



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Control de calidad en una planta de
aplicación de pintura en polvo”**
Trabajo escrito via cursos de educación continua

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
PRESENTA:
José Mauricio Yáñez Lino**



**FACULTAD DE
QUÍMICA**

MÉXICO, D.F. 2002



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA**



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Química

**“Control de calidad en una planta de aplicación de
pintura en polvo”**

Trabajo escrito vía cursos de educación continua

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta:

José Mauricio Yáñez Lino

México, D. F.

Septiembre 2002

Jurado Asignado:

Presidente

JOSE ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ.

Vocal

MARIA DEL ROCIO CASSAIGNE HERNÁNDEZ.

Secretario

HECTOR MARCELINO GÓMEZ VELAZCO.

1er Suplente

MIGUEL GUEVARA HERNÁNDEZ.

2do Suplente

SARA ELVIA MEZA GALINDO.

Sitio donde se desarrollo el tema

Cd. Universitaria, Facultad de Química. México D.F.

Asesor

JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ.

Sustentante

J. MAURICIO YAÑEZ LINO.

Control de calidad en una planta de aplicación de pintura en polvo.

Índice

Antecedentes	1
1. Introducción	1
2. Recubrimientos en polvo	3
2.1. Termoplásticos vs Termofijos	3
2.2. Definición de requerimientos	4
2.3. Selección del recubrimiento	5
2.3.1. Comportamiento del recubrimiento	5
2.3.2. Características funcionales	5
2.3.3. Características de apariencia	6
2.3.4. Características del sistema de aplicación	7
2.3.5. Propiedades de la pintura y control de proceso	9
3. Preparación de superficie	10
3.1. Tipos de suciedad	11
3.2. Tipos de sustratos	12
3.3. Pretratamiento	13
3.4. Monitoreo y control de los sistemas de pretratamiento	15
4. Métodos y equipos para aplicación de recubrimientos en polvo	15
4.1. Equipos electrostáticos	15
4.2. Cabinas y hornos	17
5. Control de calidad	18
5.1. Definición de los requerimientos de calidad	18
5.2. Procedimientos de documentación	19
5.3. Estándares de calidad	21
5.4. Métodos de prueba y equipo	21
6. Conclusiones	25
7. Glosario de términos.	26
8. Bibliografía.	27

ANTECEDENTES

Actualmente la industria de nuestro país se conforma en su mayoría de micro, pequeñas y medianas empresas, que dadas las condiciones económicas no generan tantos recursos como para invertir en capacitación, en instrumentación (para el control de calidad) y mucho menos en investigación; de igual forma los proveedores de estas industrias (de los químicos para el pretratamiento, de la pintura, de los equipos de aplicación electrostáticas, de las casetas para la recuperación de polvos, hornos, etc.) generalmente se concentran en demostrar la calidad de sus productos y no visualizan el proceso en conjunto.

De aquí surge la necesidad de elaborar trabajos que ayuden a este sector productivo a resolver y evitar problemas derivados de un control del proceso, en específico en la aplicación de pintura en polvo.

1. INTRODUCCIÓN.

Más de cuatro décadas han pasado desde que apareció el primer recubrimiento en polvo. La aparición de los recubrimientos en polvo generalmente es asociada con los eventos ecológicos y de energía a finales de los años sesentas y principios de los setentas. La famosa regla 66 que fue impuesta por el consejo municipal de la ciudad de Los Ángeles en 1966 fue el primer acto legislativo regulatorio de aspecto ecológico para los recubrimientos. Después de esto se introdujeron regulaciones similares en la mayoría de los países industrializados.

La historia de los recubrimientos en polvo ha sido fuertemente influenciada por los aspectos ecológicos, los primeros desarrollos en el campo que empezaron a inicios de los años 50's cuando polietileno pulverizado fue aplicado exitosamente en un proceso de lecho fluidizado sobre una superficie de metal precalentado. Rápidamente la técnica de lecho fluidizado para la aplicación de polvos " termo plastic" (termoplásticos) incluyendo PVC y Nylon fue establecida en los Estados Unidos.

A finales de los 50's los primeros recubrimientos en polvo "thermo setting" (thermo fijos) aparecieron en el mercado, principalmente como resultado del trabajo de investigación realizado por Shell Chemicals. El objetivo era el desarrollo de recubrimientos orgánicos de mayor protección para las tuberías subterráneas de gas natural y petróleo de la compañía. Los primeros sistemas fueron mezclas secas relativamente simples de resinas epóxicas, aditivos para endurecer y pigmentos dispersados por la técnica del molino de bolas. Debido al alto grado de heterogeneidad, los resultados de las primeras aplicaciones fueron muy inconsistentes.

Los métodos actuales para la producción de recubrimientos en polvo de mezclado de fundición en caliente "hot melt mixing" fueron precedidos por una técnica que empleaba resinas epóxicas y aditivos para endurecer. La mezcla líquida homogénea de resina /agente curante es pre-reaccionada hasta obtener un material sólido parcialmente curado el cual posteriormente se muele finamente en la siguiente etapa. La desventaja de esta técnica es la falta de reproducibilidad y la dificultad para controlar el proceso.

Los métodos de extrusión para la producción de recubrimientos en polvo que están en uso fueron desarrollados en los laboratorios de Shell Chemical en Inglaterra y Países Bajos en el periodo de 1962-1964. En 1964 el primer recubrimiento decorativo epóxico en polvo apareció en el mercado europeo; en el mismo periodo, la empresa francesa "SAMES" (actualmente llamada "Sames electrostatic") desarrolló el primer equipo electrostático para esparcir recubrimientos orgánicos en polvo. Esta fue una contribución considerable para el éxito de la pintura termofija en polvo para fines decorativos desde que se pudo aplicar un recubrimiento aceptablemente delgado.

Su aparición como una alternativa frente a los recubrimientos decorativos líquidos condujo al desarrollo de una variedad de sistemas de resinas específicamente diseñados para cubrir las necesidades de varias industrias; al inicio se utilizaban casi exclusivamente resinas epóxicas. Los poliésteres, poliesteuretanos, híbridos de epoxipoliéster, acrílicos y fluoruros de polivinilo se han convertido

actualmente en sistemas de resinas igualmente aceptados, cada uno con su propio mercado dependiendo de las características técnicas necesarias para el producto.

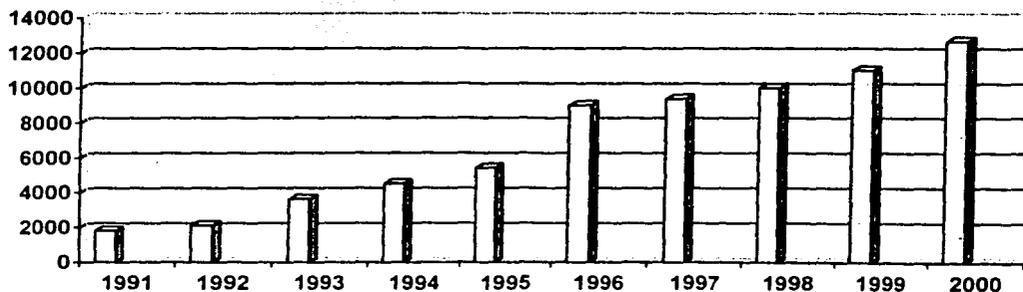
Un serio inconveniente para los recubrimientos termofijos epóxicos en polvo es su sensibilidad al ataque por luz ultravioleta. La exposición al sol los blanqueaba y deterioraba rápidamente, restringiéndose su uso para recubrimientos de protección o recubrimientos decorativos para interiores donde su resistencia a la decoloración no era un objetivo primordial.

Los recubrimientos en polvo, ofrecen un acabado de gran calidad y cumplen con las normas ambientales, prometiendo una multitud de nuevas aplicaciones como en el área automotriz, arquitectónico, etc.

La tecnología de los recubrimientos en polvo ofrece muchas ventajas a la industria de los acabados, pero tal vez la más importante es que cumple con las normas ambientales. Su uso como alternativa a los recubrimientos líquidos base solvente reduce notablemente la emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOCS) debido a que se aplican mediante partículas secas finamente divididas y solo se producen pocas cantidades durante el proceso de horneado o curado. Además, los procesos de estos recubrimientos también reducen el consumo de energía y la generación de residuos peligrosos. Hoy en día, los recubrimientos en polvos se encuentran disponibles en prácticamente cualquier color, nivel de brillo y textura.

El mercado en nuestro país ha tenido un crecimiento importante en la producción de pintura en polvo debido principalmente a las nuevas aplicaciones de este recubrimiento tanto para consumo nacional y exportación principalmente a Latinoamérica.

HISTORICO DEL MERCADO. PINTURA EN POLVO (Kg).



Producción Nacional

Fuente: ANAFAPYT¹

¹ Cifras 2001 de producción nacional de la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas.

De igual manera podemos observar el desarrollo mundial que ha tenido este tipo de recubrimientos por medio de un reporte histórico de producción por regiones. de la Asociación de productores de Pinturas y Tintas de Brasil (ALTP)

Producción de pintura en polvo mundial -					
SEGMENTACION REGIONAL					
Año	1993	1994	1995	1996	1997
Europa	203300	235100	253000	265100	292062
Asia, Aus y NZ	87700	112600	135400	148200	160893
N. América	95200	107100	120500	131500	145094
S. América	13300	16200	19300	24000	28094
Africa y medio oriente	19100	24600	29000	29400	33568
Producción total	418600	495600	557200	598200	659711

Producción en Kg

²Fuente: ALTP

2. RECUBRIMIENTOS EN POLVO

2.1. TERMOPLASTICOS vs. TERMOFIJOS.

El recubrimiento en polvo termoplástico es aquel que se funde y fluye cuando se le aplica calor, pero continúa teniendo la misma composición química una vez que se enfría y solidifica; los polvos termoplásticos están basados en polímeros de alto peso molecular que presentan una excelente resistencia química, dureza y flexibilidad. Entre los recubrimientos en polvo termoplásticos típicos están el polietileno, el polipropileno, el nylon, el cloruro de vinilo, las poliamidas termoplásticas y los poliésteres termoplásticos, estas resinas tienden a ser difíciles de pulverizar al fino tamaño de partícula necesario para la aplicación del rociado y, cuando se calientan, tienen una alta viscosidad, en consecuencia, se aplican sobre todo mediante la técnica de lecho fluidizado y se utilizan básicamente en aplicaciones de espesores gruesos; debido al grosor inherente a estos recubrimientos, no suelen competir en el mismo mercado de las pinturas líquidas.

Por su parte, los recubrimientos en polvo termofijos están basados en resinas sólidas de bajo peso molecular y también se funden al exponerse al calor. Una vez que adoptan la forma de una capa delgada, realizan enlaces químicos de entrecruzamiento (cross-linking) entre ellos mismos, o bien con otros componentes reactivos para formar un producto de mucho mayor peso molecular. El recubrimiento final tiene una estructura química muy diferente a la resina básica ya que estos nuevos materiales formados son estables al calor y a diferencia de los termoplásticos, no vuelven a fundirse cuando se calientan después de curados.

Las resinas usadas en polvos termofijos pueden pulverizarse en partículas muy finas para aplicarlos como rociado y obtener recubrimientos delgados, similares a las pinturas líquidas. Debido a que estos sistemas producen un terminado similar al de los recubrimientos líquidos, la mayoría de los avances

² Cifras publicadas en Internet por la ALTP (Brasil)

tecnológicos en los años recientes se relacionan con los polvos termofijos. Estos provienen de tres tipos genéricos de resinas: epóxicas, poliésteres y acrílicas, de las que, a su vez, se derivan cinco tipos de recubrimientos.

1. Los sistemas epóxicos son los más comunes y tienen un amplio mercado. Se utilizan para recubrimientos tanto funcionales como decorativos y entre sus principales propiedades están la resistencia a la corrosión y el aislamiento eléctrico. Los recubrimientos epóxicos decorativos permiten realizar acabados atractivos que son flexibles y fuertes; tienen excelente resistencia mecánica, además de funcionar como una barrera protectora de los metales protegiéndolos contra algunos agentes químicos evitando la corrosión. Las resinas epóxicas no son resistentes a los rayos ultravioleta del sol, y por lo tanto, no se recomiendan para usarse en el exterior, ya que se degradan y se decoloran si se exponen al sol durante periodos prolongados. Diversos hallazgos recientes permiten curar los polvos epóxicos a temperaturas de solo 250 °F (115 °C) en 20 o 30 minutos, o bien en menos tiempo empleando mayores temperaturas.
2. Los recubrimientos híbridos epoxipoliéster se utilizan principalmente para aplicaciones decorativas. Si bien son más resistentes a la intemperie y se decoloran menos que las epóxicas puros, presentan menos dureza y resistencia a los solventes. Los híbridos también tienen una mayor eficiencia de transferencia y un mayor grado de penetración en las uniones y ángulos agudos de las piezas a recubrir.
3. Los recubrimientos poliéster-TGIC contienen una resina poliéster unida mediante enlaces a isocianuros de triglicidil (TGIC), que actúan como su agente curante. Estos polvos tienen muy buenas propiedades mecánicas, resistencia al impacto, al intemperismo y la pérdida de color; por lo general, se utilizan para aplicaciones en exteriores, tales como muebles de jardín, cortadoras de pasto, transformadores de corriente, etc.
4. Los recubrimientos acrílicos-uretanos tienen una formulación de resinas acrílicas unidas mediante agentes entrecruzantes a isocianatos bloqueados. Este tipo de recubrimientos tiene excelente color, brillo y dureza, así como resistencia química y al intemperismo; también presentan una excelente apariencia de espesores delgados, pero son menos flexibles que los poliésteres.
5. Los recubrimientos poliéster-uretanos se formulan con resinas poliésteres hidroxiladas, combinadas con endurecedores de isocianatos bloqueados. Los recubrimientos de poliuretano presentan espesores delgados, excelente apariencia y buenas propiedades ante la intemperie.

2.2.DEFINICION DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD.

Con las especificaciones del material y los estándares físicos de recubrimiento es posible definir la calidad. Algunas propiedades de la película, como la resistencia dieléctrica, son estrechamente dependientes del material cubriente o la formulación. Sin embargo, todas las propiedades de película son dependientes de una apropiada aplicación.

Para definir la calidad de la película del recubrimiento es necesario definir el uso y puntualizar las características que se esperan de este. En casos donde el intemperismo es una propiedad crítica, se recomienda procesar una placa del metal con el que se va a trabajar (pretratarlo, recubrirlo y hornearlo) como si fuera un proceso normal y hacerle pruebas de intemperismo acelerado, de esta manera estas piezas pueden servir como comparativos para el control de procesos.

El uso de hojas de control de procesos, conteniendo los resultados, parámetros de operación y otra información pertinente puede ayudar a asegurar el control del proceso. Cuando se detecta una desviación a los resultados o parámetros de operación históricos, las hojas de control podrán ayudar a relacionar causa y efecto, y así se convierten en una importante herramienta en la prevención y solución de problemas. Durante el arranque de los sistemas, las hojas de control pueden ayudar a definir la capacidad del proceso especificando los rangos de las especificaciones del producto o proceso para retroalimentar a los proveedores de las materias primas (recubrimientos en polvo, químicos para pretratamiento, etc.)

2.3. SELECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO.

2.3.1. Comportamiento del recubrimiento.

Cuando se selecciona un recubrimiento es importante tener en cuenta el abanico de opciones existentes en el mercado y sobre todo determinar el uso que se le dará al producto final. De esa manera definir el comportamiento del recubrimiento en el producto final es más importante que seleccionar un recubrimiento por su composición química. De aquí que debemos enlistar las características requeridas y ponderarlas de acuerdo al uso final del producto. Una de las características más importantes además de la mecánica es la de resistencia al intemperismo. La exposición a al intemperie tiene como resultado la absorción de energía ultravioleta que puede ocasionar la degradación de los compuestos orgánicos que forman la resina y la pigmentación, dando como resultado variaciones en color, brillo y en general de apariencia de la película del recubrimiento

Este comportamiento puede definirse con dos preguntas básicas:

1. ¿Qué valor le agrega el recubrimiento al producto final? (aspecto, atractividad, que disimule defectos de maquinado, alta resistencia mecánica, etc.)
2. ¿A que tipo de ambiente estará expuesto el producto final? (intemperie, alta temperatura, ambientes salinos, ambientes con solventes químicos, etc)

2.3.2. Características funcionales.

Los recubrimientos en polvo son utilizados como protección de los sustratos y por lo tanto se deben considerar varias características funcionales. Por ejemplo:

Resistencia...

A la corrosión- los recubrimientos en polvo actúan como una barrera física contra sustancias químicas corrosivas y la humedad.

Química- las sustancias químicas pueden encontrarse dispersas en el ambiente. Estos pueden ser los limpiadores usados en las casas u oficinas, aceites lubricantes, gasolina y anticongelantes así como otros compuestos que pueden estar en contacto con el recubrimiento durante la manufactura de un producto o por el uso de éste.

Eléctrica (aislante eléctrico)- la mayoría de los recubrimientos en polvo son excelentes aislantes eléctricos. Sin embargo algunos, se diseñaron y probaron para usarse en componentes. Es importante definir la resistencia dieléctrica requerida así como las propiedades dieléctricas. Frecuentemente estas son lanzadas como "estándares" por organizaciones como Underwriters Laboratories.

Al calentamiento- Los recubrimientos son frecuentemente expuestos a elevadas temperaturas por periodos constantes o intermitentes durante su uso. Las altas temperaturas generalmente causan algún tipo de degradación la cual puede reducir el tiempo de vida útil del recubrimiento. Sin embargo debido a este factor, se han desarrollado exitosamente recubrimientos en polvo para parrillas y asadores, para recubrir partes automotrices y para otro tipo de aplicaciones expuestas a temperaturas elevadas.

A la abrasión- Los recubrimientos en polvo generalmente tienen una buena resistencia a la abrasión. Algunos de los mercados en los cuales se reconoce la resistencia de estos y se utilizan son: estantería, mobiliario para casa y oficina, para tiendas departamentales, etc. Se tienen muestreos estandarizados, como la abrasión Taber, o se pueden utilizar pruebas desarrolladas caseramente para definir el

comportamiento requerido. Sin embargo los proveedores de estos tipos de recubrimientos se rigen por estándares industriales mundiales como los establecidos por la sociedad americana para la evaluación y materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM.) de la cual tenemos referencia en la Pág. 21.

Al impacto- De igual manera que la resistencia a la abrasión y la dureza, la resistencia al impacto es una medida de la fortaleza del recubrimiento.

Los recubrimientos en polvo son formulados para soportar golpes de martillos y dobleces, daños causados por piedras para cortadoras de pasto y componentes automotivos, así como juguetes, mobiliario y juegos de jardín.

Estas son algunas de las características funcionales más comunes, sin embargo para características más específicas deben definirse los parámetros. Estas incluyen la resistencia a choques térmicos, flamabilidad, cobertura de bordes filosos, etc. Y otras propiedades esenciales para el uso final.

2.3.3. Características de apariencia.

Las características de apariencia son igualmente importantes para el aplicador como para el usuario final, que identifica una marca, opciones de estilo y calidad. Estas propiedades son mejor definidas con estándares físicos, sin embargo basados en instrumentos y métodos de prueba para verificar algunas características.

Los recubrimientos en polvo proporcionan una amplia variedad de acabados como los siguientes:

Lisos- Compiten con los mejores acabados de los recubrimientos líquidos y están disponibles en un amplio rango de brillo:

Brillantes, alto brillo que dan sensación de profundidad.

Semi-mates y mates que semejan al anodizado de aluminio.

Texturizados- Generalmente se emplean para ocultar irregularidades del sustrato, los cuales serían más evidentes con un recubrimiento liso. De igual manera pueden ser utilizados como superficies antiderrapantes.

Arrugado o estriado- Es una clase especial de textura que ofrece una variación de estilo y una apariencia consistente.

Metálicos- Tienen brillos metálicos sobre una base de color. Reproducen la apariencia de metales sólidos y son una alternativa del cromado.

Martillados y veteados- Ofrecen un acabado antiguo o envejecido y son ampliamente utilizados en mobiliario metálico.

Transparente- Ofrecen protección para rines de aluminio, accesorios de baño. De igual manera sirven como protección de recubrimientos metálicos en polvo o bases para brindarles brillo y que la superficie no pierda pigmentación. También los hay disponibles como matizantes o para proporcionar un acabo satinado.

Color- La variedad de colores es limitada debido a que no se pueden igualar tan fácilmente como los recubrimientos líquidos, pero debido al crecimiento del mercado y usos de estos de recubrimientos la variedad de colores va en aumento.

Resistencia al sobrehorneo- Temperaturas de metal excesivamente altas, o tiempos muy prolongados pueden producir una degradación de la superficie del recubrimiento el cual se notará como una reducción en el brillo o cambio de color. Generalmente estos recubrimientos se formulan para resistir un cierto grado de sobrehorneo.

Adhesión entre capas- Durante el proceso de recubrimiento generalmente se pasa por alto que pueden ocurrir rechazos debido a un inadecuado control de proceso, por lo que se recomienda hacer pruebas para determinar la adherencia entre dos capas de recubrimiento. Existen recubrimientos que para tener las características deseadas de apariencia es necesario aplicar dos o más capas de un mismo o diferente recubrimiento como es el caso de los transparentes o recubrimientos con color sobre un recubrimiento primario generalmente conocido como "primer" se requiere una buena adhesión entre capas. Algunos recubrimientos en polvo contienen aditivos que no permiten la aplicación de otros recubrimientos sobre estos.

Tamaño de partícula- Esta es una de las características del polvo que tiene mayor incidencia en el resultado del recubrimiento sin embargo este parámetro puede estar asociado a otros factores que incrementa o reduce su incidencia. La distribución del tamaño de partícula afecta las propiedades críticas para un desempeño consistente del sistema de aplicación, incluyendo:

- Fluidización
- Transporte del polvo en las mangueras
- Densidad de nube uniforme
- Movimiento de polvo en el aire
- Carga electrostática
- Grado de depositación
- Eficiencia de transferencia
- Penetración de arco de Faraday
- Tersura de la película

Es importante resaltar que en estos factores influyen otras condiciones y no solo el tamaño de partículas es un factor determinante.

Uno de los beneficios que el sistema de aplicación electrostática en polvo tiene es que podemos aplicar más del 90 % del recubrimiento, y esto lo hacemos reciclando el polvo que no se quedo adherido al sustrato, pero la mayoría de los proveedores del recubrimiento recomiendan que en cada lote a aplicar solo contenga el 40 % de polvo recuperado para colores convencionales y 20 % para colores metálicos.

Sustrato- Para prevenir problemas se debe tener en cuenta la composición y condición del sustrato ya que algunos metales porosos tienden a liberar gases durante el proceso de curado dando como resultado defectos en el recubrimiento (burbujas y ojos de pescado.).

Espesor de la película- El espesor de la película determina la característica de pigmentación que se requiere para ocultar completamente el sustrato. Un bajo espesor de película puede requerir resinas o aditivos especiales para que sea liso (terso). En películas de mayor espesor se requieren diferentes resinas para evitar escurrimientos. La mayoría de los proveedores del recubrimiento en polvo recomiendan un espesor de película entre 3 y 4 milésimas de pulgada esto equivale de 75 a 100 micras; aunque esto puede variar dependiendo el proveedor, el tipo de pintura, el uso final y el sustrato.

2.3.5. Propiedades de la pintura y control de proceso.

En algunos casos es imposible obtener un recubrimiento con todas características funcionales al 100 %. Generalmente se desarrollan formulaciones para los recubrimientos para obtener características específicas teniendo como consecuencia que otras características puedan afectarse ya que están en la dirección opuesta al objetivo. Debido a esto es necesario hacer un listado de las características necesarias y asignarles un peso para concentrarse en un objetivo de desempeño.

La tendencia en concentrarse demasiado en ciertas propiedades hace que se pierda de vista las dos preguntas que se habían planteado anteriormente acerca del comportamiento esperado del recubrimiento.

Esto da como resultado que los productos se sobre especifiquen y esto no necesariamente proporciona el grado de calidad que se intenta. Sobreespecificar los productos tiende a elevar los costos y a ocultar los verdaderos objetivos.

Con el criterio de desempeño del recubrimiento fijado, es necesario ahora definir los métodos de evaluación y establecer los valores requeridos. Con la definición de estos parámetros el proveedor del recubrimiento podrá proporcionarnos el producto que cumpla con estos objetivos, sin embargo, en el proceso de aplicación también se debe tomar en cuenta ciertos factores que podrían modificar las propiedades del producto una vez aplicado.

En la siguiente tabla se pretende de relacionar el tipo de característica del recubrimiento, el método con el cual podemos comprobar el desempeño, que tanto influye el control en el momento de la aplicación (pretratamiento, aplicación del recubrimiento y horneado o curado) y que otra característica podría ser afectada en mayor o menor grado.

PROPIEDADES DE LA PINTURA Y PUNTOS DE CONTROL DEL PROCESO.

Características del polvo	Métodos de evaluación	Habilidad del aplicador 0 ← → 10 - Dependencia +	Propiedad opuesta	Puntos de control de proceso
Intemperismo	Exposición a la intemperie	5		Curado, brillo inicial, cobertura total, pretratamiento de adhesión
Resistencia a la corrosión	Rociar sal	10		Curado, espesor apropiado, cobertura total, pretratamiento de adhesión
Resistencia química	Inmersión	4	Flexible	Curado, espesor apropiado, cobertura total, pretratamiento de adhesión
Capacidad aislante	Resistencia dieléctrica	3	Capas delgadas	Curado, cobertura total
Resistencia al calor	Mantener temperatura	5	Flexible	Espesor apropiado, pretratamiento de adhesión
Resistencia a la abrasión	Abrasión Taber	5		Curado
Resistencia al impacto	Impacto	6	Capas gruesas	Curado, espesor apropiado, pretratamiento de adhesión
Resistencia a dañarse	Dureza de lápiz	5		Curado
Textura	Estándar visual	6		Espesor apropiado
Arrugado	Estándar visual	7	Imprimibilidad	Curado, espesor apropiado

Características del polvo	Métodos de evaluación	Habilidad del aplicador 0 ← → 10 - Dependencia +	Propiedad opuesta	Puntos de control de proceso
Metálico	Estándar visual	9		Presión de aire, voltaje de la pistola, pistola a una distancia apropiada, sistemas de recuperación, curado, cobertura total.
Transparente	Estándar visual	10		Espesor de película, mantenimiento, curado, sustrato.
Colores llamativos	Estándar visual	10	Opacidad	Espesor de película, curado, sustrato
Color	Estándar visual	6	nivelación	Espesor de película, curado
Brillo	Medidor de brillo	8		Curado
Opacidad	Contraste	3		Espesor de película, curado.
Curado	Solventes plásticos	10		Velocidad en línea, control y permanencia en horno
Resistencia a sobrehorneo	Estándar visual	5	Resistencia química	Velocidad en línea, control y permanencia en horno
Adhesión	Prueba de rayado	6	Resistencia química	Pretratamiento adecuado y curado completo.
Cobertura de bordes	Inspección microscópica	6	Nivelación Tersura	Curado y cobertura total
Formación de película.	Doblez	8	Texturas y espesor de película	Espesor apropiado de película, curado, pretratamiento, adhesión.

3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.

Una adecuada preparación de la superficie es uno de los factores más críticos en el proceso de aplicación de recubrimiento en polvo.

Por ejemplo los siguientes puntos están directamente relacionados al tipo y calidad del pretratamiento que se le dará al sustrato (metal) que será recubierto con pintura en polvo.

- Adhesión de la película seca
- Prueba de impacto
- Prueba de doblez
- Prueba de humedad acelerada
- Prueba de cámara salina

Todas estas propiedades pueden optimizarse con un recubrimiento en polvo, siempre y cuando se haya lavado, enjuagado, fosfatizado y secado perfectamente antes de entrar a la caseta de pintura.

En el lavado podemos remover la suciedad y partículas de la superficie tenemos que conocer perfectamente la naturaleza de estas y los procesos necesarios para removerlas de la superficie del sustrato. De igual manera en esta etapa del proceso aplicamos una capa de fosfato, que puede ser de fosfato de hierro o de zinc, y tiene dos finalidades: 1) Retardar la oxidación 2) Ayudar a la adherencia del recubrimiento. La selección del tipo de fosfato se hará dependiendo del tipo de sustrato, la resistencia mecánica requerida y la resistencia al intemperismo o cámara salina.

3.1. TIPOS DE SUCIEDAD.

La suciedad encontrada y los sustratos a tratar en los sustratos de los productos previos a la aplicación del recubrimiento son dos factores importantes en el proceso de acabado individualmente o en conjunto. Estos aspectos del proceso son muy importantes de acuerdo al tipo de limpiadores seleccionados, el método de aplicación, uso y lo más importante, el nivel de calidad que no puede esperarse de los productos recubiertos.

Es muy importante identificar el tipo de suciedad, así como el método para removerla para obtener piezas con un pre-tratamiento de calidad. La suciedad más comúnmente encontrada en la superficie de los sustratos es la siguiente:

Aceites y grasas derivados del petróleo-

Es común encontrar este tipo de suciedad en la industria ya que se utiliza en los procesos metal mecánicos. Estos pueden estar compuestos de una mezcla de grasas y aceites de origen animal o vegetal. Como los derivados del petróleo no son miscibles en agua se utilizan como aditivos para evitar oxidación o como lubricantes. Para remover este tipo de suciedad se pueden utilizar materiales altamente alcalinos como solventes o detergentes. Para suciedad que contenga ceras se requiere además temperatura y ésta depende del punto de fusión de la cera encontrada (generalmente se utiliza de 60 a 80 °C.)

Polímeros-

Comúnmente utilizados como lubricantes. Los polímeros inorgánicos como los silicones, deben evitarse en un proceso de aplicación de recubrimientos en polvo, debido a que afectan las propiedades de adhesión del recubrimiento ocasionando los llamados ojos de pescado. Los polímeros orgánicos, como los elastómeros termofijos, que se utilizan en los recubrimientos son muy difíciles de remover y se necesitaría de químicos muy agresivos y temperatura. La técnica más común para remover polímeros es el empleo de compuestos ácidos o combinaciones de éstos, los cuales rompen y solvatan las cadenas de polímeros.

Jabones-

También es común encontrar este tipo de suciedad. Los estearatos son un tipo de jabón que se utiliza como "lubricante seco" o pueden estar incorporados en algún fluido. En ambos casos se utiliza un lubricante. Cuando se procesan piezas con este tipo de suciedad se puede esperar una alta producción de espuma. Para remover este tipo de suciedad se requiere de una buena acción mecánica y compuestos altamente alcalinos. Los ácidos y solventes no son eficientes en la remoción de este tipo de suciedad.

Dificultad de limpieza

Muy difícil

Medianamente difícil

Fáciles

Tipo de suciedad

- Aceites clorados o sulfurados
- Estearatos
- Compuestos para pulir
- Antioxidantes de uso pesado
- Recubrimientos horneados ó curados
- Carbón
- Fluidos hidráulicos
- Aceites puros
- Óxidos metálicos
- Inhibidores cerosos
- Aceites solubles
- Aceites emulsificados
- Aceites sintéticos
- Aceites ligeros para máquina

Óxidos-

La oxidación (roja o blanca) actúa como una barrera que evita la adhesión del recubrimiento. Estos productos formados en el proceso de corrosión del metal, son de naturaleza orgánica y por lo tanto fácilmente removida por soluciones ácidas. La oxidación penetrada en el metal causa huecos en el sustrato los cuales pueden ocasionar problemas en el recubrimiento.

Partículas-

Se encuentran partículas de todos tamaños en la superficie del sustrato, derivadas del proceso metal mecánico como la rebaba metálica o el tizne de carbón. Existen partículas que son muy difíciles de remover como los compuestos utilizados para pulir que incorporan partículas de óxidos metálicos en las ceras e incluso el tizne de carbón que requiere métodos muy robustos para su remoción. Generalmente se utilizan limpiadores con carácter ácido con aditivos específicos para la remoción de estas partículas.

3.2. TIPOS DE SUSTRATOS.

En el pretratamiento de los sustratos debe tenerse en cuenta el tipo de material así como su estructura y dimensiones.

Inicialmente el tipo de estructura y dimensiones del material determinarán el método para el pretratamiento. Por ejemplo: en piezas demasiado largas e irregulares no pueden ser procesadas eficientemente en un equipo de limpieza por espreo, así que tendrán que ser procesadas en un equipo de inmersión. De igual manera debe tomarse en cuenta el tipo y masa del material ya que no es lo mismo pretratar placa metálica que lámina de aluminio, debe considerarse que en la línea se procesarán piezas de tamaño y estructura diferente.

Los sustratos más comúnmente pretratados son los metálicos como el acero, aluminio y zinc (galvanizado). A continuación se presentan los materiales más comunes, sus características y aspectos para pretratarlos:

Acero-

El acero es una aleación de hierro y carbón en porcentajes variados. Es un material muy maleable y fuerte, su uso para la fabricación de utensilios y productos es muy generalizado. El acero tiene dos procesos principales para darle dimensiones de espesor y área, el rolado en frío consiste en calentarlo hasta el rojo vivo y procesarlo para dimensionarlo sin calentarlo, y el rolado en caliente el cual se mantiene caliente durante todo el proceso de extrusión. Durante el proceso de extrusión en caliente el metal atrae impurezas que forman escamas, las cuales deben ser removidas antes del proceso de fosfatizado.

El acero se corroe fácilmente formando óxido rojo, por eso es preferible protegerlo y almacenarlo con inhibidores de corrosión o protegerlo con un recubrimiento.

Los ácidos fuertes atacan el acero y causan marcas en la superficie del metal además de promover la corrosión. El uso de ácidos fuertes y temperatura provocan un problema subsecuente a la limpieza, que es la acumulación de tizne de carbón y para remover este tipo de suciedad de la superficie se necesitan sustancias secuestrantes, quelatos.

Aluminio-

Es un material muy ligero, se caracteriza por ser muy maleable y fuerte. Es muy utilizado en la industria aeroespacial, automotriz y construcción. Es muy resistente al intemperismo debido a la capa de óxido que se forma en la superficie, a diferencia de los materiales ferrosos, lo protege contra la corrosión atmosférica y se reconoce por su apariencia blanca.

Aunque virtualmente permanece intacto a las condiciones atmosféricas el aluminio es altamente reactivo a soluciones ácidas y básicas fuertes. Temperaturas arriba de los 70 °C también promueven

la corrosión del aluminio aunque el líquido sea solamente agua. Para limpiar la superficie del aluminio se utilizan soluciones ácidas débiles.

La clave para la preparación de la superficie del aluminio es la remoción de la capa de óxido con la intención de exponer el metal puro para el adecuado anclaje del recubrimiento.

Zinc-

El sustrato de zinc, igual que el aluminio es un sustrato blando que se presenta principalmente como recubrimiento anticorrosivo (galvanizado) ya que también forma una capa de óxido en la superficie que inhibe la formación de más óxidos protegiendo la superficie. Por lo tanto los procesos de limpieza y protección de esta superficie son idénticos a los de aluminio.

3.3. PRETRATAMIENTO.

Como se comentó anteriormente el tipo de limpieza y la aplicación de la capa de conversión (protección anticorrosiva) esta definido por el tipo de material, condiciones de la superficie y dimensiones de las piezas a tratar.

En la actualidad se utilizan compuestos químicos que pueden tener dos o más funciones, lo que determinará las etapas del proceso, de tal forma que se hacen más versátiles sin dejar a un lado la calidad del pretratamiento.

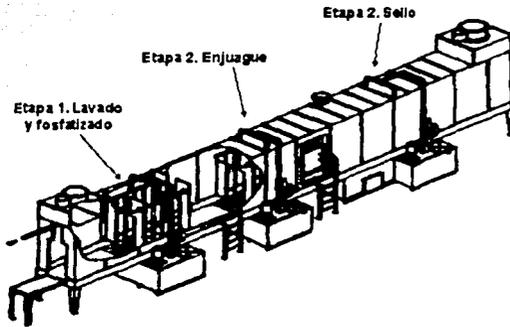
A continuación se presentan los procesos más comunes así como sus características y condiciones.

Proceso de tres etapas.

Puede ser por aspersión o por inmersión.

Los procesos de tres etapas que utilizan limpiadores fosfatizantes son muy comunes, (fosfatos de fierro). Ofrecen resultados de muy buena calidad cuando los químicos utilizados son escogidos primordialmente por su poder para limpiar. Las etapas que comprenden este proceso son las siguientes:

1. *Limpieza y fosfatizado.* Esta es una etapa multipropósito. Primero se remueven todos los contaminantes del sustrato y luego se deposita un recubrimiento de fosfato en la superficie. La remoción de suciedad es provocada por los surfactantes y detergentes. En este proceso se necesita mantener las condiciones de acuerdo a las condiciones especificadas por el proveedor para el tipo de producto utilizado. Se utiliza generalmente en concentraciones del 10 al 40 % en volumen.
2. *Enjuague.* Esta etapa tiene como finalidad la remoción de la suciedad y partículas que no están adheridas a la superficie del sustrato. Es importante mantener esta etapa con reflujos de agua limpia para prevenir la formación de SDT (sólidos disueltos totales) y contaminar la superficie.
3. *Sello.* Esta etapa final, consiste en una solución muy diluida (entre 2 y 3 % en volumen) de un sello orgánico, que puede ser de carácter ácido o básico y tiene como finalidad la remoción de residuos químicos y evitar la formación de óxido flash.



Configuración típica de un sistema de pretratamiento automático de tres etapas

Condiciones:

Temperatura
30 a 60 °C etapa 1 y 3

Concentración típica

10 al 40 % en volumen etapa 1
2 a 3% en volumen etapa 2

**Peso del recubrimiento mg/ft²
(Fosfato)**

20 – 40

Tiempo de residencia

Etapa 1	90 segundos
Etapa 2	45 segundos
Etapa 3	30 segundos

(4.)

Proceso de cinco o más etapas.

Puede ser por aspersión o por inmersión.

Los sistemas de cinco o más etapas están diseñados para ofrecer un pretratamiento de alta calidad, el cual ayuda a un excelente desempeño de las propiedades del recubrimiento en polvo. Estos sistemas pueden incluir etapas de desoxidado, remoción de tizne de carbón, remoción de grasas y aceites, enjuague, fosfatizado y sellado. En general las etapas tienen como finalidad los siguientes propósitos:

1. Limpieza. En esta etapa se utilizan principalmente limpiadores alcalinos por sus características químicas para remover aceites y grasas.
2. Enjuague. El propósito de esta etapa es la remoción de impurezas sueltas y neutralización de la superficie, dejándola en condiciones de limpieza para un fosfatizado uniforme.
3. Fosfatizado. Esta etapa tiene como objetivo el desarrollo de una capa uniforme de fosfato ya sea de hierro o de zinc, el cual ayudará al anclaje del recubrimiento en polvo e inhibirá la corrosión, este recubrimiento de fosfato puede pesar de 40 a 70 mg/ft²
4. Enjuague. Tiene como finalidad el enjuague de la solución de fosfato remanente, detener la formación de fosfato y preparar la superficie para la etapa final.

Condiciones:

Temperaturas	60 – 80 °C	Etapa 1
	30 – 60 °C	Etapa 3 y 5
Concentraciones típicas	30 a 40 g/L	Etapa 1
	2 a 4% en volumen	Etapa 3
	0.1 a 0.3% en volumen	Etapa 5
Acidez típica (pH)	10 a 12	Etapa 1
	3 a 5	Etapa 3
	8 a 9	Etapa 5 (sellos básicos)
	4 a 5	Etapa 5 (sellos ácidos)
Peso del recubrimiento	40 a 70 mg/ft ²	

⁴ POWDER COATING. The complete Finisher's Handbook. Ed. The powder coating Institute

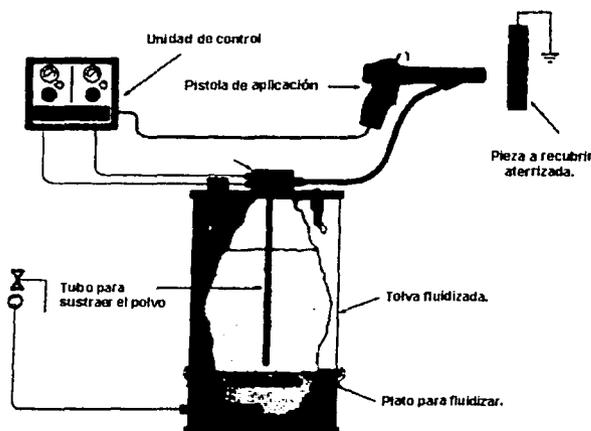
3.4. MONITOREO Y CONTROL DE LOS SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO

Como toda secuencia en una línea de procesos el monitoreo y control de la etapa es sumamente importante, en el caso de procesos manuales o automáticos se debe asegurar la calidad de los productos pretratados, esta calidad esta determinada por el tipo de sustrato y uso final de los productos. Un monitoreo continuo de las condiciones de las etapas (limpieza, fosfatado, sello y enjuagues), la frecuencia de este monitoreo estará determinada por el tipo de material procesado y por la carga de trabajo. Los parámetros típicos que deben monitorearse son: pH, temperatura, presiones en la tubería (en el caso de pretratamiento por aspersión.). Para evitar problemas se puede utilizar un monitoreo por control estadístico el cual nos ofrece información histórica la cual nos puede ser muy útil para la identificación de estos.

4. MÉTODOS Y EQUIPOS PARA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO.

El proceso de aplicación de recubrimientos en polvo sobre un sustrato es similar al tradicional de pintado que se sigue con los recubrimientos líquidos; las piezas que van a recubrirse primero reciben un pretratamiento en una serie de cámaras de rociado o tanques de inmersión para asegurar que la superficie del sustrato a recubrir esté libre de grasas, polvo, óxido u otros contaminantes. En la mayoría de los casos, las piezas también se someten a tratamientos de fosfatado y cromatizado para mejorar la adhesión del recubrimiento. Los pretratamientos que más se utilizan con el recubrimiento en polvo son: el fosfatado de hierro (para el acero), el fosfatado de zinc (para sustratos de acero o galvanizados) y el fosfatado de cromo (para sustratos de aluminio). Después de este paso, el sustrato tiene que secarse para colocarse en la cabina de aplicación, y posteriormente a la aplicación del recubrimiento, entran en el horno de curado, donde el recubrimiento se funde y cura. El proceso de aplicación usa cuatro elementos básicos de equipo: el de alimentación de polvos, pistola electrostática, la cabina de aplicación y el de recuperación de polvos.

4.1. EQUIPOS ELECTROSTATICOS.



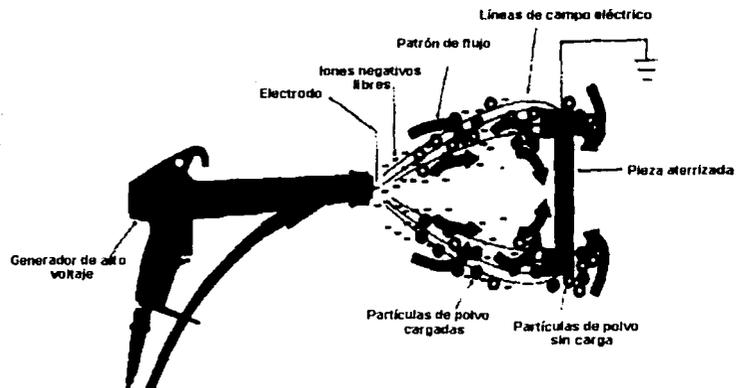
El equipo electroestático esta compuesto por tres elementos básicos: 1) la tolva de alimentación; es un contenedor, generalmente cilíndrico, el cual contiene una membrana porosa en el fondo (plato de fluidización) el cual permite pasar el aire que se esta introduciendo a la tolva por debajo de esta membrana para fluidizar el polvo que será aplicado, esta mezcla de polvo y aire se transporta a través de mangueras y un (.⁵)

Esquema típico del equipo para aplicación de pintura en polvo.

⁵ POWDER COATING. The complete Finisher's Handbook. Ed. The powder coating Institute

tubo de succión conectados a una bomba neumática hacia la 2) pistola de aplicación; compuesta por un generador de alto voltaje en corriente directa, una varilla o electrodo y la boquilla aspersora.

El electrodo de carga localizado al frente de la pistola imparte la carga electrostática a las partículas de polvo cuando salen de la boquilla. Estas pistolas de alto voltaje y bajo amperaje, generan un campo electrostático parecido a una corona, entre el electrodo y el objeto a recubrir, la carga en el electrodo generalmente es negativa y su fuerza puede ser controlada por el operador, por medio de la 3) consola o panel de control. Las partículas de polvo que pasan a través del campo ionizado electrostáticamente reciben carga al pasar por la punta de electrodo, su vuelo al sustrato recibe la influencia del campo eléctrico, las partículas siguen la línea de este y las corrientes de aire rumbo al objeto



Pistola para aplicación de pintura electrostática en polvo tipo corona.

(6.)

que van a recubrir, se depositan en la superficie de la pieza aterrizada eléctricamente

Los avances recientes en los sistemas de alimentación de polvos, sumados a una mejor calidad en éstos que reducen aglomeraciones, hacen posible que la alimentación a la pistola sea un flujo continuo. Estos equipos electrostáticos son los que dirigen el flujo del polvo, controlan el patrón del tamaño, la estructura, la forma y el espesor del rociado al momento en que se acciona, imparten la carga electrostática al polvo que va a ser aplicado y determinan el índice de depositación y la localización del polvo en el objeto a recubrir, se pueden clasificar en manuales o automáticas (montadas sobre una base fija o móvil, y si bien los principios básicos de operación son similares, existe una gran variedad de estilos, formas y tamaños.)

Una desventaja de este tipo de equipo electrostático, llamado del tipo corona, es la relativa dificultad que tienen para recubrir piezas de formas irregulares con cavidades o áreas de difícil acceso que pueden resultar afectadas por el efecto de jaula de FARADAY donde las líneas del campo electrostático no llegan debido a que las partículas de polvo reciben la influencia de las líneas del campo electrostático, la depositación en cavidades y áreas poco accesibles son más difíciles.

En el caso de la llamada "pistola electrostática tribo", las partículas de polvo reciben la carga electrostática como resultado de la fricción que ocurre cuando rozan un aislador o conductor que se encuentra dentro de la pistola. La carga resultante se logra mediante una franja de electrones en el polvo, lo cual produce una carga positiva; debido a que no se cuenta con un campo electrostático, las partículas de polvo cargadas emigran hacia la pieza aterrizada y tienen libertad para depositarse en cualquier parte de la superficie que va a recubrirse, minimizando así el efecto de la jaula de FARADAY y mejorando la depositación en áreas de acceso restringido.

Actualmente ya se producen recubrimientos resistentes al calor, recubrimientos metálicos y texturizados, polvos transparentes y claros, y polvos que pueden usarse para colorear plásticos. Los fabricantes continúan en el perfeccionamiento de resinas y agentes de curado, teniendo como resultado

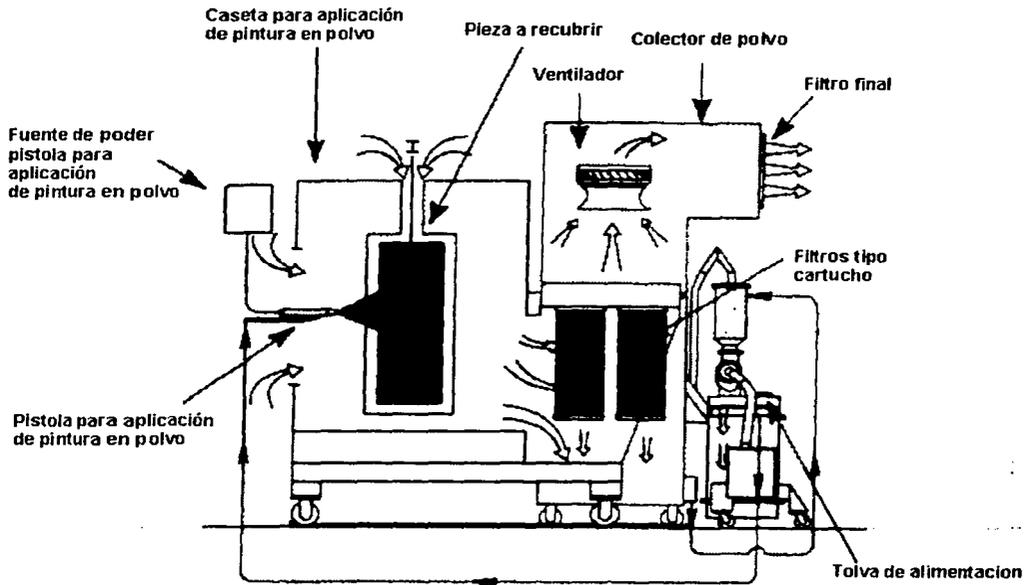
⁶ POWDER COATING. The complete Finisher's Handbook. Ed. The powder coating Institute

que el recubrimiento en polvo pudiera realizarse sobre sustratos de plástico, madera y otros productos sensibles al calor. También hay nuevos descubrimientos en el área de esmaltes en polvo, los cuales podrían reemplazar a los esmaltes de porcelana que actualmente se aplican en bañeras y lavadoras. Los avances en microprocesadores, equipos automatizados y tecnología de curado infrarrojo permiten incrementar la producción en las instalaciones para recubrimientos en polvos, todos estos avances, garantizan que los recubrimientos en polvo tendrán una participación permanente y creciente en el mercado de acabados.

4.2. CABINAS Y HORNOS.

CABINA

La función primordial de la cabina de polvo es contener los polvos para que no emigren a otras áreas debido al rociado. Deben considerarse varios criterios al seleccionar la cabina adecuada para, una línea de producción con este tipo de recubrimientos, los accesos, de entrada y salida deben tener un tamaño adecuado para que haya un claro entre la cabina y la pieza más grande a recubrir. El flujo de aire que pasa a través de la misma debe ser lo suficientemente fuerte para permitir que los polvos no depositados en las piezas lleguen al sistema de recuperación, pero no tanto que interrumpa el depósito



Caseta para aplicación de pintura en polvo de filtros

del polvo y la retención del mismo en la pieza a recubrir. Esto se logra generalmente manteniendo una velocidad promedio de 100 pies/min a través de la entrada y salida de la cabina; si esta va a utilizarse para aplicar varios colores, su interior no debe de tener ranuras cavidades o superficies irregulares que sean difíciles de limpiar. Esto es particularmente importante si el polvo recuperado se va a recircular, como es indispensable.

Los beneficios económicos y ambientales relacionados con la rehabilitación de los polvos recuperados han inducido a los productores de equipos a desarrollar sistemas diseñados especialmente para recuperar polvos, que son de gran valor siempre y cuando estén libres de contaminantes de color. Cuando una sola partícula de color diferente se cura en la pieza, no se mezcla, sino que contrasta con el acabado. Los fabricantes de equipo han hecho avances significativos en el diseño de cabinas de polvos que permiten cambiar color con un mínimo de tiempos muertos y recuperar un alto porcentaje de polvos.

HORNOS

Normalmente se utilizan tres tipos básicos de hornos para el curado de estos recubrimientos: *convencional, infrarrojo y una combinación de ambos*. En el caso de los hornos convencionales, sean eléctricos o de gas, el aire se calienta y circula dentro del mismo y alrededor de las piezas recubiertas, las cuales alcanzan la temperatura deseada que esta en el rango de 180 °C a 210 °C.

Los hornos infrarrojos (IR) usan una fuente de energía eléctrica o de gas y emiten radiación en la banda de los infrarrojos, esta energía radiada es absorbida por el polvo e inmediatamente la pieza queda a una temperatura menor; sin embargo, en este caso no es necesario que toda la pieza alcance la temperatura del curado, lo que permite un aumento relativamente rápido de temperatura del polvo. Una desventaja de este tipo de hornos es que para que el polvo obtenga la energía necesaria para fundir deberá estar expuesto de frente hacia las lámparas de radiación limitándose a piezas planas o en el caso de piezas con volumen, a que alguna de las caras no tenga el adecuado curado u horneado.

Los hornos combinados generalmente usan los rayos IR en su primera zona para fundir rápidamente el polvo y una zona convencional, donde se utilizan corrientes de aire a mucho mayor velocidad, ya que no existe el riesgo de que el polvo se separe de la pieza y vuele. Estos equipos permiten que la transferencia de calor sea más rápida disminuyendo de esta manera el tiempo de curado.

5. CONTROL DE CALIDAD

5.1. DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD.

Establecer los parámetros de calidad es esencial para el éxito de un proceso de recubrimiento en polvo. La implementación de estándares y prácticas de calidad son elementos críticos en cualquier operación. La calidad total requiere:

- Procedimientos de documentación
- Capacitación constante y compromisos del personal
- Revisiones constantes para implementar tareas de calidad
- Comunicación entre el personal involucrado
- Buen sistema de información

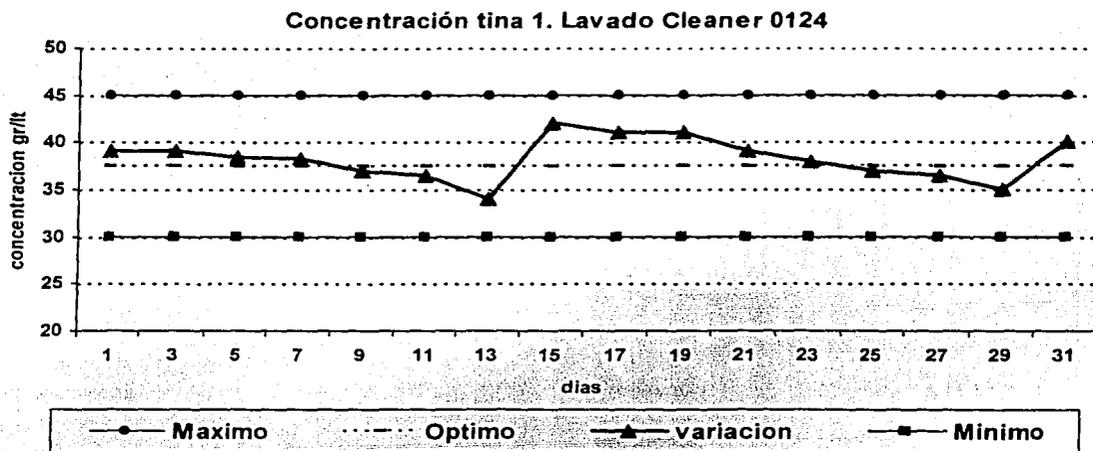
Adaptarse a los estándares de calidad en cada paso del proceso se reflejan positivamente en el desempeño de la empresa. Algunos de los puntos que se tienen que tomar en consideración son los siguientes:

- Equipo de prueba necesario para realizar muestreos de calidad (con referencia a los métodos más relevantes.)
- Especificar estándares apropiados de calidad
- Capacitación y entrenamiento
- Definir los posibles defectos
- Rastreo de los rechazos

5.2. PROCEDIMIENTOS DE DOCUMENTACION.

La aplicación de pintura en polvo involucra varios procesos como ya se ha mencionado, el pretratamiento de las piezas, la aplicación del polvo y el horneado. Por medio de un sistema de documentación de los puntos críticos del proceso, identificación y monitoreo de las variaciones del proceso, nos ayudan a reducir el riesgo de rechazos.

El proceso de pretratamiento, que es el paso principal y crítico en la aplicación necesita un monitoreo muy cuidadoso, en este identificamos tres condiciones críticas del sistema 1) La concentración de los baños 2) El pH y 3) La temperatura, además de otros puntos que dependen del factor humano como es el tiempo de residencia de las piezas en el baño; estas condiciones críticas las podemos monitorear con graficas de control, muy parecidas al control estadístico, en estas tenemos las condiciones máximas y mínimas además del punto optimo, como se muestra a continuación.



⁷Grafica de control de baños

La frecuencia del monitoreo depende del volumen de piezas procesadas y del tipo de material procesado.

Para el proceso de aplicación de pintura podemos utilizar hojas de control donde se especifica el tipo de piezas; el tipo de pintura a aplicar (hibrida, epoxica, poliéster), el color, y las condiciones a las que será horneado. A continuación presentamos un ejemplo.

⁷ Grafica de control de baño de lavado. Cualli Pintura el Polvo S.A. de C.V.

HOJA DE CONTROL

Fecha: Agosto 2002

Cliente:

Tipo de material Aluminio

Nombre de la pieza

PINTURA

Color: RAL 7022

Proveedor Tiger Drylac

Tipo de pintura

Poliéster

Clave

39 / 94420

Tolva 1

Nombre del pintor

Kgs iniciales

pintura virgen

Kgs iniciales

pintura recuperada

Kgs finales:

Tolva 2

Nombre del pintor

Kgs iniciales

pintura virgen

Kgs iniciales

pintura virgen

Kgs finales:

HORNEO

Temperatura del horno

200 °C

Velocidad de transportador

0.6 m / min

Tiempo de residencia

18 min

Supervisor
responsable:**CONTROL DE CALIDAD**

Prueba de acetona Si

Frecuencia Muestra cada 15 min

Prueba de golpe Si

Frecuencia Muestra cada 30 min

Muestra de adherencia de Si

Frecuencia 1 al inicio
1 a la mitad del lote
1 al final

Muestra de camara salina No es aluminio

Frecuencia

Supervisor
Responsable.

Genero:

Reviso:

⁸Hoja de proceso⁸ Hoja de control del proceso de pintura y horneado. Cualli Pintura el Polvo S.A. de C.V.

5.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD.

Los estándares de calidad para un acabado de película deben considerar dos puntos principales; la apariencia (nivelación, color, brillo, etc.) y los requerimientos de las propiedades físicas (comportamiento mecánico, durabilidad al exterior, dureza de la superficie, etc.) Se pueden generalizar tres clases para la calidad del acabado (A, B, C) donde la de más alta calidad y por lo tanto la más difícil de producir consistentemente es la clase A.

Clase **A** requiere brillo muy consistente, el menor número de defectos, una gran nivelación y una mínima variación de color entre lotes. Para alcanzar una producción consistente de esta clase de acabados se requiere de ciertas condiciones como el uso de áreas limpias. Algunos ejemplos de aplicación de este tipo de acabados son la industria electrónica, aparatos de línea blanca y la automotriz.

Clase **B** son también de alta calidad, pero los objetivos de calidad son más accesibles. Un alto porcentaje de recubrimientos en polvo de esta clase se utilizan como decorativos donde las aplicaciones incluyen mobiliario para casa, oficina y estantería.

Clase **C** generalmente no requieren una buena apariencia pero sus requerimientos físicos y mecánicos deben ser muy buenos. Las aplicaciones típicas de esta clase incluyen partes para motores, barras para reforzamiento de concreto, soportería automotriz, etc. Los requerimientos de calidad de este tipo de recubrimientos deben ser discutidos entre el productor y el usuario final.

Así como una buena apariencia, las propiedades físicas requieren de la asignación de estándares de calidad, por ejemplo: durabilidad al exterior, resistencia a cámaras salinas, resistencia a ambientes corrosivos a los cuales en ocasiones el producto nunca va a estar expuesto. Generalmente una clase A tiene un costo mayor por lo que se debe ser muy realista en la asignación de estándares de calidad.

Después de establecer los estándares de calidad, es necesario determinar el tipo de muestreo que se realizará durante el proceso de aplicación y que muestreos requieren pruebas a largo plazo (resistencia a rayos ultravioleta, a la corrosión, al intemperismo, etc.)

Los muestreos a largo plazo no pueden ni deben realizarse en cada lote de aplicación, por lo que se requiere negociar antes de realizar la aplicación.

Para los muestreos de calidad en línea (como variación de color, brillo, tiempo de gelado, impacto), deben realizarse por cada lote producido.

Finalmente es importante recordar que la definición de calidad depende de un acuerdo mutuo entre el usuario final y el aplicador, para obtener resultados de calidad deseados y económicamente viables.

5.4. MÉTODOS DE PRUEBA Y EQUIPO.

El uso de equipos de prueba no puede ser independiente a la metodología empleada. Estos equipos de prueba pueden ser divididos en dos categorías principales:

1. Equipo utilizado para muestreo del recubrimiento en polvo.

MÉTODO DE PRUEBA	PROCEDIMIENTO	EQUIPO DE MEDICIÓN
Tiempo de gelado	PCI # 6	Plato caliente y cronómetro
Gravedad específica	PCI # 4; ASTM D792, ASTM D153	Matraz volumétrico y balanza
Fluido seco	ASTM D1895	Cámara fluidizada
Flujo en polvo inclinado	PCI # 7	Prensa para tabletas y horno
Tamaño de partícula	ASTM D1921, PCI Informe técnico # 6	Criba, instrumento electromecánicos
Volátiles	PCI # 9, ASTM D3451 (12 Y 13), ASTM D1644, EPA Método 24	Horno y balanza analítica para medir la pérdida de peso

Tiempo de gelado-

Es un indicador de la reactividad del polvo y se define como el periodo que tarda el recubrimiento termofijo en fundirse a una temperatura especifica (generalmente en segundos) , fluir y polimerizarse (crosslink) hasta el grado en que deja de ser un liquido fluyendo. Para realizar esta prueba se requiere un plato caliente con control de temperatura y un cronómetro.

Gravedad específica-

Es la medida que relaciona peso y volumen. Esta se puede determinar desplazando el aire en una cantidad en peso conocido de recubrimiento en polvo, con un liquido de densidad conocida, y midiendo el peso del volumen combinado del liquido y polvo. El equipo requerido es un matraz volumétrico y una balanza analítica.

Fluido en seco-

Es la observación y/o medida de la característica relativa a fluir libremente, los materiales con un buen fluido en seco son fácilmente transportables a través de los equipos. El equipo requerido para medir esta característica es muy simple y consiste en una serie de tuberías con diámetros variados, los periodos requeridos para fluir a través de una tubería especifica determina la facilidad de fluir.

Flujo en un plano inclinado-

Es la distancia, en milímetros, que una tableta de recubrimiento en polvo fluye en una superficie inclinada bajo condiciones de curado especificas. Cuando se trabaja en condiciones constantes (temperatura, ángulo del plato, peso y dimensiones de la tableta), el tiempo de gelado y la viscosidad del fluido son determinantes. Esta prueba es un indicador de la nivelación potencial y del poder cubriente. El equipo necesario para realizar esta prueba es un plato que se pueda inclinar a un ángulo apropiado y repetible, una prensa para hacer tabletas y un horno.

Tamaño de partícula-

El tamaño de partícula puede afectar a ciertas características del recubrimiento en polvo como fluido en seco, características de deposición, formación de película, apariencia y eficiencia. Los valores del tamaño de partícula dependen del método que se utiliza. Un método muy sencillo para realizar esta prueba es hacer pasar una cantidad de polvo a través de mallas que van disminuyendo el tamaño de retícula y se mide la cantidad de material que retiene cada una. Otro método más sofisticado es la utilización de un equipo que mida la distribución del tamaño de partícula.

Compuestos orgánicos volátiles-

Aunque los recubrimientos en polvo no son volátiles sus formulaciones están basadas en compuestos poliméricos orgánicos los cuales pueden contener pequeñas cantidades de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, humedad u otros residuos. El equipo necesario para determinar la pérdida de peso es una balanza analítica y un horno.

2. Equipo utilizado para evaluar de la película formada por el recubrimiento en polvo

CARACTERÍSTICAS	NORMA	EQUIPO Y MÉTODO DE PRUEBA
Espesor de película	ASTM D1186 ASTM D1400	Un medidor manual da una lectura digital al presionarse a la superficie del recubrimiento
Resistencia al impacto	ASTM D2794	Un probador de impacto de altura variable deja caer un peso sobre la superficie cubierta. Se mide en lb/in registrando la altura a la cual se rompe la película.
Flexibilidad	ASTM D522	Un panel pintado se dobla alrededor de un cono. El doblado resultante se mide del diámetro mínimo al máximo. Se calcula el grado de elongación al cual se rompe el recubrimiento.
Adherencia	ASTM D3359	Una serie de cortes en cuadrícula se hacen a través del recubrimiento. Se presiona una cinta estándar sobre los cortes y se retira. La calidad de la adherencia se mide por el porcentaje de película removida.
Dureza	ASTM D3363	Se colocan puntas de lápiz con diferente dureza sobre la superficie y se aplica presión (generalmente la misma) y se determina la dureza del recubrimiento por la punta del lápiz mas duro que no penetra la película.
Resistencia a la abrasión	ASTM D4060	Se giran paneles bajo un equipo "Taber" con ruedas de dureza específica a un cierto peso. Se mide por la cantidad de película desbastada.
Brillo	ASTM D523	Un medidor de brillo se utiliza para medir el porcentaje de reflectancia especular relativa a un testigo negro. El valor de brillo depende de un ángulo desde la vertical.
Color	ASTM D2244	Examen visual de un testigo conocido bajo condiciones de iluminación específicas. Medición numérica mediante un colorímetro o espectrofotómetro.
Resistencia a solventes	PCI # 8	Una tela unida a una bola de metal se humedece con acetona y se frota contra la película. El grado de desprendimiento de película o de pigmento determina el grado de curado.
Resistencia química		Se sumergen paneles parcialmente en una solución de prueba. El panel se retira y el extremo expuesto al químico se compara al extremo no expuesto o a un testigo.
Humedad	ASTM D1735	Se exponen paneles a 100% de humedad a 38 °C para determinar en que punto el recubrimiento se decolora o desprende.
Cámara salina	ASTM B117	Paneles con o sin rasgaduras se colocan en una cámara de niebla salina y son examinados a intervalos de tiempo. Se mide el ampollamiento o desprendimiento del recubrimiento para determinar el tiempo que soporta.

CARACTERÍSTICAS	NORMA	EQUIPO Y MÉTODO DE PRUEBA
Intemperismo Exterior	ASTM D1014	Paneles expuestos a la luz solar a cierto ángulo. Se utilizan espejos, humedad u otros medios para acelerar la prueba. Ciclos de pruebas en equipos para simular exposición a exteriores.
Acelerado	ASTM D4141	
Artificial	ASTM D5031 ASTM D822 ASTM D4587 ASTM D3361	

Al concebir un programa de calidad se debe tener como meta el tratar de evitar rechazos y en la medida de lo posible evitar tener imperfecciones en los productos finales, este esfuerzo es compartido tanto por el proveedor del recubrimiento en polvo como por el aplicador y el usuario final.

Esto implica que las empresas que se dedican a la aplicación de este tipo de recubrimientos deben tener una perspectiva del proceso en general, el establecer parámetros de calidad debe ser un proceso constante y consistente en el cual se toman en cuenta todas las características del producto final y del proceso, como puede ser el color, brillo, desempeño del recubrimiento, abastecimiento de materias primas (recubrimiento en polvo), mantenimiento del equipo, etc.

6. CONCLUSIONES.

Principalmente se recubren los productos por dos razones: ornamental (apariencia, vista) y como protección. Este tipo de recubrimientos ofrecen una excelente calidad en estas dos características, pero el proceso para su aplicación requiere un control y monitoreo muy detallado en cada etapa de este.

Cada etapa del proceso tiene puntos críticos.

1. Lavado o pretratamiento, es la etapa más crítica de todo el proceso en gran medida por que depende del factor humano, la mayor parte de los defectos en la apariencia y características físicas de la película es por falta de un buen pretratamiento. Se debe tener mucho cuidado en el control y condiciones de los equipos, para esto se recomienda llevar un control estadístico de proceso con la finalidad de poder asegurar que el proceso se esta llevando a cabo como se especifico, se ha reportado en la literatura que un pretratamiento de baja calidad aparentemente no afecta la calidad de la película del recubrimiento pero con el tiempo se hace evidente al no comportarse adecuadamente. Un ejemplo muy característico es el control de los enjuagues donde debemos monitorear los sólidos suspendidos totales (TDS por sus siglas en inglés), o la última etapa donde se debe neutralizar la superficie del sustrato ya que también los remanentes de las sustancias utilizadas para la limpieza o fosfatizado afectan el pH del sustrato afectando el comportamiento final de la película.

2. Aplicación del recubrimiento, este proceso también depende en gran medida del factor humano, aunque los defectos que se pueden tener son fácilmente detectables, como las transparencias, aplicación no homogénea, impurezas en la superficie del sustrato, marcas por estática, etc. En esta etapa se pueden evitar los defectos capacitando constantemente al personal, teniendo un sistema de monitoreo estricto de la producción, se ha demostrado que un espesor de película adecuado es la clave para lograr estos objetivos de calidad.

3. El horneo o curado es la etapa relativamente más sencilla puesto que los defectos se pueden evitar con un programa efectivo de mantenimiento del equipo, la única manera en que se puede tener un defecto en esta etapa es por el mal funcionamiento de este.

Es por eso que en este trabajo se le da mucha importancia a la parte del pretratamiento ya que se considera el factor clave para un recubrimiento de buena calidad y sobre todo buenas características de protección.

Este tipo de tecnologías tienen una gran ventaja sobre otros procesos, el del aspecto ecológico, donde no se emiten grandes cantidades de contaminantes al ambiente, y a su vez es altamente rentable. La desventaja es que está limitado al tipo y tamaño de piezas, debido a las dimensiones de los equipos y las plantas, no se puede llevar al campo. Aunque actualmente se trabaja con una tecnología llamada Flame Spray Gun, que aplica un recubrimiento en polvo fuera de las plantas, en campo, pero no es tan generalizada debido a sus limitaciones ya que el recubrimiento aplicado no tiene buenas características de apariencia.

7. ⁹GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Apariencia de la superficie: Generalmente se refiere a la apariencia del recubrimiento, al brillo, nivelación o defectos superficiales de la película formada por el recubrimiento.

Carga electrostática tipo Corona: se le denomina carga tipo corona a la inducción de carga estática a las partículas de recubrimiento en polvo haciéndolas pasar por un campo eléctrico de alto voltaje generado por una fuente de poder en corriente directa.

Carga electrostática tipo tribo: Carga estática creada en el recubrimiento en polvo por fricción de las partículas de polvo contra un material no conductor.

Efecto de Jaula de Faraday: es el efecto que genera un arco eléctrico entre dos superficies metálicas que se encuentran muy cercanas o formando cavidades muy estrechas, el cual impide la penetración del polvo en cierta área

Eficiencia de transferencia: Es la relación de recubrimiento en polvo depositado en la pieza o sustrato en comparación con la cantidad de recubrimiento esperado para recubrirlo.

Formación de película: Es la formación de una película continua a partir de una capa de recubrimiento en polvo a la cual se le aplica energía. En los recubrimientos termofijos se lleva a cabo una reacción química durante la aplicación de energía. Una vez fundido y curado el recubrimiento se forma una película homogénea, con color uniforme y con otras propiedades decorativas y de protección.

Punto de curado: punto durante el horneado en el cual el recubrimiento adquiere o desarrolla propiedades específicas.

Punto de fusión: Temperatura a la cual el recubrimiento en polvo empieza a fundirse y fluir.

Recubrimiento en polvo: Recubrimiento aplicado en forma de polvo sobre un sustrato el cual al exponerlo a cierta temperatura se funde y forma una película continua y uniforme. Los recubrimientos en polvo están formados por una mezcla de partículas finamente divididas de polímeros orgánicos, pigmentos, talcos y aditivos principalmente. Estos recubrimientos se pueden aplicar con fines decorativos o de protección.

Recubrimiento termoplástico: Recubrimiento en polvo que se funde cuando se le expone a elevadas temperaturas (arriba de 120°C) y se solidifica cuando se enfría, sin presentar reacción química.

Técnica de esparado electrostático: método por el cual se deposita un recubrimiento electrostáticamente cargado esparándolo sobre un sustrato con carga neutra.

Tiempo de gelado: Intervalo de tiempo requerido a cierta temperatura para que un recubrimiento en polvo se transforme de un sólido seco a un estado parecido a un gel (chiclosa).

Tamaño de partícula: Diámetro promedio de las partículas de recubrimiento en polvo, las cuales tienen una forma irregular.

⁹ Revista. Powder Coating. Reference and buyer 2002. Volume 12 Number 9 December 2001

BIBLIOGRAFIA.

SURFACE COATINGS. SCIENCE & TECHLOGY

Swaraj, Paul.
John Wiley & Sons.
UK 1996

POWDER COATING. THE COMPLETE FINISHER'S HANDBOOK

Nicholas P. Liberto.
Published by The powder coating Institute
USA 1994

ENCYCLOPEDIA OF POLIMER SCIENCE ANG TECHNOLOGY

Boyer, R.F.
N.M Bikales.
USA 1977

PHYSICAL ORGANIC CHEMISTRY

Hine, J.
McGraw Hill
Japan 1962

ECYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY. KIRK-OTHMER

Ed. John Wiley
USA 1992.

THE CHEMISTRY OF ORGANIC FILM FORMERS

Solomon, D. H.
R. E. Krieger Pub. Co.
USA 1977

COMPREHENSIVE POLYMER SCIENCE.

Swaraj, Paul.
Pergamon Press.
U.K. 1989

TIGER NEWS

Tiger Drylac Inc.
USA March 1996 .

POWDER COATING.

CSC PUBLISHING.
USA. December 2001 .