnéticas entre las mismas.

PLD Pulsed Laser Deposition

Precursor: elemento o sustancia que se utiliza como materia prima para la formación de materiales cerámicos avanzados o compuestos cerámicos.

PVD (Physical Vapor Deposition): Consiste en la formación de una capa cerámica por medio de reacciones físicas en el interior de una cámara de vacío (reactor).

Sinterización: son técnicas para la fabricación de piezas a partir de polvos metálicos, aglomerados por la acción de la temperatura y la presión. Referido al metal, el proceso consiste en prensar una mezcla de polvos metálicos y calentarla en un horno eléctrico en una atmósfera no oxidante. Se obtiene así una masa moldeable que, posteriormente, es sometida a un recocido a una temperatura superior, con lo que se logra su endurecimiento permanente.

Sol: es una dispersión de partículas coloidales u oligómeros (de tamaño inferior a los 100 nm) en un medio líquido, las cuales son suficientemente pequeñas para permanecer suspendidas por un movimiento aleatorio y continuo denominado movimiento Browniano.

Superconductividad es la propiedad por la cual un material sometido a bajas temperaturas pierde su resistencia eléctrica y expulsa completamente el campo magnético de su interior. Como consecuencia, el material puede transportar una corriente eléctrica muy elevada sin pérdida de energía (sin disipación).

Sustrato: pieza sobre la cual se aplica un recubrimiento.

Técnica Solgel: referencia a una multitud de procesos de reacción que emplean una amplia variedad de precursores químicos para preparar diferentes productos cerámicos, entre ellos las capas cerámicas.