

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO EN PERFILES ARQUITECTÓNICOS DE ALUMINIO, impresión octubre de 2005, graduación ( ), aprobación de protocolo 22 octubre de 2003, estudiante Juan Carlos Mazariegos Alay, carné 1991-17374, asesor Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga, revisor Ing. Víctor Roque García, Trabajo de graduación, Ingeniería Mecánica Industrial.



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**

**ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE PINTURA EN POLVO EN PERFILES  
ARQUITECTÓNICOS DE ALUMINIO**

**Juan Carlos Mazariegos Alay**  
Asesorado por Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga

Guatemala, septiembre de 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE PINTURA EN POLVO EN PERFILES  
ARQUITECTÓNICOS DE ALUMINIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN CARLOS MAZARIEGOS ALAY**

ASESORADO POR ING. LUIS ALFREDO ASTURIAS ZÚÑIGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
EXAMINADOR	Ing. Fernando José Álvarez Paz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Guatemala, abril de 2005.

Ingeniera  
Marcia Ivonne Véliz Vargas.  
Directora de la Escuela de Mecánica Industrial.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniera Marcia Véliz.

Por este medio me dirijo a usted, para informarle sobre el trabajo de graduación del estudiante Juan Carlos Mazariegos Alay, que lleva el título de ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE PINTURA EN POLVO EN PERFILES ARQUITECTÓNICOS DE ALUMINIO, el cual fue desarrollado en las instalaciones de ALUMINIOS INDUSTRIALES SA.

Cumpliendo con los requisitos que me fueron asignados como Asesor de dicho trabajo, he procedido a revisar la misma y una vez hechas las consideraciones y correcciones del caso, considero que la misma cumple con los requisitos requeridos por la escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.

Atentamente,

Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga.  
Asesor  
Colegiado 2787

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE PINTURAS EN POLVO EN  
PERFILES ARQUITECTÓNICOS DE ALUMINIO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 22 de octubre de 2003.

Juan Carlos Mazariegos Alay

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS:**

Por haberme brindado sabiduría e inteligencia, y permitirme finalizar esta etapa de mis estudios.

### **MI MADRE:**

Maria Inés Alay Ruiz. (Q.E.P.D.) por haberme brindado durante mi vida su apoyo incondicional y mostrarme el camino del bien.

### **MIS HERMANOS:**

Marco Antonio, Nancy Verónica, Dolores Patricia, por su apoyo y confianza.

### **MIS AMIGOS:**

Carlos Pérez, Alirio Zuleta y Juan Pablo Lee.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala.**

**La Facultad de Ingeniería.**

A mis queridos y recordados compañeros y amigos, por su amistad y vivencias compartidas.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga.

**Por su paciencia y excelente asesoría.**

Sr. Douglas López Guerrero.

**Por su amistad y ayuda incondicional.**

Empresa Aluminios Industriales S.A.

**Por haberme dado la oportunidad de realizar el presente estudio en sus instalaciones.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	XV
<b>OBJETIVOS</b>	XVII
<b>1. GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA METAL-MECÁNICA</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes históricos del aluminio	1
1.1.1 La industria metal-mecánica	1
1.1.2 La industria metal-mecánica en Guatemala	2
1.1.2.1 Industria del hierro	3
1.1.2.2 Industria del cobre	4
1.1.2.3 Industria del aluminio	5
1.2 Proceso de producción del perfil arquitectónico	7
1.2.1 Descripción del proceso de fundición del aluminio	7
1.2.2 Descripción del proceso de extrusión de aluminio	8
1.2.3 Descripción del proceso de estirado	12
1.3 El perfil arquitectónico de aluminio	12
1.3.1 Perfil mil finish	12
1.3.2 Perfil Anodizado.	13
1.3.3 Perfil pintado.	13
<b>2. MECÁNICA DE LA LIMPIEZA BÁSICA DEL ALUMINIO</b>	<b>15</b>
2.1 Método de limpieza	15
2.1.1 Limpieza con solvente	15
2.1.2 Desengrasado con vapor	15
2.1.3 Limpieza por emulsión	15
2.1.4 Limpieza semiacuosa	16
2.1.5 Limpieza alcalina	16
2.1.6 Limpieza ácida	16
2.1.7 Limpieza mecánica	17
2.2 La suciedad creada por el proceso de producción	17
2.2.1 Suciedad por maquinado	17
2.2.2 Suciedad por pulido y abrillantado	17
2.2.3 Suciedad por proceso de formado	18
2.2.4 Suciedad por tratamiento térmico	18

2.2.5	Suciedad por remoción térmica de rebabas	18
2.2.6	Suciedad por decapado	18
2.2.7	Suciedad por inhibición de herrumbre	19
2.3	Factores que afectan el rendimiento de un limpiador	19
2.3.1	Tiempo de contacto	19
2.3.2	Temperatura de trabajo	20
2.3.3	Concentración del limpiador	20
2.3.4	Acción física	21
2.3.5	pH.	21
2.3.6	Contaminación	22
2.3.7	Aditivos	22
2.4	Selección del limpiador adecuado	23
2.4.1	Equipo	23
2.4.2	Substrato	23
2.4.3	Mugre	23
2.4.4	Características del producto	24
2.4.4.1	Líquido concentrado	24
2.4.4.2	Polvo	24
2.4.5	Constituyentes del producto	24
2.4.6	Seguridad del trabajador	25
<b>3.</b>	<b>ETAPA DE CONVERSION</b>	<b>27</b>
3.1	Recubrimiento de conversión	27
3.1.1	Mecanismo de reacción	28
3.1.2	Aplicación del recubrimiento	28
3.1.3	Detalles del recubrimiento	29
3.1.4	Selección del agente de conversión	30
3.1.5	Parámetros de operación y control	31
3.1.6	Características del recubrimiento	31
3.1.7	Corrección de fallas	31
3.2	Prescripciones de trabajo	32
3.2.1	Almacenaje de las piezas a tratar	32
3.2.2	Tratamiento preparatorio para revestimientos en polvo	33
3.2.2.1	Tratamiento preparatorio tipo crómico	33
3.2.2.2	Tratamiento preparatorio tipo anódico	34
3.2.2.3	Tratamientos preparatorios tipo alternativos	35
3.2.3	Tratamiento preparatorio para revestimiento Electroforetico	35
3.3	Formas de control de una buena aplicación	35

3.3.1	Cocción	35
3.3.2	Equipo de laboratorio para pruebas	36
<b>4.</b>	<b>RECUBRIMIENTO EN POLVO</b>	<b>37</b>
4.1	Características de la pintura en polvo	37
4.1.1	Problemas en sus inicios	37
4.1.2	Recubrimientos termoplásticos	38
4.1.3	Recubrimientos termo fijos	39
4.2	Proceso de aplicación de la pintura en polvo	40
4.2.1	Descripción de la aplicación	40
4.2.2	Equipo necesario para la aplicación	40
4.2.3	Recubrimiento en polvo poliéster puro TGIC	41
4.2.4	Recubrimiento en polvo epoxi	42
4.2.5	Recubrimiento en polvo híbrido	43
4.3	Eficiencia en la aplicación de la pintura en polvo	43
4.3.1	Tamaño de las partículas de polvo	44
4.3.2	Otros factores que afectan la transferencia	48
4.3.3	Condiciones de los electrodos de aplicación	48
4.4	Jaula de Faraday	50
4.4.1	Principio físico de Faraday	51
4.4.2	Técnicas para reducir el campo electrostático	52
<b>5.</b>	<b>REGLAS Y REGULACIONES PARA PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO</b>	<b>53</b>
5.1	Reglas y regulaciones en la planta de pintura	53
5.1.1	Simbología de seguridad	53
5.1.2	Precauciones de seguridad para el operador	55
5.1.2.1	Entrenamiento del operador	55
5.1.2.2	Regulaciones	55
5.1.2.3	Higiene personal	55
5.1.2.4	Ropa apropiada	55
5.1.2.5	Guantes	55
5.1.2.6	Zapatos	56
5.1.2.7	Protección de ojos	56
5.1.2.8	No fumar en área de aplicación	56
5.1.2.9	Artículos personales	56
5.1.2.10	Respirador apropiado	56
5.1.2.11	Pistolas de aire	56

5.2	Recomendaciones de limpieza en el área de aplicación	57
5.2.1	Limpieza general	57
5.2.2	Limpieza del equipo	57
5.2.3	Cabina movable	57
5.3	Guía de seguridad en la aplicación	57
5.3.1	Servicio calificado	57
5.3.2	Procedimiento de emergencia	58
5.3.3	Prevención de fuego	58
5.3.4	Condición de alerta	58
5.3.5	Área de aplicación	58
5.3.6	Operación de seguridad	58
5.3.7	Operación de aplicación dentro de la cabina	59
5.3.8	Acceso al interior de la cabina	59
5.3.9	Plataformas del operador	59
5.3.10	Hoja de datos del material de seguridad	59
5.3.11	Solventes	59
5.3.12	Almacén de polvos	60
5.4	Guía de seguridad del equipo	60
5.4.1	Mantenimiento del equipo	60
5.4.2	Desconexión del equipo	60
5.4.3	Operación del equipo	60
5.4.4	Circuitos interconectados	61
5.4.5	Requerimientos de conexión a tierra	61
5.4.6	Transportador y ganchos	62
5.4.7	Pistolas electrostáticas	62
5.4.8	Pistolas manuales	62
<b>6.</b>	<b>SOLUCIÓN DE PROBLEMAS</b>	<b>63</b>
6.1	Problemas en el manejo de la pintura en polvo	63
6.1.1	Espesor variable	63
6.1.2	Deficiente adherencia electrostática	64
6.1.3	Acumulamiento inadecuado de polvos	65
6.1.4	Válvula bloqueadora	66
6.1.5	Baja penetración en esquinas	67
6.1.6	Fuerte apelmazamiento en las mangueras e inyectores	68
6.1.7	Mala fluidificación en el depósito	69
6.1.8	Nube de polvo inadecuada	69
6.2	Problemas en la película aplicada	70

6.2.1 Punto de aguja en las películas	70
6.2.2 Bajas propiedades mecánicas	71
6.2.3 Cambio de tonalidad	72
6.2.4 Superficie de la película dañada	73
6.2.5 Suciedad y grumos en la película	73
6.2.6 Cráteres en la película	74
6.2.7 Ampollas en la película	74
6.2.8 Irregularidades en la película	75
6.2.9 Escurrimientos en la película	75
6.2.10 Superficie poco lisa	76
6.2.11 Brillo variable	77
6.2.12 Baja resistencia a la corrosión.	77
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>84</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Gráfico de tamaño de partículas de la pintura en polvo.....	46
2. Fuerzas aplicadas a las partículas de pintura.....	48
3. Película antes y después de polimerizarse.....	49
4. Grafico de eficiencia de los electrodos.....	50
5. Efecto de jaula de Faraday.....	52
6. Forma correcta de pintar superficies planas.....	53
7. Símbolo de posible explosión.....	55
8. Símbolo de posible shock eléctrico.....	56
9. Símbolo de alerta.....	56
10. Símbolo de nota de seguridad.....	56



## GLOSARIO

<b>Ácido:</b>	soluciones acuosas con pH menor a 7 en una escala de 1 a 14.
<b>Agentes tenso activos:</b>	un agente químico que reduce la tensión superficial del agua. Podría decirse que hace al agua más húmeda, permitiéndole penetrar más rápidamente.
<b>Alcalino:</b>	soluciones acuosas con un pH mayor a 7 en una escala de 1 a 14.
<b>Anòdizado:</b>	proceso de revestimiento químico que se aplican a aleaciones de aluminio, zinc, berilio, titanio y magnesio.
<b>Base:</b>	lo opuesto a ácido; igual que alcalino.
<b>Bisutería:</b>	artículos decorativos con finos acabados.
<b>BOT:</b>	se denomina así al material sobrante de un lingote de aluminio.
<b>Calcinación:</b>	proceso de calentamiento del metal hasta una temperatura por debajo de su punto de fusión, donde ocurre una reacción química.
<b>Clorocarbonos:</b>	compuestos químicos de hidrógeno, cloro y carbono.

<b>Efecto jaula de Faraday:</b>	es la dificultad para recubrir, en este caso la pintura en polvo en algunos lugares como cavidades, partes de difícil acceso o dobles filos.
<b>Electroforeticos:</b>	Son materiales formados con partículas dispersas de un sistema coloidal que se mueven hacia el electrodo con carga opuesta chocando contra este y neutralizándose.
<b>Emulsión:</b>	la dispersión o suspensión de partículas o glóbulos finos en uno o más líquidos.
<b>Limpieza por emulsión:</b>	el uso de un solvente orgánico suspendido en agua, que se rocía sobre la parte sucia para remover aceite y mugre.
<b>Magnetita:</b>	es un óxido de hierro de estructura cristalina de color pardo con propiedades magnéticas. Su porcentaje de hierro puede llegar al 72% por lo que es el más rico de los minerales y su hierro muy puro.
<b>Mena:</b>	toda materia de origen mineral de la cual se pueden extraer uno o más metales.
<b><i>Mil finish:</i></b>	se denomina así al perfil que no tiene ningún tipo de revestimiento sino únicamente su inhibidor natural.
<b>Oxidación:</b>	combinar con oxígeno, produciendo calor, luz o descomposición de las superficies metálicas.

<b>Ozono:</b>	forma triatómica del oxígeno; poderoso oxidante que hierve a $-112^{\circ}\text{F}$ , usado como un oxidante, blanqueador o purificador de agua.
<b>pH:</b>	es una forma de expresión de la concentración del ión hidrógeno para determinar si una solución es ácida o es alcalina.
<b>Polimerizar:</b>	proceso de revestimiento a base de polímeros.
<b>Quelantes:</b>	agentes que permiten que la solución disuelva compuestos metálicos como la herrumbre, incrustaciones y hierro.
<b>Saponificadores:</b>	sustancias químicas que convierten los compuestos orgánicos en jabones solubles en agua.
<b>Siderita:</b>	es un carbonato de hierro de color blanco amarillo, de estructura cristalina que puede llegar a contener un 50% de hierro y se denomina también hierro espático.
<b>Solubilidad:</b>	la cantidad de soluto que se disuelve en una cantidad dada de disolvente para producir una solución saturada.
<b>Temperatura de curado:</b>	se denomina así a la temperatura de cocimiento de la pintura en polvo, donde se da el efecto de polimerización.



## INTRODUCCIÓN

Conforme la industria avanza, se van desarrollando nuevas técnicas y formas de darle acabados superficiales a los productos. La tecnología de los recubrimientos en polvo ofrece muchas ventajas a la industria de los acabados, pero, talvez, la más importante es cumplir con las normas ambientales. Su uso como alternativa a los recubrimientos líquidos base solvente, reduce, notablemente, la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Debido a que se aplican mediante partículas secas, finamente, divididas, no se liberan compuestos orgánicos volátiles durante su aplicación y sólo cantidades pequeñas lo hacen durante el proceso de curado; además, los procesos de estos recubrimientos, también, reducen el consumo de energía y la generación de residuos peligrosos.

El propósito de esta guía, “Estudio sobre la aplicación de pintura en polvo en perfiles arquitectónicos de aluminio”, es proveer a las plantas de producción, una guía detallada de los pasos que se deben seguir para la aplicación de recubrimientos en polvo y la maquinaria que deben de adquirir para llevar a cabo estos procesos productivos.

Asimismo, provee el ordenamiento lógico en la aplicación de estos pasos y las indicaciones precisas a seguir en cada una de ellas.

Para la elaboración de este trabajo de graduación, se hizo una amplia revisión bibliográfica. Los resultados de esta revisión fueron utilizados para complementar y diseñar el presente trabajo.



## JUSTIFICACIÓN

Estimulado por las regulaciones ambientales y los adelantos tecnológicos recientes, el uso de recubrimientos en polvo se ha incrementado, notablemente, aunque en Guatemala todavía son pocas las industrias que han implementado este sistema, este tipo de tecnología se encuentra disponible desde mediados de la década de 1950 y ha encontrado nichos de mercado que incluyen desde la industria petrolera, electrodomésticos, industria automotriz y de extrusión de aluminio hasta accesorios deportivos.

La pintura industrial, como es conocido este proceso, tiene sus procedimientos o etapas necesarias para llegar a un acabado final de optima calidad. En el presente trabajo de graduación se estudiará la etapa de preparación del material, la etapa de tratamiento químico, etapa de pintura y la etapa de cocimiento de la pintura que se conoce mas como etapa de polimerización, el estudio que se realiza es con la finalidad de dar a conocer este tipo de pintura industrial porque no es muy conocido en nuestro medio como lo es la pintura a base de lacas.



# OBJETIVOS

## General

Determinar las condiciones operacionales y de formulación que permitan un proceso de polimerización óptima sobre la superficie de aluminio con el equipo y materiales disponibles en una industria metal-mecánica nacional privada.

## Específicos

1. Evaluar el comportamiento de las propiedades físicas del producto final, para asegurar una calidad satisfactoria y constante del acabado.
2. Determinar la concentración óptima del agente limpiador, La temperatura y formas de aplicación del limpiador en sus distintas presentaciones líquido concentrado y polvo soluble.
3. Evaluar y controlar el comportamiento de las condiciones del proceso de polimerización sobre la superficie de aluminio.
4. Determinar la concentración óptima del agente adherente, La forma y tiempo de aplicación sobre la superficie a pintar.
5. Conocer los diferentes sistemas de preparación de superficies antes de la aplicación de la película de polvo para lograr un acabado uniforme.
6. Conocer la mecánica básica de limpieza sobre la superficie a pintar en los perfiles arquitectónicos de aluminio antes de la aplicación de la capa de pintura.
7. Determinar el tiempo necesario para que se lleve a cabo el fenómeno de la polimerización y establecer un medio de prueba ideal al proceso.



# **1. GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA METAL-MECANICA**

## **1.1 Antecedentes históricos del aluminio**

Desde su descubrimiento, el químico danés Hans Christian Oersted aisló el aluminio por primera vez en 1825, por medio de un proceso químico que utilizaba una amalgama de potasio y cloruro de aluminio. Entre 1827 y 1845, el químico alemán Friedrich Wöhler mejoró el proceso de Oersted utilizando potasio metálico y cloruro de aluminio. Wöhler fue el primero en medir la densidad del aluminio y demostrar su ligereza. En 1854, Henri Sainte-Claire Deville obtuvo el metal en Francia reduciendo cloruro de aluminio con sodio. Con el apoyo financiero de Napoleón III, Deville estableció una planta experimental a gran escala, en la exposición de París de 1855 exhibió el aluminio puro. En 1886, Charles Martín Hall en Estados Unidos y Paul L. T. Héroult en Francia descubrieron por separado y casi simultáneamente que el óxido de aluminio o alúmina se disuelve en criolita fundida ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), pudiendo ser descompuesta electrolíticamente para obtener el metal fundido en bruto. El proceso Hall-Héroult sigue siendo el método principal para la producción comercial de aluminio, aunque se están estudiando nuevos métodos. La pureza del producto se ha incrementado hasta un 99.5 % de aluminio puro en un lingote comercialmente puro; más tarde puede ser refinado hasta un 99.99 por ciento.

### **1.1.1 La industria metal-mecánica**

La industria metal-mecánica se apoya en el uso de la metalurgia o ciencia aplicada cuyo objeto es el estudio de las operaciones industriales tendientes a la preparación, tratamiento (físico y químico) y producción de metales y sus

aleaciones. En términos generales, la técnica metalúrgica comprende las siguientes fases:

- Obtención del metal a partir de uno de sus minerales (Mena)
- Afino o purificación del metal
- Preparación de aleaciones
- Tratamientos mecánicos, térmicos o termoquímicos para su mejor utilización.

La primera fase comprende tres etapas:

- a. Concentración que es la separación de la mayor parte de la ganga o material de desecho que acompaña al mineral
- b. Preparación química del mineral para la etapa siguiente, por medio de la tostación o calcinación
- c. Reducción u operación en donde el metal combinado pasa a elemento simple

Existen diversos tipos de técnica metalúrgica, según sea el metal que se quiere beneficiar o el proceso utilizado. Así se distinguen la siderurgia (arrabio, hierro, acero); las metalurgias especiales (cobre, aluminio, cinc, estaño, plomo), la pulvimetalurgia y la electrometalurgia.

### **1.1.2 La industria metal-mecánica en Guatemala.**

Desde tiempos muy remotos, el uso de ciertos metales conocidos, como el cobre, hierro, plata, mercurio, antimonio, estaño, se convirtió en indispensable para la evolución de las distintas civilizaciones. Por ello, la metalurgia es una actividad a la que el ser humano ha dedicado grandes esfuerzos. Desde la antigüedad ya se aplicaban algunas técnicas metalúrgicas, como el moldeado a la cera perdida utilizado por los chinos, egipcios y griegos; no fue hasta la edad media cuando aparecieron otras técnicas metalúrgicas de importancia. En Guatemala la industria metal-mecánica que más ha sobresalido es la siderúrgica. Empresas que se dedican a la fabricación y venta de hierro de construcción, hierro en formas, tubo estructural, tubo galvanizado, lamina negra, lamina galvanizada, columnas, cimiento corrido, armaduras para viguetas;

mantienen niveles de producción bastante aceptables para cubrir la demanda de hierro en el territorio nacional. Es de mencionar que la materia prima utilizada por la industria metal mecánica en Guatemala es importada en forma de lingote. Por lo cual los niveles de producción dependen del tamaño de las importaciones y de la disponibilidad de los mercados internacionales de suplir las demandas.

#### **1.1.2.1 Industria del hierro**

En la industria, el procedimiento más normal de obtención del hierro, partiendo de los minerales, es la reducción de estos por carbón. El proceso simplificado consiste en tratar el óxido de hierro con el carbonato, formándose óxido de carbonato y hierro libre. Si se trata el óxido de carbono con más óxido de hierro, se forma anhídrido carbónico y más hierro libre.

En el proceso indirecto se empieza por reducir el óxido de hierro para obtener colado o fundición.

El hierro químicamente puro (Fe) es un elemento de color gris azulado, que funde a 1259°C. No tiene aplicación en la industria de la construcción, por lo que le relegamos su estudio a la química.

El hierro que se encuentra en el mercado y se utiliza en la industria no es puro, sino una aleación de hierro y carbono.

El hierro se encuentra en estado natural en Groenlandia y en estado de combinación es muy abundante en la corteza terrestre, constituyendo un 5% de la misma. Los minerales de hierro más usados como materia prima para la obtención de este metal son:

Magnetita, cuyo yacimiento más importante se encuentra en Suecia, España y EE.UU. En la República Dominicana, existen pequeños yacimientos de este mineral.

Siderita, se halla principalmente en Inglaterra. Hematita, existen yacimientos en Estados Unidos, Alemania, Rusia y España. Las formas comerciales del hierro y del acero son muy variables basta consultar los catálogos de las casas distribuidoras para verificar la gran diversidad. Las principales formas son barra y hierro perfilados, los cuales son considerados como productos elaborados.

Las barras pueden ser planas, cuadradas, hexagonales y redondas. Se laminan a partir de acero y hierro dulce. El acero dulce estirado en grandes longitudes constituye el alambre con diámetro que varía de 0.2 mm. a 5mm. Dentro de los hierros perfilados se encuentran los angulares, los canales, las T, las dobles T. Cabe señalar que las formas más comerciales y corrientes de fundición son los tubos y columnas.

#### **1.1.2.2 Industria del cobre**

Los usos del cobre, tanto industriales como domésticos, están condicionados por algunas de sus propiedades. Su elevada conductividad eléctrica permite su empleo en aplicaciones eléctricas; cables, hilos, piezas varias de aparatos eléctricos, etc.

Su elevada conductividad térmica, siendo el segundo mejor, después de la plata, conduciendo el calor y la electricidad, permite su utilización en utensilios domésticos (cacerolas, calderos), en la industria de la alimentación y química (barras y colectores) y en las aplicaciones de equipos térmicos (intercambiadores, depósitos, refrigeradores, radiadores).

La facilidad con la que se trabaja lo hace muy buscado, tanto para la embutición como para la unión por auto soldadura o por soldadura con estaño.

Su resistencia a la corrosión atmosférica normal, debida a la formación de una capa protectora impermeable a base de carbonato básico de cobre ( cardenillo ) hace que se utilice para canalizaciones de agua.

El cobre tiene numerosas aleaciones, las más conocidas son el latón y el bronce; el latón se consigue aleando el cobre con el cinc, se hace en diferentes proporciones dependiendo del uso posterior. Esta aleación se utiliza en orfebrería, en grifería, válvulas, piezas de contadores y otras aplicaciones industriales. Asimismo, el bronce es una aleación de cobre y estaño en diferentes proporciones y se utiliza para fabricar alambres y elementos de bisutería como medallas, piezas metálicas, grifería, campanas y otros productos. También existen bronce especiales con plomo y aluminio y aleaciones de cobre y níquel con los que se fabrican calderas, monedas, material de cocina. Las aleaciones de cobre, níquel y cinc son muy maleables e inalterables y son de color amarillo claro. Se utilizan en bisutería, vajillas, cubiertos, recibiendo diversos nombres como Ruolz, Platinoide, Alpaca, Argentan. Con estas aleaciones se consiguen materiales dúctiles y maleables, buena conductividad eléctrica, resistencia a ciertas corrosiones, sonoridad, color; Por estos motivos el cobre es tan utilizado.

### **1.1.2.3 Industria del aluminio**

La combinación de la ligereza con resistencia y alta conductibilidad eléctrica y térmica es la propiedad que convirtió el aluminio y sus aleaciones en materiales de construcción importantísimos para la construcción de aviones, de automóviles, de máquinas de transporte, para la electrotecnia, la fabricación de motores de combustión interna, etc. En la industria química el aluminio y sus aleaciones se utilizan para fabricar tubos, recipientes y aparatos. Un volumen dado de aluminio pesa menos que 1/3 del mismo volumen de acero. Los únicos metales más ligeros son el litio, el berilio y el magnesio. Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios y automóviles, y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de

combustión interna. Solamente presenta un 63% de la conductividad eléctrica del cobre para alambres de un tamaño dado, pero pesa menos de la mitad. Un alambre de aluminio de conductividad comparable a un alambre de cobre es más grueso, pero sigue siendo más ligero que el de cobre. El peso tiene mucha importancia en la transmisión de electricidad de alto voltaje a larga distancia, y actualmente se usan conductores de aluminio para transmitir electricidad a 700.000 voltios o más.

El metal es cada vez más importante en arquitectura, tanto con propósitos estructurales como ornamentales. Las tablas, las contraventanas y las láminas de aluminio constituyen excelentes aislantes. Se utiliza también en reactores nucleares a baja temperatura porque absorbe relativamente pocos neutrones. Con el frío, el aluminio se hace más resistente, por lo que se usa a temperaturas criogénicas. El papel de aluminio de 0,018 cm de espesor, actualmente muy utilizado en usos domésticos, protege los alimentos y otros productos perecederos. Debido a su poco peso, a que se moldea fácilmente y a su compatibilidad con comidas y bebidas, el aluminio se usa mucho en contenedores, envoltorios flexibles, y botellas y latas de fácil apertura. El reciclado de dichos recipientes es una medida de conservación de la energía cada vez más importante. La resistencia a la corrosión al agua del mar al aluminio también lo hace útil para fabricar cascos de barco y otros mecanismos acuáticos. Se puede preparar una amplia gama de aleaciones recubridoras y aleaciones forjadas que proporcionen al metal más fuerza y resistencia a la corrosión o a las temperaturas elevadas. Algunas de las nuevas aleaciones pueden utilizarse como planchas de blindaje para tanques y otros vehículos militares.

Globalmente la producción mundial de aluminio ha experimentado un rápido crecimiento, aunque se estabilizó a partir de 1980. En 1900 esta producción era de 7.300 toneladas, en 1938 de 598.000 toneladas y en 1994 la producción de aluminio primario fue de unos 19 millones de toneladas. Los principales países productores son Estados Unidos, Rusia, Canadá, China y Australia.

## **1.2 Proceso de producción del perfil arquitectónico**

Aluminios industriales S.A. es una empresa nacional dedicada a la fabricación de perfiles arquitectónicos en sus distintas formas y acabados; su proceso de producción inicia con materia prima consistente en lingote de aluminio importado y lingote producido a nivel interno de la empresa, para luego pasar a la etapa de extrusión en la que se utiliza una maquina extrusora de marca RL. Best. La cual utiliza una tecnología computarizada que hace automático el proceso de producción, es aquí donde se le da la forma y tamaño al perfil de aluminio en su presentación de *mil finish*, después es enviado a la planta de anodizado o hacia planta de pintura las que se encuentran ubicadas dentro la misma instalación, para darle el acabado final.

### **1.2.1 Descripción del proceso de fundición del aluminio**

En la planta de aluminios industriales la cual queda ubicada en el Kilómetro 29.5 carretera al pacifico, el proceso de fundición que en esta planta se realiza es el de reprocesar todo el material sobrante en el proceso de extrusión el que se denomina "*BOT*" lo cual no es mas que la los troncos sobrantes del lingote importado, otro tipo de material que aquí se reprocesa es el material que no cumple con las normas de calidad en el departamento de pintura, el departamento de anodizado y el departamento de troquelado, siguiendo los correspondientes pasos:

1º. Se colecta el material sobrante de la producción en los diferentes departamentos, por medio de canastas metálicas, las cuales se van estibando hasta tener la cantidad suficiente de material para laborar un periodo prolongado de tiempo en este departamento.

2º. Se lleva el material a reprocesar a la planta de fundición en canastas de aproximadamente 800 libras de peso. El transporte utilizado es un montacargas.

3°. Se coloca el material dentro del crisol el cual es calentado por medio de quemadores de diesel, aproximadamente un periodo de 3 horas.

4°. Durante el calentamiento se retiran los agentes externos que se producen durante el proceso de fundición.

5°. Se preparan los moldes metálicos, los cuales tienen 8 pulgadas de diámetro por 36 pulgadas de largo, revisándolos que no contengan residuos de una fundición anterior y que sellen de forma correcta.

6°. Se realiza el proceso de llenado de moldes sacando el crisol por medio de un polipasto y vaciando manualmente el aluminio líquido en los moldes.

7°. Se dejan reposar los moldes llenos, para que se solidifique nuevamente el aluminio, luego se abren los moldes para sacar los lingotes y se cortan las superficies no uniformes para dejarlos de forma cilíndrica.

8°. Nuevamente son llevados los lingotes a la planta de extrusión donde serán procesados nuevamente.

### **1.2.2 Descripción del proceso de extrusión de aluminio**

Para dar una idea de este proceso se tiene que tener claro que la extrusión se da cuando el aluminio se comprime arriba de su límite elástico en una cámara y se hace fluir a través y tomar la forma de una abertura que conocemos como molde o dado. Una analogía cotidiana es la extracción de pasta de un tubo que se comprime.

La extrusión de aluminio en caliente hacia delante de perfiles sólidos o huecos posibilita que el material pueda soportarse con facilidad, manipularse y librarse del equipo. Cuando una pieza se somete a extrusión hacia delante se corta y el extremo a tope se extrae de la cámara. En aluminios industriales este proceso se realiza de la siguiente forma:

Este proceso inicia con la carga de la maquina extrusora o prensa hidráulica, el cual es un equipo totalmente automatizado y fabricado exclusivamente para la extrusión de aluminio:

El siguiente paso que realiza la maquina extrusora es precalentar el lingote a una temperatura uniforme de entre 800 y 900 grados Fahrenheit en un horno de gas, dando como resultado un material fácil de moldear.

Luego se corta una porción del lingote de aproximadamente 40 centímetros de largo y se coloca dentro de la cámara lubricada con el dado el cual tiene la forma del perfil a producir.

El siguiente paso es el proceso de comprimir la cámara dando lugar a que el aluminio fluya a través del dado o molde. Cuidando de mantener la cámara totalmente lubricada con aceite y grafito.

Y como ultimo paso se debe retirar de la cámara los residuos de la extrusión anterior para dar paso al nuevo proceso. El proceso detallado se muestra en el siguiente diagrama:

FABRICA: ALUMINIOS INDUSTRIALES S.A.			FECHA: ENERO 2005
PRODUCTO: PERFILES ARQUITECTONICOS DE ALUMINIO			METODO PROPUESTO
DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO			
ELABORADO POR: JUAN CARLOS MAZARIEGOS			
NUMERO	DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	TIEMPO EN MINUTOS
1	Bodega de lingote		0
2	Traslado a mesa de trabajo		5
3	Colocar lingote en mesa de trabajo		5
4	Calentar lingote en horno		45
5	Cortar porción de lingote a extruir		5
6	Traslado a prensa		5
7	Ingresar lingote a prensa		5
8	Extruir perfil		10
9	Estirar perfil		5
10	Verificación del grosor del perfil		1
11	Corte al tamaño del perfil		2
12	Estibar perfiles		10
13	Traslado al horno de temple		3
14	Templado del perfil		480
15	Verificar grado de temple		2
16	Traslado a bodega de producto terminado		5
17	Bodega de producto terminado		0

**RESUMEN : EXTRUSION DE PERFILES**

<b>NUMERO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>SIMBOLOGIA</b>	<b>TIEMPO EN MINUTOS</b>
7	OPERACIÓN		512
4	TRANSPORTE		18
2	INSPECCION		3
2	DEMORA		55
0	COMBINADA		0
2	ALMACENAMIENTO		0
	<b>TIEMPO TOTAL</b>		588

### **1.2.3 Descripción del proceso de estirado**

El proceso de estirado en la planta de aluminios industriales, se utiliza para darle el espesor al perfil arquitectónico de aluminio, aquí los pasos del estirado en caliente se resumen a lo siguiente:

1º. Se toma el material a la salida del dado sujetándolo con dos mordazas que posee el carro que se encarga de estirar el perfil a una velocidad uniforme y controlada de acuerdo al tipo de perfil que se esta fabricando.

2º. Se lleva el perfil desde un punto a la salida hasta un punto máximo de 50 pies.

3º. Se deposita el perfil sobre una plataforma, la cual cuenta con una sierra en su extremo que corta el perfil al tamaño deseado.

4º. Paso se coloca el perfil en estibadores, los cuales son introducidos al horno de temple durante un periodo de 10 horas a una temperatura de 375 grados Fahrenheit para devolverle al material sus propiedades físicas.

## **1.3 El perfil arquitectónico de aluminio**

### **1.3.1 Perfil *mil finish***

El perfil *mil finish* es el nombre técnico que se le da al aluminio cuando este no posee ningún acabado superficial. Acerca de su protección contra la corrosión podemos mencionar que, este metal es muy propenso a la oxidación, por lo mismo, al momento de ser cortado sufre oxidación, por tanto, se recubre de una película de óxido de aluminio que no permite que se corra el resto de la pieza, como el aluminio posee su inhibidor natural este se manifiesta de forma oscura sobre su superficie protegiéndolo de la corrosión atmosférica.

### **1.3.2 Perfil anodizado**

Los revestimientos anódicos se aplican a los perfiles arquitectónicos de aluminio por medios electroquímicos. El perfil o pieza de trabajo se sumerge en una solución comúnmente ácido sulfúrico con o sin aditivos orgánicos para el aluminio y se conecta como el ánodo a un circuito eléctrico. Los revestimientos anódicos pueden tener desde 0.0001 a 0.010 pulgadas de espesor y proporcionan una buena protección contra la corrosión porque en realidad la película es mejor que la delgada película natural que protege al aluminio. Las películas densas de más de 0.001 pulgadas de espesor son resistentes al desgaste y pueden tomar diferentes tonos o colores de permanencia excelente. En aluminios industriales los colores que se aplican son dorados, plateado, amarillo brillante y color natural.

### **1.3.3 Perfil pintado**

Utilizando la pintura industrial, una pistola de aspersion de pintura es el método más rápido, confiable, versátil y uniforme. Este principio se basa en que una corriente líquida se atomiza cuando excede cierta velocidad. El sistema que utiliza aluminios industriales es introducir un polvo en una corriente de alta velocidad de aire comprimido liberado a través de una boquilla. Este chorro de pintura en polvo es aplicado automáticamente en una cámara especialmente diseñada con un mecanismo de recolección de polvos, comúnmente llamada aspiradora. Luego se deben de dar los retoques manuales a la película aplicada para darle la uniformidad necesaria. Para que se dé la uniformidad en el perfil arquitectónico los polvos son cargados a la salida de las pistolas con una carga opuesta a la que lleva la pieza de trabajo desatándose así un efecto envolvente para depositar la pintura en todas sus superficies. La gama de colores es amplia en el mercado y su selección se realiza de acuerdo a especificaciones del cliente.

## **2. MECANICA DE LA LIMPIEZA BASICA DEL ALUMINIO**

## **2.1 Método de limpieza**

La limpieza se define como la remoción de mugre o materia indeseable de una superficie a la que se adhiere. El proceso de limpieza puede realizarse mediante uno o más de los siguientes métodos.

### **2.1.1 Limpieza con solvente**

El material que normalmente se usa es un solvente de petróleo o clorinado aplicado mediante un material absorbente. Muchos solventes empleados son flamables, por lo que hay riesgo de incendio; no obstante, los solventes no flamables usualmente constituyen un riesgo para la salud y el medio ambiente.

### **2.1.2 Desengrasado con vapor**

El material usado es un solvente clorinado o freón, que remueve sólo el aceite. Una ventaja principal es que puede obtenerse en un solo paso una parte seca y libre de aceite, es decir sin enjuague o secado; aunque este método puede ser automatizado, es costoso debido al solvente, a la disposición del solvente usado y recientemente, a un impuesto elevado por su uso. El solvente que escapa puede ser un serio riesgo para la salud y el desgaste del ozono.

### **2.1.3 Limpieza por emulsión**

La limpieza por emulsión emplea un solvente orgánico suspendido en agua, la limpieza de aceites es muy efectiva con la solvencia. Con la acción de los agentes tenso activos, otro tipo de mugre también puede removerse. Muchas veces, se deja una capa delgada aceitosa para protección contra herrumbre. Como este método involucra un solvente, puede constituir un riesgo de incendio. La disponibilidad también es un problema.

#### **2.1.4 Limpieza semi-acuosa**

Bajo este concepto se agrupan dos áreas principales; la limpieza con emulsión y los solventes puros que después se enjuagan con agua. Una emulsión de solvente y agua a veces se usa para garantizar el enjuague completo del solvente puro. Los solventes comunes usados son terpenos, ésteres y mezclas de hidrocarburos. Muchas de las nuevas tecnologías de cadena cerrada se basan en esta química semi-acuosa.

#### **2.1.5 Limpieza alcalina**

Las sales alcalinas, usualmente cáusticas, silicatos y fosfatos, junto con una cantidad balanceada de agentes tensos activos, constituyen una mezcla muy efectiva para la limpieza de metales. Este es el mejor método y más barato de limpieza automatizada y en lotes. La familia de limpiadores alcalinos generalmente puede proporcionar una limpieza efectiva de la mayoría de la mugre.

#### **2.1.6 Limpieza ácida**

Los materiales usados aquí son normalmente los ácidos minerales, aunque también pueden usarse los ácidos orgánicos. Mediante la adición de agentes humectantes a la solución ácido / agua, puede lograrse la limpieza, así como la remoción de herrumbre e incrustaciones del metal.

#### **2.1.7 Limpieza mecánica**

Los materiales usados aquí incluyen algún tipo de abrasivo ejemplo, cepillo de acero, lija, rollos de nylon impregnados con abrasivo. Otro ejemplo es el chorro de arena. La limpieza se realiza mediante la remoción de mugre

y metal de la superficie. Este método se usa mucho en las líneas de remoción.

## **2.2 La suciedad creada por el proceso de producción**

En Aluminios Industriales, durante el proceso de fabricación se generan diferentes tipos de suciedad o mugre, la cual es indispensable retirar de la superficie del perfil antes de realizarle un proceso de acabado final como pintura ó anodizado.

### **2.2.1 Suciedad por maquinado**

En el proceso de producción de perfiles, el uso de equipos y maquinaria es el principal productor de este tipo de suciedad, denominada así porque es generada por la propia lubricación en el proceso de producción, sus principales fuentes son lubricantes aplicados a los cilindros de la maquina extrusora, para darle fluidez al aluminio.

### **2.2.2 Suciedad por pulido y abrillantado**

Este tipo de suciedad es creada por el uso de compuestos pulidores y abrillantadores sobre la superficie de los perfiles arquitectónicos de aluminio. Estos pulidores o abrillantadores son utilizados con la finalidad de darle un acabado superficial al aluminio ó para eliminar imperfecciones sobre las superficies tal es el caso de las lijas que se utilizan para eliminar alguna pequeña imperfección sobre el perfil.

### **2.2.3 Suciedad por proceso de formado**

Los fluidos de la fabricación de metales son los principales causantes de la formación de este tipo de suciedad, entre estos tenemos las grasas que se adhieren durante el proceso de extrusión, los compuestos del revenido que no

son mas que lubricantes de formado de metales los cuales se adhieren profundamente al perfil de aluminio.

#### **2.2.4 Suciedad por tratamiento térmico**

Este tipo de suciedad es creada por aceites de temple que producen mugre carbonosa; En el aluminio este fenómeno se da por los aceites de los equipos de producción por los cuales pasa el perfil antes de llegar al horno de temple.

#### **2.2.5 Suciedad por remoción térmica de rebabas**

Este tipo de suciedad la conoce como herrumbre, la cual es creada por cortes de sierra o maquinados que se le realizan al perfil de aluminio. Estas virutas o pequeñas incrustaciones en el aluminio de otros tipos de metales y minerales deben ser retiradas antes de realizarle al perfil de aluminio el acabado final.

#### **2.2.6 Suciedad por decapado**

Este tipo de suciedad es el resultado de la utilización de ácidos sobre los metales produciendo el tizne de decapado, como sabemos el decapado se define como la remoción química de óxidos superficiales y las escamas de los metales por soluciones ácidas.

#### **2.2.7 Suciedad por inhibición de herrumbre**

Este tipo de suciedad afecta al aluminio al aplicarle productos inhibidores de herrumbre, como son Las ceras, preventivos de herrumbre difícil de aceite y

otros compuestos protectores durables contra la corrosión para los cuales se requiere limpiadores levemente alcalinos a temperaturas elevadas.

### **2.3 Factores que afectan el rendimiento de un limpiador**

Existen muchos factores que afectan el rendimiento de un limpiador de metales, para lo cual se debe de determinar los tipos de metales, los procesos a los cuales a sido sometido y que calidad de limpieza necesitamos. Debemos de asegurarnos que el limpiador este formulado de tal forma que remueva efectivamente la mugre y entonces controlar las siguientes variables:

#### **2.3.1 Tiempo de contacto**

En Aluminios Industriales esta variable se controla de la siguiente manera:

- a. Hablando de manera general cuando más largo sea el tiempo de limpieza mejor el resultado.
- b. El producto químico no puede limpiar cuando no esta en contacto con la parte o pieza. Por lo tanto las boquillas de aspersion deben estar siempre libres de obstrucciones.
- c. Seguridad del substrato, por lo que el tiempo prolongado de limpieza puede elevar el ataque o decoloración del metal.
- d. Velocidad de línea, las líneas de limpieza con bandas transportadoras que varían de velocidad modifican el tiempo de limpieza.
- e. Número y posiciones de boquillas; las presiones incrementadas y mayor número de boquillas pueden reducir el tiempo de limpieza.

#### **2.3.2 Temperatura de trabajo**

La temperatura tiene como objetivos:

1. Incrementa las velocidades de reacción y solubilidad.

2. Suaviza las ceras y grasas.
3. Disminuye la espuma en algunos casos.
4. Provoca evaporación de los solventes.
5. Puede provocar incrustaciones en los intercambiadores de calor.
6. Afecta la seguridad del substrato.
7. Disminuye la solubilidad de algún tenso activo.

Como regla general se tiene que la temperatura:

- Lo caliente limpia más rápido.
- El calor suaviza las ceras y grasas.
- Las temperaturas elevadas normalmente disminuyen la espuma.
- El calor aumenta la solubilidad de sales alcalinas.

Sin embargo la temperatura afecta de la siguiente manera:

- La evaporación del solvente acorta la vida del agente limpiador.
- La reversión del fosfato disminuye la limpieza.
- Las temperaturas elevadas causan incrustaciones.
- Los tenso- activos no iónicos se vuelven insolubles.
- Las velocidades de corrosión aumentan con la temperatura.

### **2.3.3 Concentración del limpiador**

En la concentración del limpiador se debe de controlar:

- Más ingredientes; más limpieza.
- Existe un límite para la solubilidad de polvos.
- Desengrasado de tenso activos ó mugre a concentraciones muy elevadas.

- Enjuague.

Como regla general en la concentración:

- Las concentraciones elevadas por lo general limpian mejor.
- Las concentraciones elevadas duran más tiempo.

Sin embargo se debe de monitorear las concentraciones bajas debido a:

- Se enjuagan mejor.
- No quitan el aceite del tenso activo y mugre.
- Las concentraciones bajas son más solubles.
- Arrastran menos productos químicos.

#### **2.3.4 Acción física**

- Puede reducir significativamente el tiempo de limpieza.
- Puede tener el mayor efecto sobre la acción de limpieza.
- Mantiene el aceite suspendido.
- La espuma puede ser el único problema por lo cual debe de elegirse los limpiadores adecuados.
- Presión de aspersion, agitación.

#### **2.3.5 pH**

- El Ph elevado saponifica los aceites.
- Remueve la herrumbre ligera con aditivos de quelato.
- Limpia mejor.

Sin embargo crea los siguientes efectos:

- El aceite saponificado crea espuma en limpiadores de pH alto.
- El pH bajo es más seguro para los trabajadores y más fácil de descargar.
- Los limpiadores no cáusticos por lo general se enjuagan mejor.

### **2.3.6 Contaminación**

- Tiempo de la solución; las soluciones recién hechas funcionan mejor.
- El ciclaje de la dureza del agua puede agotar los ingredientes clave en un limpiador especialmente en áreas de agua dura.
- Titulación a menudo es la mejor medida de la actividad del baño.

Sin embargo:

- Los aceites flotantes pueden ayudar a reducir la espuma.
- Los jabones formados en el proceso de limpieza pueden ayudar a la limpieza.

### **2.3.7 Aditivos**

Ciertos productos pueden adicionarse a las soluciones existentes para mejorar su rendimiento:

Enhance; Aditivo líquido que contiene tensó-activos que pueden agregarse a las soluciones de limpieza para mejorar la eficacia. Puede usarse en lavadoras por aspersión debajo de 130 grados Fahrenheit.

Ladd; Aditivo que contiene tensó-activos y anti-espumantes usado para mejorar la limpieza o reducir la espuma en lavadoras por aspersión debajo de 140 grados Fahrenheit.

Stripper Additive; Un aditivo segregador particularmente adecuado para limpiadores altamente alcalinos para mejorar la remoción de herrumbre o para contrarrestar el efecto del agua dura.

## **2.4 Selección del limpiador adecuado**

### **2.4.1 Equipo**

Tanque; para realizar limpieza por inmersión de las piezas a pintar.

Aspersión; un dispositivo de lavado mecánico usado normalmente en la industria para limpiar metales y plásticos antes de otro proceso. Consiste en una cabina o túnel de metal grande, boquillas de aspersión en el interior, tanques contenedores y bombas.

Manual; limpieza que se realiza por medios manuales como paños húmedos.

### **2.4.2 Substrato**

El metal ferroso es el substrato más generalizado; el acero 1010 es el más común. El 50% de la limpieza alcalina requiere de protección contra herrumbre. Las aleaciones de aluminio son el substrato que le sigue, incluyendo material en hojas, fundido y extrusiones. El zinc y el acero galvanizado requieren consideración especial al elegir un limpiador.

### **2.4.3 Mugre**

Se debe de tener en consideración el tipo de mugre a remover entre los cuales se tienen:

Preventivos de herrumbre ó aceites de fabricación, fluidos de maquinado, compuestos amortiguadores, compuestos de revenido, tintas, mugre de talleres, herrumbre ó incrustación por calor, tizne y carbonosas.

### **2.4.4 Características del producto**

#### **2.4.4.1 Líquido concentrado**

La concentración del agente limpiador es algo que se tiene que considerar en el ciclo de lavado, porque de este depende la efectividad de la limpieza en los metales. Su forma de medición es partes por millón de volumen a volumen.

#### **2.4.4.2 Polvo**

Es un tipo de suciedad que se conoce como mugre de talleres, la cual se puede componer de pequeñas partículas de hollín ó algún tipo de materia mineral que se mantiene en suspensión en el ambiente y luego se deposita sobre la superficie del metal.

#### **2.4.5 Constituyentes del producto**

Agente tenso activo; un agente químico que reduce la tensión superficial del agua. Podría decirse que hace que el agua sea más húmeda permitiéndole penetrar más rápidamente.

Moldeadores alcalinos; sales alcalinas usadas como agentes humectantes para moldear un limpiador.

Ácidos; soluciones acuosas con porcentaje de hidrógeno menor a 7 en una escala de 1 a 14, en realidad los limpiadores están formados por una mezcla de tensó activos y ácido.

Quelantes; agentes que permiten que la solución solubilice compuestos metálicos como la herrumbre, incrustaciones de hierro.

Solventes; sustancia líquida capaz de disolver otras sustancias.

#### **2.4.6 Seguridad del trabajador**

Los productos de limpieza son aprobados por algunas instituciones tales como:

IARC; Asociación internacional de investigación sobre el cáncer, una organización multinacional que estudia y clasifica efecto cancerígeno de las sustancias.

OSHA; Administración de higiene y seguridad laboral la cual es una organización federal que inspecciona y regula la higiene y seguridad en el trabajo.

NFPA; Agencia nacional de protección contra incendios la cual fomenta el conocimiento de los métodos de protección contra incendios.

### **3. ETAPA DE CONVERSION**

Tratamiento previo a la capa de pintura el cual es un proceso que desarrolla un recubrimiento de conversión sobre la superficie de la parte a pintar, el

recubrimiento de conversión da valor al acabado final por las siguientes razones:

- Mejora la adhesión entre el sustrato de metal y la pintura.
- Protege contra la corrosión.

### **3.1 Recubrimiento de conversión**

Es el resultado de soluciones ácidas acuosas diluidas que reaccionan con superficies del metal para convertirlas en capas densas continuas de capas inertes cristalinas o recubrimientos amorfos.

Este recubrimiento se vuelve una parte integral de la superficie, haciendo una superficie regular, no conductora y capaz de inhibir la propagación de la corrosión bajo la pintura. Los tipos más utilizados son los siguientes:

- Fosfatos de hierro; utilizado en acero, aluminio, aceros recubiertos de zinc.
- Fosfatos de zinc; utilizado en acero, aluminio, aceros recubiertos de zinc.
- Cromado de cromo; utilizado en aluminio.
- Fosfato de cromo; utilizado en aluminio.

#### **3.1.1 Mecanismo de reacción**

Los recubrimientos de conversión se forman sobre el hierro, acero galvanizado, zinc ó aluminio haciéndolos reaccionar químicamente con una solución diluida de ácido fosfórico y otras sustancias químicas.

El fosfato de metal insoluble se deposita sobre la superficie del metal formando los siguientes mecanismos:

- El material de recubrimiento reacciona con la superficie del metal.
- Neutralización de la solución ácida en la interfase.
- La solubilidad del fosfato del metal es reducida.
- El fosfato de metal precipitado se deposita sobre la superficie del metal.
- El recubrimiento se vuelve parte integral de la superficie del metal.

### **3.1.2 Aplicación del recubrimiento**

Al aplicar el recubrimiento se proporciona lo siguiente:

- Una barrera física contra la humedad ó corrosión ligera.
- Una base para la pintura.
- Una base para el aceite y material preventivo de herrumbre.
- Una base para los adhesivos en la laminación plástica.
- Una superficie que facilita el formato en frío.
- Lubricidad y resistencia al desgaste.

El grado de protección a la corrosión depende de:

- Uniformidad de la cobertura del recubrimiento.
- Espesor del recubrimiento.
- Tipo de sello (enjuague final).

### **3.1.3 Detalles del recubrimiento**

Detalles del proceso de conversión que deben realizarse para cumplir con los requerimientos mínimos:

- Limpieza; parte importante del proceso para un buen recubrimiento buscando, remover contaminantes de la superficie, preparar la superficie para recibir el recubrimiento y superficie libre de rompimiento de agua. Las

formas de limpieza pueden ser por aspersion o inmersión además de controlar alcalinidad total, concentración, temperatura y tiempo. Recomendándose conocer los parámetros de línea, condición de mugre y tipo de metal.

- Enjuague; su propósito es remover el limpiador y otros contaminantes y sus formas de realizarlo son aspersion o inmersión, controlando temperatura, alcalinidad total y total de sólidos disueltos.
- Fosfatizado; es la parte que conocemos como recubrimiento de conversión de fosfato, su forma de aplicación es por aspersion o inmersión. El control que se realiza es en la concentración, acidez total, Ph, temperatura y tiempo de contacto con la pieza a tratar tomando en cuenta el tipo de metal.
- Enjuague; en este segundo enjuague se debe de remover el material de recubrimiento y otros contaminantes activos. Su forma de realizarlo es por medio de aspersion o inmersión, controlando temperatura del agua de enjuague, acidez total y total de sólidos disueltos, cuidando al mínimo los residuos o arrastres de fosfatos.
- Sello final; el propósito es mejorar la protección contra la corrosión y promover las características para una mejor adhesión de la película de pintura. La forma de aplicación del sello es por aspersion o inmersión, en concentraciones de ácido crómico, ácido sin cromo o un enjuague no ácido sin cromo. Además de controlar la concentración, alcalinidad o acidez total ó Ph, temperatura, tiempo y otros aspectos típicos de cada metal.

#### **3.1.4 Selección del agente de conversión**

El agente de conversión se debe seleccionar entre fosfato de zinc ó fosfato de hierro. Tomando en cuenta los siguientes factores:

Fosfato de hierro:

- Pocas etapas

- Pocos controles
- Menos lodos
- Baja temperatura
- Resistencia a la corrosión inferior que el fosfato de zinc.
- Excelente adherencia y resistencia a descascararse por impactos y flexión.
- Fácil disposición
- Costo operacional bajo

Fosfato de zinc:

- Más etapas
- Más factores de control
- Lodo difícil
- Temperatura de operación mayor
- Protección superior a la corrosión
- No es bueno si se dobla o impacta
- Costo operacional alto

Nota: un buen recubrimiento de fosfato de hierro a menudo sobrepasa en rendimiento a un recubrimiento deficiente de fosfato de zinc. La selección depende del uso final.

### **3.1.5 Parámetros de operación y control**

Descripción de estos parámetros en el proceso de aluminio.

- La concentración del fosfato se debe encontrar entre 2% y 3% por volumen.
- La temperatura de aplicación es entre 70 y 120 grados Fahrenheit.
- El tiempo de aplicación o contacto entre 30 y 120 segundos.

- El Ph del agua entre 4.0 y 5.0.

### **3.1.6 Características del recubrimiento**

Un buen recubrimiento de 3 o 5 etapas debe contar con las siguientes propiedades o características:

- Aspersión o inmersión.
- Baja temperatura.
- Buen limpiador.
- Buen quitamanchas.
- Para todo tipo de metal.
- Peso de recubrimiento 20 a 80 Mg. por pie cuadrado.
- Color gris, azul o dorado.
- Buena acción de aspersion de sal.
- Contiene flùor.
- Contiene clorato.

### **3.1.7 Corrección de fallas**

De acuerdo a los problemas típicos se debe verificar.

- Apariencia; polvo, color, vetas, color rosado, uniformidad, patrón de rompimiento de agua, fugas.
- Rendimiento; peso de recubrimiento, aspersion de sal, humedad, física y mantenimiento de pH.
- Control de costos; formación de lodos, incrustaciones, consumo.
- Operacional; formación de lodo, incrustaciones y formación de espuma.

### **3.2 Prescripciones de trabajo**

El objeto de estas directivas es fijar las exigencias mínimas que deben imponerse a las instalaciones, a los productos terminados y a las materias primas.

Estas directivas deben permitir realizar los productos termolacados de calidad superior destinados a las aplicaciones arquitectónicas. Las prescripciones para la instalación son las exigencias mínimas de una buena práctica. Otros procedimientos pueden ser utilizados, pero a condición de que ellos hayan sido previamente aprobados por el comité director.

El aluminio y las aleaciones deberán ser de calidad apta para el termolacado descrito en este documento. Debe estar exento de corrosión y exento de capa de anodización o de revestimiento orgánico. El aluminio debe estar exento de todo tipo de contaminantes, especialmente de grasas a base de silicona. El radio de redondeo de las esquinas debe ser tan grande como sea posible.

#### **3.2.1 Almacenaje de las piezas a tratar**

La disposición de las instalaciones debe ser diseñada de manera que evite toda la forma de contaminación. Las piezas deben de estar expuestas en un local separado ó alejado de los baños de tratamiento. Ellas deben igualmente estar protegidas contra la condensación y las manchas.

#### **3.2.2 Tratamiento preparatorio para revestimientos en polvo**

##### **3.2.2.1 Tratamiento preparatorio tipo crómico**

Este tratamiento preparatorio de cromatizado ó fosfo-cromatizado debe ser efectuado después del tratamiento preparatorio, la superficie será enjuagada con agua desmineralizada, el agua que escurre después del último enjuague

debe tener una conductividad inferior a 30 Micro Siemens sobre centímetro a una temperatura de 20° centígrados. Midiendo la conductividad únicamente sobre los perfiles abiertos y no sobre los perfiles tubulares. El peso de la capa de conversión química debe estar comprendido entre 0.4 y 0.8 gramos sobre metro cuadrado, para el cromatizado amarillo. Y entre 0.4 y 0.5 para el fosfo-cromatizado de color verde.

Las piezas pre-tratadas no pueden estar expuestas más de 16 horas. Normalmente ellas pueden ser revestidas inmediatamente después del tratamiento preparatorio. Siempre hay un riesgo de pérdida de adherencia a medida que el tiempo se sobrepasa.

Las piezas tratadas serán almacenadas en un lugar exento de polvos y buenas condiciones atmosféricas. Todos los operarios que manipulen las piezas pre-tratadas deben llevar guantes de tela apropiados a fin de evitar toda mancha de la superficie.

La temperatura de secado del tratamiento preparatorio puede alcanzar 100°C, para el tratamiento continuo. Las temperaturas específicas corresponden a la temperatura de la pieza, cromatizado amarillo 65°C y fosfo-cromatizado verde 85°C y no a la temperatura ambiente. Antes de aplicar la pintura deberá asegurarse que la pieza este completamente seca.

### **3.2.2.2 Tratamiento preparatorio tipo anódico**

La superficie del aluminio debe ser tratada para eliminar todas las impurezas que puedan presentar problemas en la anodización.

Las condiciones de anódizado deben conducir a un espesor de al menos 3 micrómetros, sin exceder de 8 micrómetros. Sin polvos y sin defectos de superficie.

Los parámetros del anódizado deben ser los siguientes:

Concentración de ácido sulfúrico 180 a 220 gr./ Lt.

Concentración en aluminio 5 a 15 gr/Lt.

Temperatura 20° C a 30 ° C.

Densidad de corriente 0.8 a 2.0 A/dm<sup>2</sup>.

Agitación del baño.

Después del anodizado, el aluminio debe ser enjuagado con agua desmineralizada a fin de eliminar el ácido en los poros.

Las piezas pre-tratadas no pueden estar expuestas más de 16 horas. Normalmente, ellas deben ser revestidas inmediatamente después del tratamiento preparatorio. Siempre hay riesgo de pérdida de adherencia a medida que el tiempo se sobrepasa.

Los lacadores que utilicen este tipo de pre-tratamiento deben realizar los controles suplementarios siguientes:

- Un análisis de la concentración de ácido y aluminio todas las 24 horas de trabajo.
- Control de la temperatura después de comienzo del anodizado, cada 8 horas.

### **3.2.2.3 Tratamientos preparatorios tipo alternativos**

Los tratamientos alternativos son aquellos son aquellos tratamientos que no se contemplan en los tratamientos preparatorios descritos anteriormente, los cuales no llenan los requisitos indispensables propuestos por los fabricantes de cada pintura, los pintores industriales que utilicen un sistema distinto al propuesto con anterioridad deben obtener una homologación de la marca del fabricante y presentar una campaña de ensayos para lograr ajustarse a las prescripciones particulares de este tipo de revestimientos.

### **3.2.3 Tratamiento preparatorio para revestimientos electroforéticos**

Todas las piezas a revestir serán cuidadosamente limpiadas por tratamiento en una solución ácida o alcalina conveniente. Las piezas limpias deben ser enjuagadas antes del revestimiento en agua desmineralizada con una conductividad menor a 30 Micro Siemens a 20° C, esto debe dar una superficie mojable al agua.

Las piezas deben ser revestidas inmediatamente con el recubrimiento tomando en cuenta que todos los operarios que manipulen las piezas pre-tratadas deben trabajar con guantes de tela apropiados.

### **3.3 Formas de control de una buena aplicación**

#### **3.3.1 Cocción**

Entre la cabina de aplicación de la pintura y el horno, la cadena debe estar exenta de manchas o suciedad.

Todos los revestimientos deben ser cocinados inmediatamente después de su aplicación. El horno debe llevar las piezas metálicas a la temperatura requerida y mantenerlas así durante el tiempo prescrito.

Las temperaturas del metal y la duración del cocimiento deben ser conforme a los valores recomendados por el fabricante de la pintura.

Se recomienda que no haya una diferencia de temperatura superior a 20° C entre la parte más fría y la parte más caliente de las piezas. La temperatura del metal debe poder medirse sobre toda la longitud del horno.

El horno debe estar equipado con un sistema de alarma que se dispare tan pronto como la temperatura del aire sobrepase los límites de trabajo.

#### **3.3.2 Equipo de laboratorio para pruebas**

La instalación debe comprender un laboratorio situado en un local aislado, el laboratorio debe contar con los aparatos y los reactivos necesarios para controlar los baños y los productos acabados. El equipamiento debe ser el siguiente:

- 1 aparato para medir el espesor del revestimiento.
- Una balanza analítica de precisión de 0.1 Mg.
- 1 aparato para el ensayo de dureza.
- Un registrador de temperatura del metal en función del tiempo en el horno de cocimiento con toma de temperatura en el perfil en tres puntos y en el aire en un punto.
- Un aparato de medida de conductividad.
- Los productos necesarios para efectuar el ensayo de polimerización.
- El material y las soluciones necesarias para efectuar los análisis de concentración de químicos de los baños.

## **4. RECUBRIMIENTO EN POLVO**

### **4.1 Características de la pintura en polvo**

#### **4.1.1 Problemas en sus inicios**

Durante la evolución de la tecnología de los recubrimientos en polvo se detectaron varias desventajas o problemas potenciales.

- Los cambios de color.
- Espesores de aplicación.
- Temperaturas de curado.
- Efecto de jaula de Faraday.
- Costo de conversión de líneas líquidas a polvos.

Actualmente casi todos estos puntos han sido resueltos o minimizados.

El principal avance que permitió a los recubrimientos en polvo convertirse en un elemento importante de la industria de los acabados fue la introducción del proceso de rociado electrostático a principios de los años 70. dicho rociado permitió:

- Aplicarse en espesores delgados.
- Utilizar los polvos en piezas que no podían calentarse o sumergirse en un lecho fluidizado.

Por primera vez, estos recubrimientos se convirtieron en una opción económica viable. Su aparición como una alternativa frente a los recubrimientos decorativos líquidos condujo al desarrollo de una variedad de sistemas de resinas específicamente diseñadas para cubrir las necesidades de varias industrias, al inicio se utilizaban casi exclusivamente resinas epoxicas como:

- Poliesteruretanos.
- Híbridos del epoxipoliéster.
- Acrílicos.
- Fluoruros de polivinilo.

Se han convertido actualmente en sistemas de resinas que han sido aprobados, cada uno con su propio mercado dependiendo de las características técnicas necesarias para el producto.

Hoy en día, los recubrimientos en polvo se encuentran disponibles en versiones transparentes y en prácticamente cualquier color, nivel de brillo y textura.

#### **4.1.2 Recubrimientos termoplásticos**

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.

Estas resinas tienden a ser difíciles de pulverizar al fino tamaño de partícula necesario para la aplicación de 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 y no suelen competir en el mismo mercado de las pinturas.

#### **4.1.3 Recubrimientos termo fijos**

Los recubrimientos en polvo termo fijos 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 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 de la resina básica. 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 termo fijos 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 tecnológicos en los años recientes se relacionan con los polvos termos fijos. Estos provienen de tres tipos genéricos de resinas que son:

- Epòxicas.
- Poliésteres.
- Acrílicas.

De las que a su vez se derivan cinco sistemas de recubrimientos:

- Sistemas epòxicos.
- Sistemas híbridos ó epoxi poliéster.
- Sistemas poliéster
- Sistema acrílico uretano.
- Sistema poliéster uretano.

## **4.2 Proceso de aplicación de la pintura en polvo**

### **4.2.1 Descripción de la aplicación**

El proceso de aplicación de recubrimientos en polvo sobre un producto es similar al tradicional de pintado que se sigue con los recubrimientos líquidos.

Las piezas que van a recubrirse primeramente reciben un pre-tratamiento descrito en el capítulo anterior para que la superficie quede:

- Limpia.
- Sin grasa.

- Sin polvo.
- Sin óxido.
- Sin otros contaminantes.

En la mayoría de los casos las piezas de aluminio también se someten a tratamientos de fosfatado, cromatizado ó inmersiones de zinc, para mejorar la protección de la limpieza que va a recubrirse.

Los pre-tratamientos que más se utilizan con el recubrimiento en polvo son:

- Fosfatado de hierro para el acero.
- Fosfatado de zinc para el acero galvanizado.
- Fosfato de cromo para el aluminio.

Después de este paso y el secado, las piezas se colocan en la cabina de polvos y posteriormente a la aplicación del recubrimiento, entran en el horno de curado, donde el recubrimiento se funde y cura.

#### **4.2.2 Equipo necesario para la aplicación**

El proceso de aplicación usa un tipo de equipo que consta de:

- El sistema de alimentación de polvos.
- El sistema de pistolas electrostáticas.
- La cabina de aplicación.
- El sistema de recuperación de polvos.

El polvo se suministra a la pistola mediante el sistema de alimentación, el cual consta de un contenedor de almacenamiento o tolva de alimentación y un dispositivo venturi de bombeo que transporta una mezcla de polvo y aire a través de mangueras o tubos. Se utiliza un sistema neumático con aire

comprimido seco y limpio, por que ayuda a separar el polvo en partículas individuales, más fáciles de transportar.

Las pistolas electrostáticas son las que dirigen el flujo de polvo; controlan el patrón y tamaño de la nube de polvo al momento que se libera de la pistola, imparte la carga electrostática al polvo que va ser aplicado y determina el índice de adherencia y localización del polvo en el perfil a recubrir. Las pistolas se pueden clasificar en manuales o automáticas y si bien los principios básicos de operación son los mismos, existe una gran variedad de estilos y tamaños.

#### **4.2.3 Recubrimiento en polvo poliéster puro TGIC**

Los polvos poliéster puros TGIC, están formulados con resinas especialmente seleccionadas para proporcionar una amplia gama de propiedades físicas con un máximo de resistencia a la intemperie y exposición a los rayos ultravioleta. Están disponibles en una amplia gama de colores y se pueden aplicar en un rango muy amplio de espesores de película.

Las aplicaciones típicas son:

- Paneles decorativos para edificios.
- Unidades para iluminación exterior.
- Equipos para granjas.
- Antenas de radio y TV.
- Transformadores.
- Muebles de jardín.
- Auto partes.
- Extrusiones de aluminio.

El espesor recomendado de la película es de 25 hasta 250 micrones. Su ciclo de curado recomendado es de 20 minutos a 180° C. Estos ciclos pueden variar

dependiendo del diseño de la pieza, el espesor del sustrato y el tipo de horno. Su condición de almacenaje recomendada es menores de 25° C. Y 50% de humedad relativa.

#### **4.2.4 Recubrimiento en polvo epoxi**

Los recubrimientos en polvo epoxi son desarrollados para aplicaciones que requieren un máximo de protección contra ambientes químicos sumamente agresivos, logran excelentes propiedades mecánicas tales como flexibilidad, dureza, resistencia al impacto, resistencia dieléctrica. Se obtienen formulaciones de baja temperatura o tiempo de horneado. Estos recubrimientos no son recomendados donde se requiera una alta resistencia a los rayos ultravioleta. Sus condiciones de almacenaje no deben ser mayores a los 25° C. Y 50% de humedad relativa.

Las características de la película aplicada son:

- Resistencia al impacto en libras por pulgada cuadrada.
- Adherencia cero desprendimiento.
- Gravedad específica de 1.2 a 1.8.
- Niebla salina más de 1000 horas.
- Humedad más de 1000 horas.

#### **4.2.5 Recubrimiento en polvo híbrido**

Los recubrimientos Híbridos Epoxi Poliéster están formulados para aprovechar todas las ventajas de los sistemas Epoxi con una mejor resistencia a la exposición a los rayos ultravioletas conservando las resistencias químicas y mecánicas de los recubrimientos Epoxi, además estas formulaciones resultan en un precio más económico.

Las aplicaciones típicas son; auto partes internas, componentes eléctricos, equipos de jardín y herramientas.

Las características de la película aplicada son:

- Resistencia al impacto 160 libras por pulgada cuadrada.
- Adherencia cero desprendimiento.
- Niebla salina arriba de 1000 horas.
- Humedad arriba de 1000 horas.
- Espesor de película de 45 a 55 micrones.

#### **4.3 Eficiencia en la aplicación de la pintura en polvo**

Los equipos para la aplicación de pintura en polvo han cambiado significativamente desde su introducción hace 30 años. Los equipos originales fueron diseñados para recubrir productos metálicos, el costo y calidad del acabado fueron secundarios y el equipo de aplicación fue diseñado para generar una nube de polvo en la cabina de recubrimiento y hacer pasar las piezas a través de esta nube para obtener el recubrimiento. Hoy los sistemas para polvo son diseñados para proporcionar alta calidad y alternativas de costo y rendimiento respecto de los recubrimientos líquidos.

El sistema se define como un paquete completo que incluye:

- Cabina de aplicación.
- Pistolas electrostáticas.
- Sistemas de auto control.
- Equipo auxiliar para proporcionar el mejor ambiente del recubrimiento.

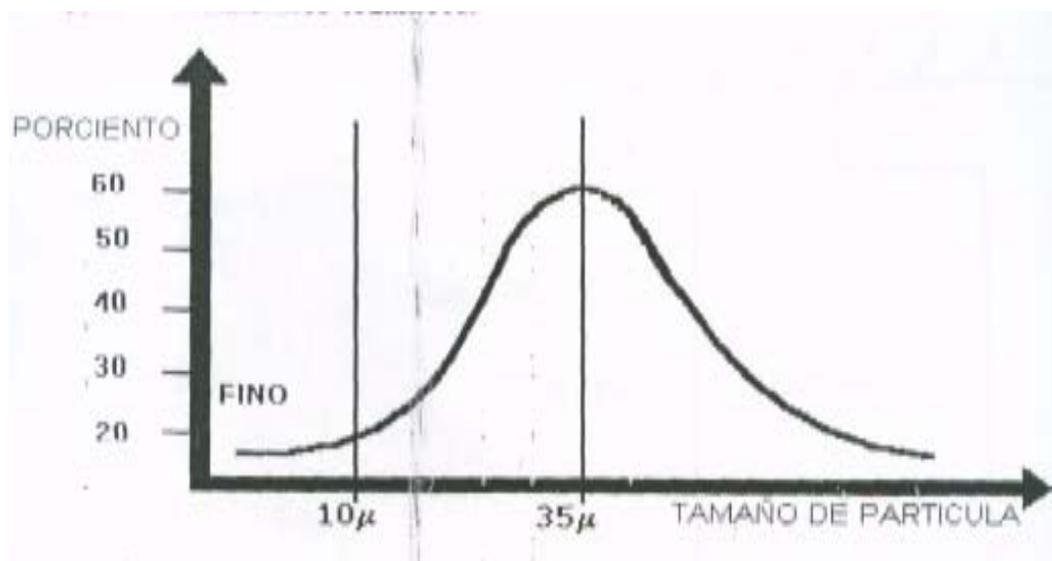
La combinación de estos componentes debe ser diseñada y mantenidos apropiadamente para lograr resultados óptimos.

### 4.3.1 Tamaño de las partículas de polvo

La distribución porcentual del tamaño de partículas del polvo influye en la utilización del sistema, en la eficiencia de la transferencia del polvo y en la disponibilidad que le da al polvo para cargarse electrostáticamente.

En la siguiente gráfica se ve la distribución típica del tamaño de las partículas del polvo para recubrimientos orgánicos.

**Figura 1.** Gráfico de tamaño de partículas de la pintura en polvo.



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V. Departamento técnico, página 33.

Como se puede observar el tamaño promedio de la medida de las partículas es de 35 micrones, también se muestra un área de menos de 10 micrones identificado como polvos finos, los cuales son una parte importante en el proceso de los recubrimientos en polvo; pueden proporcionar beneficios y también problemas durante la aplicación del polvo.

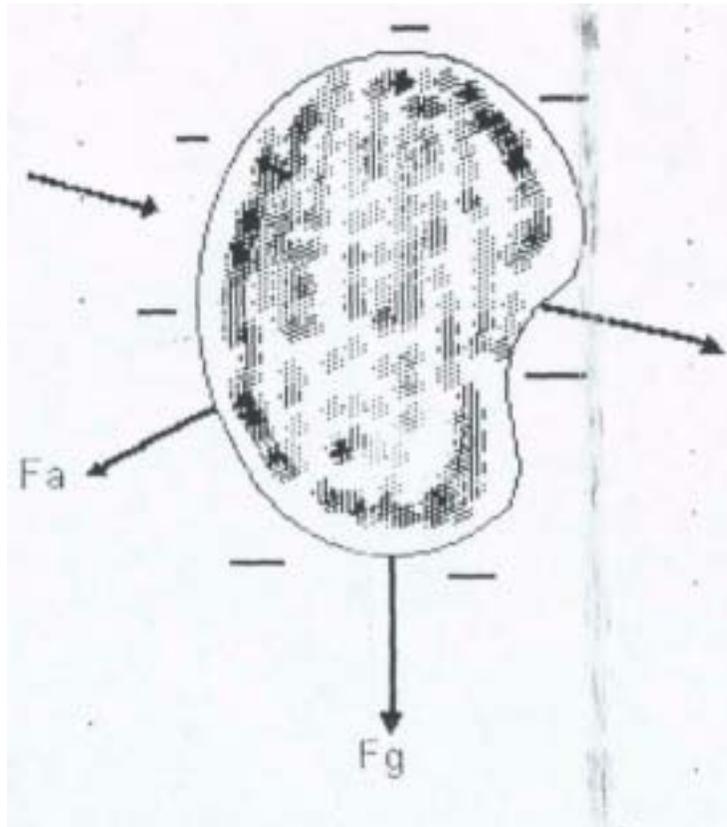
Varias fuerzas actúan sobre cada partícula de polvo las que determinan que estas sean atraídas o no al substrato aterrizado:

- (Fe) la fuerza que proviene de la carga en kilovolts-ampere guardada en las pistolas de aplicación. La partícula adquiere determinada carga negativa de la que dependerá la eficiencia de las aplicaciones de las pistolas, contribuye también la forma de la pieza a pintar y de la conductividad a tierra.
- (Fg) es la fuerza de la gravedad que esta en correlación con el tamaño de las partículas. Las partículas tienden naturalmente a ir hacia el piso de la cabina de recuperación del polvo.
- (Fd) el aire inyectado para transportar el polvo, desde el block venturi hasta la pistola de aplicación.
- (Fa) el flujo de aire creado en la cabina de recuperación.

**Figura 2.** Fuerzas aplicadas a las partículas de pintura

Fd

Fe



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V. Departamento técnico, página 36.

Estas cuatro fuerzas primarias deben ser balanceadas para maximizar el número de partículas llevadas al sustrato aterrizado.

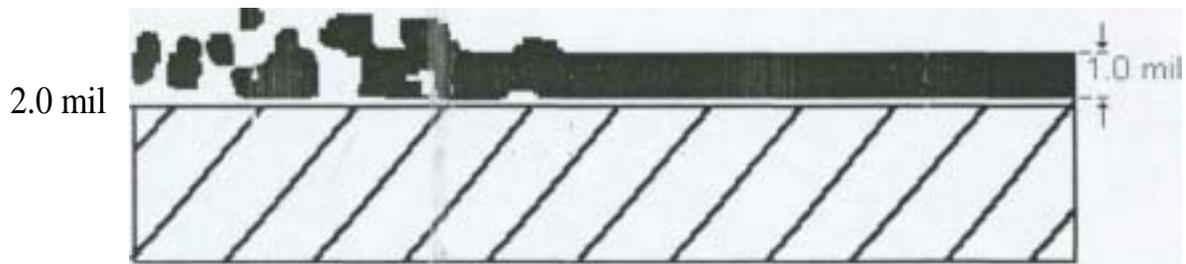
En las partículas de polvos finos (menos de 10 micrones) actúan las mismas fuerzas pero no con la misma magnitud debido al tamaño de las partículas pequeñas, las fuerzas resultantes del campo electrostático y de la fuerza de la gravedad son menores en comparación a las fuerzas de aire (  $F_a$  y  $F_d$  ) que abundan.

Si el sistema no está debidamente diseñado, el flujo de aire en la cabina puede superar las otras fuerzas y evitar que los polvos finos se adhieran al sustrato o perfil. También si la eficiencia de carga del equipo electrostático no es la adecuada, el flujo de aire puede nuevamente superar las fuerzas de atracción.

Una vez que el polvo alcanza el perfil es importante tener una distribución equilibrada de partículas de polvo (pequeñas, medianas y grandes) para formar una capa continua y lisa. Las partículas de polvo fluirán durante el proceso de polimerización hasta alcanzar la mitad de su tamaño original. Por ejemplo:

Las partículas de 40 micrones polimerizarán dentro de un espesor de 20 micrones aproximadamente 0.8 milímetros.

**Figura 3.** Película de polvo antes y después de polimerizarse



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V. Departamento técnico, página 38.

Una combinación de partículas finas, medianas y grandes que hayan sido atraídas hacia el perfil, cuando polimerizan forman un acabado liso, que es el resultado deseado de un sistema de recubrimiento en polvo. Si las partículas finas son sacadas del sistema, en el resultado final habrá falta de coherencia, no habrá ordenamiento con partículas grandes y medianas y el acabado de la superficie será más texturizado, presentará el efecto llamado “cáscara de naranja”.

#### **4.3.2 Otros factores que afectan la transferencia**

Si no existe un buen contacto con el perfil y la tierra física, las partículas cargadas no pueden ser atraídas hacia el perfil, una buena tierra física debe observar al menos un megaohm (mínimo) de resistencia entre el perfil y la tierra física, esta medición se realiza con un instrumento llamado mego metro.

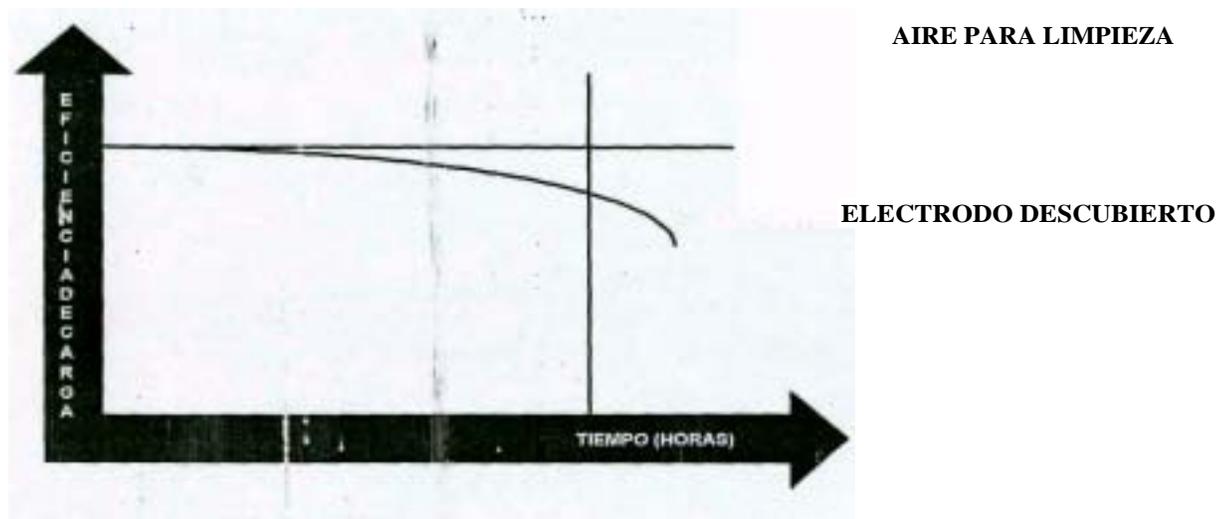
Cuando existe poca conexión ó mala conexión a tierra, las fuerzas de gravedad y del flujo de aire pueden superar la reducida atracción electrostática e impedir que las partículas de polvo alcancen al perfil. Los problemas de conexión a tierra son debidos a que los ganchos donde se cuelga el perfil no están limpios o no existe continuidad con la caseta de recuperación.

#### 4.3.3 Condiciones de los electrodos de aplicación

Otro factor que afecta la eficiencia de transferencia de un sistema de aplicación de pintura en polvo son los electrodos de la pistola de aplicación que normalmente se cubren con polvo o son dañados por golpeo. Como el polvo se acumula sobre los electrodos, las pistolas no tienen la misma capacidad para cargar efectivamente las partículas de polvo.

Al paso del tiempo, la eficiencia de la carga disminuye hasta que los electrodos se limpien nuevamente. Algunas pistolas tienen la posibilidad de mantener limpios los electrodos durante la aplicación del polvo, esto evita que el polvo se acumule y proporcione una carga más constante.

**Figura 4.** Gráfico de eficiencia de los electrodos



Fuente: Vitacoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V. Departamento técnico, página 42.

La mayoría de las cabinas son diseñadas con un promedio de velocidad de succión de aire entre 110 y 120 pies lineales por minuto, esta velocidad de aire es relativamente baja. Por lo que es importante prevenir corrientes de aire que pueden afectar negativamente la contención del polvo. Las corrientes creadas por puertas abiertas en la planta pueden causar un efecto venturi no deseado permitiendo que el polvo escape. Este problema puede evitarse instalando un cuarto con presión positiva alrededor del sistema de recuperación para eliminar las corrientes que cruzan.

La humedad excesiva en los alrededores o humedad en las líneas del aire causan problemas para cargar las partículas del polvo porque reduce la capacidad de estas para asimilar la carga electrostática y también se observa una mayor dificultad para producir un lecho fluidizado. Se recomienda que la humedad relativa de la cabina sea de 40% a 60% para evitar problemas por la existencia de humedad en las líneas de aire es necesario que el equipo de aire comprimido cuente con un secador de aire.

Para obtener una buena eficiencia de carga alta, el control de la salida de polvo en las pistolas debe ser tomado en cuenta. Más polvo pasa por los electrodos de la pistola, menos oportunidad de cargar efectivamente cada partícula de polvo.

La aplicación de cantidades grandes no es lo mejor, lo mejor es aumentar el número de pistolas y reducir la cantidad de polvo que pasa por cada pistola. La eficiencia de transferencia aumenta porque la velocidad del aire se reduce permitiendo incrementar el tiempo de exposición de las partículas del polvo en el campo electrostático, permitiendo una carga máxima sobre cada partícula. Por lo que el objetivo principal es aplicar bien y la cantidad de polvo necesario al perfil en la primera aplicación, permitiendo reducir considerablemente costos de operación del sistema.

#### **4.4 Jaula de Faraday**

En todo proceso que emplea el transporte de partículas sólidas por medio de un campo electrostático, existe la presencia del efecto de “jaula de Faraday “.

Este efecto, fue descubierto por el físico inglés Michael Faraday, este fenómeno se describe como la dificultad para recubrir, en este caso con pintura en polvo, algunos lugares tales como cavidades, partes de difícil acceso, dobles filos, etc.

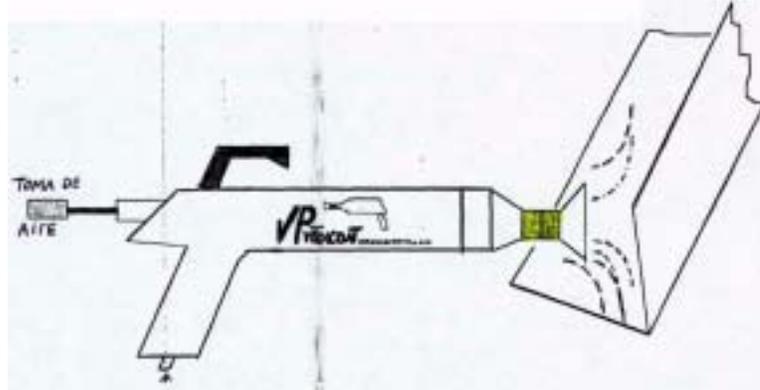
Particularmente en esas áreas el espesor de la capa de pintura en polvo que se deposita tiende a ser baja y con poca adherencia.

##### **4.4.1 Principio físico de Faraday**

Las líneas de campo electrostático que se generan con el alto voltaje entre la pistola y la pieza aterrizada buscan el camino más cercano para descargarse, por lo que en las esquinas y cavidades no existen las líneas de carga ni la adherencia de polvo adecuadamente. Las esquinas deben pintarse desde el principio para evitar un espesor mayor en el resto del objeto a pintar.

Cuando se usa un deflector cónico, el efecto de “jaula “puede reducirse dirigiendo la pistola directamente hacia la esquina en dirección de la salida del polvo, lo que permitirá que se deposite el polvo en forma y cantidad adecuada.

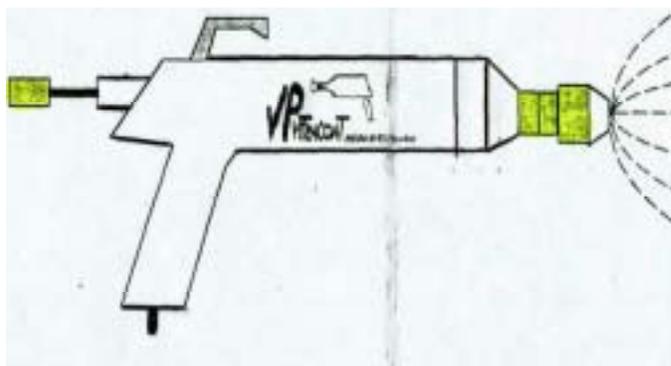
**Figura 5.** Efecto de jaula de Faraday



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V. Departamento técnico, página 59.

Cuando utilizamos una boquilla de abanico, recomendada especialmente para esquinas, cajas y ángulos durante la aplicación, el polvo debe dirigirse paralelamente a la cara de la esquina a pintar.

**Figura 6.** Forma correcta de pintar superficies planas



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V, Departamento técnico, página 60.

#### 4.4.2 Técnicas para reducir el campo electrostático

- Reducir el amperaje de trabajo a 70% en el amperímetro para minimizar las líneas de fuerza y permitir así que el polvo penetre más fácilmente.
- Reducir la velocidad del aire que transporta el polvo, esto evitará que el polvo depositado no se barra por incidencia directa del mismo polvo y del aire desde luego.
- Hacer uso de una boquilla de abanico, esto permite aumentar la velocidad del polvo venciendo así las líneas de fuerza del campo electrostático.
- Algunas esquinas y cavidades pueden cubrirse bien haciendo movimientos circulares o en forma de “zig-zag” par eliminar las líneas de fuerza del campo electrostático.
- Como solución para reducir considerablemente la “jaula de Faraday” se logra equilibrando la acción del alto voltaje, el volumen del aire de transporte del polvo, el volumen del polvo empleado y por supuesto la experiencia del aplicador.

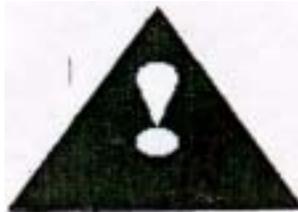
## **5. REGLAS Y REGULACIONES PARA PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

### **5.1 Reglas y regulaciones en la planta de pintura**

El sumario general de las reglas y precauciones y recomendaciones a los usuarios del sistema de polvo se establece con el fin de crear un sistema de seguridad industrial para este tipo de procesos. Un ingeniero especialista en la rama o institución que instale o provea estos servicios debe primero asegurarse que los métodos que van a ser utilizados son seguros y cumplen las disposiciones en vigor en materia de seguridad eléctrica, así como todo personal envuelto en el sistema de aplicación de polvo debe leer cuidadosamente y entender las normas y simbología del área de trabajo.

### 5.1.1 Simbología de seguridad

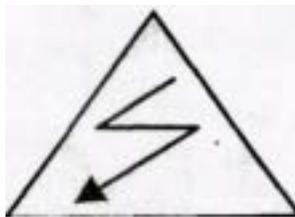
**Figura 7.** Símbolo de posible explosión



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V, Departamento técnico, página 15.

- Se alerta al usuario de importantes instrucciones de operación y mantenimiento que de no realizarse causarían incendio o explosión.

**Figura 8.** Símbolo de posible shock eléctrico.



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V, Departamento técnico, **página 15.**

- Alerta al usuario de un riesgo de choque eléctrico que puede causar la muerte.

**Figura 9.** Símbolo de mantenerse en alerta



**Fuente:** Vitraccoat, **Pinturas en polvo S.A. de C.V, Departamento técnico**, página 15.

- Este símbolo alerta al usuario de importantes instrucciones de operación y mantenimiento que deben seguirse, en caso contrario podría causar daño al equipo y provocar también daño personal.

**Figura 10.** Símbolo de nota de seguridad



**Fuente:** Vitraccoat, Pinturas en polvo S.A. de C.V, Departamento técnico, página 15.

- Avisa al usuario que de no ser ejecutadas las instrucciones como se indican, se puede causar daño al equipo o tener resultados no satisfactorios por manejo inadecuado de los equipos.

## **5.1.2 Precauciones de seguridad para el operador**

### **5.1.2.1 Entrenamiento del operador**

El operador debe ser capacitado e instruido sobre el uso, operación y mantenimiento del equipo, de la cabina y la aplicación del polvo.

### **5.1.2.2 Regulaciones**

Se deberán seguir atentamente las precauciones y regulaciones asociadas con el uso del equipo y la pintura en polvo.

### **5.1.2.3 Higiene personal**

Lavarse las manos antes de comer o fumar. Usar jabón y agua abundante solamente para remover el polvo de la piel. No usar ningún tipo de solvente, ya que puede causar alergias y daños en la piel.

#### **5.1.2.4 Ropa apropiada**

Debe de ser una tela que no forme pelusas o que no se deshile, los cuales serían aspirados por la succión de aire de la cabina y podrían contaminar el polvo.

#### **5.1.2.5 Guantes**

No usar guantes cuando use la pistola manual. El contacto con la pistola debe ser directo para prevenir la formación de una carga estática que causaría shock y posibles riesgos.

#### **5.1.2.6 Zapatos**

Los operadores deben usar zapatos con suelas de cuero, conductoras. Las suelas de hule o goma no son conductoras y pueden provocar carga estática.

#### **5.1.2.7 Protección de ojos**

Los operadores no deben usar ningún tipo de lentes de contacto para corrección visual, porque la constante exposición de polvo causaría irritación. Siempre use lentes o gafas de seguridad.

#### **5.1.2.8 No fumar en área de aplicación**

Esta regla es importante porque los polvos utilizados son altamente flamables.

#### **5.1.2.9 Artículos personales**

Los operadores y el personal en general del área de aplicación no deberán usar artículos metálicos por la necesidad de evitar estática que puede causar shock o chispa o falsos contactos.

#### **5.1.2.10 Respirador apropiado**

Los operadores y todo el personal expuesto al polvo deben usar filtros de respiración, especialmente quienes manejan el equipo de aplicación, quienes hacen mantenimiento y limpieza del equipo.

#### **5.1.2.11 Pistolas de aire**

Cuidado extremo deberá tenerse en el uso del aire comprimido cuando se sopletea el polvo de la ropa. El aire comprimido aplicado directo a la piel puede causar serios problemas. Al utilizar polvos para pintar se debe seguir todas estas instrucciones de seguridad industrial y usar el sentido común.

### **5.2 Recomendaciones de limpieza en el área de aplicación**

#### **5.2.1 Limpieza general**

El área que circunda la cabina de polvo debe limpiarse con aspirador. En cuartos de ambiente controlado con filtros de aire acondicionado deben limpiarse y cambiarse para obtener mejor circulación de aire.

#### **5.2.2 Limpieza del equipo**

Para seguridad y máxima eficiencia, mantenga la cabina y el equipo limpio. El exterior de la cabina debe limpiarse al final de cada turno para evitar cualquier depósito de polvo. Limpiar el interior de la cabina con un limpiador de hule al final de cada jornada, no permita suciedad o polvo sobre los cables conductores de la pistola, gabinete de control, lámparas o sobre cualquier otro

equipo eléctrico del sistema. Mantenga cerrada la caja de control del equipo de aplicación.

### **5.2.3 Cabina movable**

Las cabinas equipadas con base móvil requieren que todas las mangueras tuberías, cables y ductos se mantengan al nivel del piso.

## **5.3 Guía de seguridad en la aplicación**

### **5.3.1 Servicio calificado**

Solamente el personal calificado deberá arreglar el equipo eléctrico, pistolas de aplicación del polvo o el sistema de aplicación de la cabina.

### **5.3.2 Procedimiento de emergencia**

Conocer como parar el equipo de aplicación, todo el personal asociado con la operación de aplicación, debe conocer donde esta localizado el botón de paro de emergencia del equipo.

### **5.3.3 Prevención de fuego**

Conocer precisamente la localización de los extinguidores de fuego y las zonas de evacuación diseñadas para emergencias. Siempre que este encendida cualquier alarma de detección de chispa o de fuego, deberá reportarse de inmediato al supervisor de turno.

### **5.3.4 Condición de alerta**

Si sospecha algo peligroso o inusual en el funcionamiento debe reportarlo para una investigación y reparar rápidamente si es posible. Nunca opere ningún equipo de alto voltaje que tenga indicios de daño u operación incorrecta.

### **5.3.5 Área de aplicación**

Los operadores deberán trabajar a través de las aberturas de retoque, parados en la plataforma o en el piso. No pinte las partes o piezas en los vestíbulos de la cabina o fuera de ella. Si el tamaño y configuración de las partes requieren que los pintores ingresen al interior de la cabina, deberá contar con una extensión de la pistola para que ese trabajo se realice en la posición normal para que sea eficiente y cómodo.

### **5.3.6 Operación de seguridad**

Los operadores no deben estar dentro de la caseta mientras pintan o cuando el equipo automático esta aplicando el polvo. Cualquier limpieza de servicio o mantenimiento al equipo de aplicación tiene que efectuarse con el equipo electrostático apagado, el transportador apagado y la cabina y su sistema de aspiración funcionando.

### **5.3.7 Operación de aplicación dentro de la cabina**

Los pintores deberán estar equipados con un equipo de máscara o casco protector, si van a pintar dentro de la cabina lo cual no es aconsejable, el equipo que debe llevar debe satisfacer los requerimientos de la norma OSHA.

### **5.3.8 Acceso al interior de la cabina**

La entrada y salida de los operarios, deberá ser por las aberturas diseñadas para ese fin y no por las aberturas designadas para los perfiles.

### **5.3.9 Plataformas del operador**

Deben estar libres de cualquier obstrucción que ponga en peligro la seguridad del pintor.

### **5.3.10 Hoja de datos del material de seguridad**

El operador deberá tener acceso a los requerimientos de seguridad y a los accesorios necesarios para efectuar un trabajo seguro.

### **5.3.11 Solventes**

No mantener contenedores con solventes inflamables u otros volátiles en el área o en el cuarto de aplicación. Cualquier solvente deberá ser mantenido en contenedores aprobados y seguros. Además de que son contaminantes, no se necesitan para nada en el sistema de polveo que nos compete.

### **5.3.12 Almacén de polvos**

Las cajas contenedoras de polvos no deben ser maltratadas. La fuga o el polvo tirado además de ser un desperdicio pueden contaminar otros colores. Los contenedores de polvo deben mantenerse en lugar fresco y seco de acuerdo con las recomendaciones mínimas exigidas por el fabricante para su almacenamiento.

## **5.4 Guía de seguridad del equipo**

### **5.4.1 Mantenimiento del equipo**

Debe limpiarse con mucho cuidado y al final de cada turno, por personal calificado, de acuerdo con el personal que manda en la fábrica.

### **5.4.2 Desconexión del equipo**

Los interruptores eléctricos deben ser colocados en la línea de alimentación de la planta para una fácil y segura operación. Nunca intente poner en servicio

los equipos cuando se está parado sobre agua o ambientes de muy alta humedad. No toque alambres expuestos y tampoco los electrodos de las pistolas cuando los equipos se hayan puesto a funcionar.

#### **5.4.3 Operación del equipo**

No operar el equipo mientras estén abiertos el tablero de mando o abierto los circuitos o cuando existan conexiones mal hechas o mal conectadas. No operar el equipo en atmósferas con solventes o riesgosas.

#### **5.4.4 Circuitos interconectados**

La cabina, el transportador y las pistolas automáticas deben ser interconectadas con detectores de fuego aprobados y de acción rápida instalados para la detección de chispas, deben ser revisadas, instaladas para apagar el sistema de aplicación en la eventualidad de que el sistema de ventilación de la cabina apague, el fuego es detectado cuando una pieza en proceso se acerca al electrodo de la pistola, causando una chispa ultravioleta.

Las interconexiones deben ser revisadas periódicamente para estar seguros de su efectividad. Las cabinas automáticas y manuales deberán ser diseñadas para vigilarlas con un sistema de detección de chispas.

No operar el sistema de aplicación con el detector de fuego fuera de sitio o con alambres desconectados en el panel de control. El sistema de detección de fuego debe trabajar siempre. Si una chispa se da el detector, deberá captarla y cortar la corriente.

#### **5.4.5 Requerimientos de conexión a tierra**

Todo equipo de alimentación de polvo, equipo de aplicación, transportador, ganchos y piezas de trabajo debe ser conectado a tierra con una resistencia eléctrica no excedida de 1.0 mego metro. Revisar e inspeccionar todas las conexiones y cables diariamente.

Los conductores que no están conectados a poder de tierra pueden acumular la carga que es capaz de iniciar una chispa. Las chispas en la cabina de aplicación constituyen un peligro de fuego. Revisar periódicamente todas las conexiones a tierra con un medidor de mego metros.

#### **5.4.6 Transportador y ganchos**

Mantenga el transportador, la cadena y ganchos limpios para una apropiada conexión a tierra de las piezas.

Revisar los ganchos para que este logrado el espacio entre partes, a lo largo de la cabina de pintura, para prevenir el estancamiento del transportador. Mantener las partes bien sujetas a la cadena que de otro modo podría causar roces entre ellas.

#### **5.4.7 Pistolas electrostáticas**

Antes de efectuar la limpieza de las pistolas apague los circuitos y mantenga conectado el sistema a tierra. No hacer arreglos o cambios de alambres en las pistolas mientras estén encendidos los sistemas. Cuando las pistolas de mano no estén en uso apague el sistema.

#### **5.4.8 Pistolas manuales**

Estas no deben ser usadas como pistolas automáticas, esto es manteniendo el gatillo en la posición encendida. Este tipo de pistolas trae consigo un gatillo o sistema de encendido manual.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.1 ESPESOR VARIABLE</b>	Alimentación del polvo inconstante	Control de espesor	Ajustar alineación del polvo nuevo
	Distancia entre pistola y pieza no adecuada.	Comprobar el espesor promedio en la producción.	Optimizar los parámetros de aplicación de la máquina
	La sincronización del caudal de la pistola respecto al caudal de la cadena no es correcta	Comprobar el nivel de polvo en el depósito	Sincronizar caudal de la pistola con respecto a la velocidad de la cadena.
	Tensión eléctrica inconstante.	Medición del flujo de aire de la compresora	Acudir al proveedor del equipo.
	La distribución del tamaño de partículas no es adecuada.	Limpieza de venturi	Consulte con el proveedor del polvo.
	El caudal de polvo en el venturi no es constante.	Mangueras limpias sin dobleces.	Limpieza del venturi.
	Efecto de caja de Faraday		Ver efecto de Faraday
	Falla en la continuidad de la tierra		Revisión de tierra.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.2 DEFICIENTE DEPOSITACIÓN ELECTROSTATICA</b>	El tamaño de partículas no es correcto.	Comprobar alta tensión.	Consultar al proveedor del polvo.
	Toma de tierra deficiente.	Comprobar toma de tierra.	Revisar tierra central y cada uno de los puntos de contacto.
	Alta tensión mal ajustada.	Comprobar tamaño de la partícula.	Bajar voltaje de aplicación.
	Presión de aire demasiado elevada.	Disminuir el caudal de aire que lleva el polvo.	Los parámetros electrostáticos de la maquina se tienen que ajustar.
	Características de libre fluidez demasiado elevadas.	Revisar el voltaje de aplicación.	Consultar al proveedor del polvo.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.3 ACUMULAMIENTO INADECUADO DE POLVO EN LA SUPERFICIE</b>	Porcentaje de partículas finas demasiado alto	Análisis del tamaño de partículas.	Consultar al proveedor.
	Aglomeración y adherencia de polvo en los conductos.	Control de espesor.	Mejorar las características de fluidificación aumentando la presión de aire en el depósito.
	Carga electrostática no es adecuada.	Punto de rocío y presión.	Ajustar parámetros electrostáticos y limpieza de venturi y mangueras.
	Variaciones en la presión de aire.	Control de tierra, presión y comprobar aire comprimido.	Ajustar parámetros de presión de aire.
	Deficiente toma de tierra.		Revisión de línea de tierra.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.4 VALVULA BLOQUEADA.</b>	Humedad en el aire comprimido ó exceso de humedad en las líneas de aire.	Vibración de la válvula.	Revisión de filtros y líneas de aire.
	Temperatura demasiado alta	Contenido de polvo en la tolva y en el tamiz	Refrigerar la válvula y ajustarla para evitar fricción.
	Inadecuado tamaño de partículas.	Ninguna	Consultar al proveedor de polvo.
	El tamiz esta lleno.	Ninguna	Ajustar el flujo de polvo en el depósito. Verificar humedad en la línea de aire.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.5 BAJA PENETRACION EN ESQUINAS</b>	Inadecuada descarga de polvo.	Deficiente cobertura de cantos.	Regular parámetros, use extensión, cambie deflector.
	Excesivo voltaje.	Ninguna	Bajar voltaje.
	Inadecuado tamaño de partículas.	Ninguna	Consultar proveedor de polvo.
	La presión de aire y la fluidificación por la alimentación del polvo no son correctas.	Ninguna	Regular parámetros para mejorar fluidificación.
	Deficiente toma de aire.	Ninguna	Revisión de la línea de tierra.
	Demasiado caudal de aire en la pistola.	Ninguna	Reducir el caudal de aire de la pistola.
	Mala colocación de la pistola.	Ninguna	Ajuste la posición de la pistola para directa aplicación en las esquinas.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.6 FUERTE APELMAZAMIENTO EN LAS MANGUERAS E INYECTORES.</b>	Humedad en las líneas de aire.	Comprobar fluidificación y tamaño de partículas.	Quitar humedad de aire de línea.
	Caudal de aire demasiado alto.	Purga de línea de aire.	Bajar el caudal de aire.
	Alimentación de polvo demasiado elevada.	Revisar veracidad de manómetros y carátulas.	Equilibrar parámetros de aplicación.
	Plastificante exudado del material plástico en los ductos.	Ninguna.	Cambiar el material plástico de los conductos.
	Fluidificación demasiado baja.	Ninguna.	Incrementar presión.
	Mangueras inyectoras o pistolas obstruidas con polvo.	Ninguna.	Limpiar inyectoras y comprobar circuitos de polvo y situación de la recuperación.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.1.7 MALA FLUIDIFICACION EN EL DEPOSITO</b>	Inadecuado tamaño de partícula.	Comprobar tamaño de partículas.	Consultar al proveedor del polvo.
	Aceite o humedad en las líneas de aire.	Comprobar presencia de cráteres en el lecho fluidizado.	Instalar secador de aire comprimido. Alimentar con polvo nuevo automáticamente.
	Temperatura alta del ambiente.	Comprobar nubes de polvo en la pistola	Alejar fuentes de calor aislando la zona.
	Aire de fluidificación demasiado bajo por placa porosa obstruida.	Ninguna.	Cambiar placa porosa en el fondo del depósito.
<b>6.1.8 NUBE DE POLVO INADECUADA.</b>	Desgaste de las partes del inyector y las pistolas.	Aumento de salida y polvo en los botones reguladores, no corresponde a la salida real del polvo aspersionado	Reemplazar los tubos de alimentación, inyectores y deflectores desgastados.
	Fusión por impacto en pistola, inyector y mangueras.	Ninguna.	Limpieza de partes obstruidas.
	Presión de aire de alimentación muy baja.	Aumento de salida y polvo en los botones reguladores, no corresponde a la salida real del polvo aspersionado	Revisión del abastecedor de aire.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.1 PUNTO DE AGUJA EN LA PELICULA APLICADA</b>	Contenido de humedad en el polvo.	Comprobar contenido de humedad en línea de aire.	Comprobar condiciones de almacenamiento del polvo lejos de fuentes de humedad y calor.
	Aire ocluido por película de polvo.	Calentar paulatinamente la pieza o perfil.	Purgar filtros de línea de aire.
	Desgasificación del perfil.	Precalentar las piezas.	Precalentar las piezas.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.2 BAJAS PROPIEDADES MECANICAS</b>	Velocidad de la cadena demasiado rápida.	Comprobar curvas de temperatura en el horno.	Ajustar la cadena a la velocidad más apropiada que requieren las piezas.
	Velocidad de calentamiento demasiado baja.	Comprobar la limpieza de superficie.	Incrementar temperatura.
	Presencia de aceites, grasas u otros contaminantes en la superficie.	Comprobar las características mecánicas en paneles de ensayo.	Mejorar el tratamiento de superficie.
	Demasiada adherencia de fosfato.	Comprobar el grado de curado de la película de polvo.	Regular la adherencia de fosfato.
	Acero galvanizado sin tratamiento previo.	Ninguno.	Dar tratamiento adecuado según el tipo de perfil.
	Polvo no es curado.	Ninguno.	Contactar con el proveedor del polvo.
	Excesivo espesor de película.	Ninguno.	Ajustar espesor de película.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.3 CAMBIO DE TONALIDAD</b>	Película demasiado delgada.	Comprobar diferencia de color con el standard.	Aumentar el espesor.
	Tiempo excesivo en el horno.	Comprobar la temperatura del horno.	Ajustarse a los tiempos recomendados para el polvo usado.
	Temperatura de horneado demasiado alta.	Establecer el ritmo de paros con cuidado.	Ajustar la temperatura del horno y su máximo admisible para el tipo de polvo en cuestión.
	Paros de cadena demasiado largos.	Comprobar diferencias de color.	Evitar paros prolongados y evitar la contaminación del polvo.
	Contaminación del polvo.	Comprobar la superficie de las piezas preparadas.	Limpieza de filtros, caseta, ductos y usar polvo virgen.
	Diferencia en la depositación en la película de fosfato.	Comprobar temperatura del horno.	Ajustar temperatura de polimerización.
	Residuos de cromo solubles.	Ninguna.	Controlar la preparación de la superficie.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.4 SUPERFICIE DE LA PELICULA EMPAÑADA</b>	Los agentes de limpieza no son adecuados.	El empañado se puede quitar fácilmente frotando.	Contactar con el proveedor.
	Intercambio de aire en el horno demasiado bajo.	Frotar.	Incrementar el intercambio de calor en el horno.
	La temperatura es demasiado alta o demasiado baja.	Frotar.	Controlar la temperatura.
	Mala combustión del horno.	Frotar.	Revisar la cámara de combustión.
<b>6.2.5 SUCIEDAD Y GRUMOS EN LA PELÍCULA</b>	Suciedad en el polvo recuperado.	Comprobar bajo el microscopio.	Limpieza general, filtros, caseta y ductos. Control de tamiz.
	Suciedad en la cadena u horno.	Comprobar impurezas retenidas en el tamiz.	Limpieza de cadena y del horno.
	Las soldaduras no están lisas.	Ninguno.	Revisión del proceso de soldadura.
	Residuos de la preparación de la superficie.	Ninguno.	Usar polvo nuevo.
	Entorno con suciedad de polvo o soldadura o aserrín pulido.	Ninguno.	Revisión del sistema de preparación de superficie.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACION	SOLUCION
<b>6.2.6 CRATERES EN LA PELÍCULA.</b>	El tratamiento de superficie no es bueno.	Comprobar resistencia a la corrosión y adhesión.	Adecuar el tratamiento de la superficie.
	Humedad y aceite en la línea de aire del sistema.	Comprobar aire comprimido con aire impuro.	Revisión y purgado de filtros de línea e instalar un secador.
	Presencia de aceite o silicones procedentes de la lubricación de la cadena o de aparatos de soldadura.	Ninguna.	Cambiar de limpiador o lubricante, usar spray sin silicona y limpiar la planta.
	Incompatibilidad con otro polvo.	Comprobar compatibilidad con otro polvo.	Limpieza completa de filtros, caseta, ductos antes de cambiar a otro polvo.
<b>6.2.7 AMPOLLAS EN LA PELICULA</b>	Oxido o humedad en la pieza.	Comprobar presencia de oxido o humedad.	Revisión del sistema de preparación.
	Desprendimiento de gases del mismo perfil.	Menor velocidad de calentamiento.	Precalear la pieza y limpiar ganchos.
	Película de recubrimiento excesiva.	Medir con aparato.	Reducir espesor de pintura.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.8 IRREGULARIDADES EN LA PELICULA</b>	Aceite grasas o agente de desmolde.	Mal recubrimiento de cantos y rincones.	Cambiar productos de desmolde y evitar contaminantes.
	Residuos de tratamiento de superficie.	Las piezas deben estar bien limpias antes del recubrimiento en polvo.	Limpiar bien las piezas.
	Residuos de productos de soldadura.	Revisar proceso	Mejorar la calidad de tratamiento de la superficie.
<b>6.2.9 ESCURRIMIENTO DE LA PELICULA</b>	Temperatura demasiado alta.	Comprobar la curva de temperatura del horno.	Bajar temperatura.
	Velocidad de calentamiento demasiado alta.	Comprobar la temperatura del horno.	Bajar la velocidad de calentamiento.
	Demasiado polvo aplicado.	Observar la aplicación del polvo en los cantos.	Ajustar el espesor de la película.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.10 SUPERFICIE POCO LISA O CASCARA DE NARANJA</b>	Velocidad de ascenso de temperatura en el horno de curado demasiado baja.	Comprobar la curva de temperatura del horno.	Incrementar la potencia calorífica en la primera zona del horno, revisar pistolas de aplicación, usar un polvo con otra formula si es posible en vez de poliéster utilizar uretano por ejemplo.
	Película demasiado delgada o demasiado gruesa.	Comprobar pistolas de aplicación.	Ajustar el espesor como sea necesario.
	Fenómeno de retroionización electrostática.	Comprobar tamaño de partículas.	Ajustar el voltaje en el equipo.
	Incompatibilidad con otros polvos	Ninguna.	No mezclar polvo de diferentes sistemas.
	Polvo demasiado grueso.	Comprobar bajo microscopio.	Contactar con el proveedor del polvo.
	Posición de la pistola muy cerca del perfil.	Observar aplicación.	Retirar las pistolas del perfil a una distancia adecuada.

PROBLEMA	CAUSA	COMPROBACIONES	SOLUCION
<b>6.2.11 BRILLO VARIABLE</b>	No se sigue la curva correcta de curado.	Comprobar temperatura del horno.	Adequar las condiciones de curado.
	Contaminantes en el horno, aceites y humos.	Reproducir el fenómeno introduciendo contaminantes.	No tener disolventes ni aceites cerca de la planta de recubrimiento y mejorar la extracción de aire del horno.
	Incompatibilidad con otro polvo.	Comprobar incompatibilidad entre los polvos.	Limpieza adecuada de filtros, ductos, cabina en cambios de color y no mezclar polvos de diferentes proveedores o diferente sistema.
	Espesor variable	Tomar mediciones.	Controlar espesor.
	Micro poros producidos por gasificación del perfil.	Ninguna.	Precalentar la pieza.
<b>6.2.12 BAJA RESISTENCIA A LA CORROSION</b>	Inadecuada preparación de la superficie.	Poca duración en la cámara salina.	Revisión del sistema de preparación de superficie.
	Falta de curado.	Prueba de polimerización.	Hornear a condiciones correctas de temperatura y tiempo.



## CONCLUSIONES

1. La aplicación de los recubrimientos en polvo en superficies de aluminio, lleva un proceso secuencial ordenado y controlado desde que se tiene el perfil en su forma *mill finish* hasta su acabado final.
2. La aplicación del presente trabajo de graduación, en la práctica, conducirá a evitar pérdidas dentro de la empresa de perfiles de aluminio, tanto económicas, como pérdidas de potencial humano debido a que su contenido involucra las buenas prácticas de manufactura en la industria metal-mecánica.
3. Los procesos de pintura industrial en serie se complementan con controles de calidad durante todo el proceso de producción para obtener todas las características que ofrecen los recubrimientos en polvo como brillantes, adherencia, color, espesor, textura, resistencia a la corrosión, resistencia al impacto y a la radiación solar.
4. En general, para lograr un buen acabado en superficies metálicas el proceso de producción debe incluir, como mínimo, la etapa de limpieza de acuerdo al material a limpiar y al grado de limpieza necesaria, la etapa de preparación de superficie en este caso capa de adherencia, la etapa de aplicación del recubrimiento en polvo y por último la etapa de curado.
5. Los costos principales de una pintura industrial dentro de un proceso de producción en serie, no se deben a las pinturas o recubrimientos mismos, sino a la aplicación adecuada y a la correcta preparación de la superficie para obtener así un producto de alta calidad.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario un minucioso análisis de la superficie a recubrir antes de seleccionar el tipo de pintura adecuada, consultar manuales de aplicación y equipos existentes en el mercado para aplicar el tipo específico de recubrimiento. Así como un cuidadoso análisis de las condiciones ambientales, a las cuales estará expuesta dicha superficie, las condiciones de servicio, a las cuales será sometida la misma, debido a que los problemas y fallas encontrados en este medio se deben, básicamente, a errores de aplicación, mala preparación de la superficie y, rara vez, a errores propios del recubrimiento.
2. Estructurar un plan de seguridad industrial adecuado y acorde a las necesidades en la producción y proveer de los equipos de protección adecuados a los operarios, así como velar porque el reglamento de seguridad se cumpla en todas las áreas de producción.
3. Anticipar o investigar a que tipo de trabajo serán sometidas las piezas o perfiles pintados, con el fin de asegurar su calidad y duración del esmalte.
4. Aterrizar, físicamente, todos los equipos de producción con la finalidad de brindarle la protección necesaria al operario y evitar contratiempos en la producción.
5. Verificar con el proveedor de los recubrimientos que estos causen el menor daño posible al ambiente y si se cumplen con las normas de seguridad a nivel mundial.



## BIBLIOGRAFÍA

1. DUBEEL, H. **Manual del constructor de maquinas**, Barcelona Madrid: Editorial Labor, S.A.
2. KEENAN, Charles W. **Química General Universitaria**, México: Compañía editorial Continental, S.A.
3. **MANUAL de sugerencias para la aplicación de la pintura en polvo**, servicio técnico, Vitraccoat Pinturas en polvo, S.A. de CV.
4. **MANUAL de aseguramiento de calidad**, directrices para el aluminio destinado a la arquitectura, Qualicoat enero del 2000.
5. **SEMINARIO DE CAPACITACION, Mecánica de la limpieza básica y durante el proceso**, Oakite Productos, Inc. Http: //www.oakite.com.

## **ANEXOS**

**LOCALIZACIÓN FÍSICA DE LA PLANTA ALUMINIOS INDUSTRIALES S.A.**

