

93  
2 es.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANALISIS Y SELECCION DE UNA CABINA-HORNO  
DE PINTURA. EL CASO DE UNA EMPRESA  
DE REPINTADO AUTOMOTRIZ.**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
JUAN JOAQUIN LANDT VAZQUEZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. ADRIAN ESPINOSA BAUTISTA

MEXICO, D. F.

JUNIO 1998.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

260840



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*A mis padres y mi hermano por  
su amor, apoyo y comprensión*

*A mi novia Iohana por ser mi  
compañera incondicional*

*A mi Universidad y a los maestros  
de la Facultad de Ingeniería*

*Al Ing. Alberto Lenz K. y a su  
empresa Autos Clásicos y Deportivos  
por su apoyo a lo largo de mi carrera*

# INDICE

	Página
<b>OBJETIVOS</b> .....	1
<b>INTRODUCCION</b> .....	2
<b>ANTECEDENTES</b> .....	6
<b>CAPITULO 1 La pintura automotriz</b> .....	11
1.1 Conceptos fundamentales .....	11
1.2 El secado de la pintura .....	15
1.3 Sistemas de repintado automotriz, sus materiales y aplicaciones .....	22
<b>CAPITULO 2 Cabinas de aplicación de pintura</b> .....	34
2.1 Características y funcionamiento .....	34
2.2 Normas referentes a cabinas y hornos para repintado automotriz .....	51
<b>CAPITULO 3 Evaluación del proyecto de inversión</b> .....	61
3.1 Introducción .....	61
3.2 Análisis de mercado .....	61
3.3 Análisis técnico .....	72
3.4 Análisis económico .....	77
<b>CONCLUSIONES</b> .....	85
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	87

# OBJETIVOS

La finalidad básica de esta tesis es la de evaluar el proyecto de inversión de una empresa de repintado automotriz para la adquisición de una cabina de pintura. Esta evaluación se realizará aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera y consistirá en analizar diversas alternativas, seleccionando la mejor de ellas, para hacer frente a los problemas técnicos y económicos de la empresa. Es decir, se plantearán las necesidades de la empresa, las condiciones actuales de operación y los problemas en los acabados de la pintura, para poder determinar cuál de las opciones es la más viable y rentable.

Esta evaluación comprende el estudio de los diversos tipos y sistemas de pintura existentes, así como la descripción del procedimiento general para el reacabado de un vehículo. A su vez, se explica el funcionamiento de los distintos tipos de cabinas de repintado para la pulverización y el curado de la pintura automotriz.

Una vez expuestos los antecedentes y recabada la información necesaria se pretende encontrar la mejor solución a las necesidades de la compañía, para asignar en forma racional los escasos recursos a la alternativa que resulte ser más eficiente.

# INTRODUCCION

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema que tiende a resolver una necesidad entre muchas otras. Puede haber diferentes ideas, inversiones de diversos montos, tecnologías y metodologías con diversos enfoques, pero todas ellas estarán destinadas a resolver las necesidades del ser humano. Un proyecto de inversión se puede describir como un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano a la vez que dividendos atractivos al capital. Por lo tanto, la evaluación de un proyecto de inversión tiene por objeto conocer su rentabilidad económica, de tal manera que asegure resolver una necesidad en forma eficiente, segura y rentable. Sólo encontrando la mejor alternativa será costeable para la empresa asignar los escasos recursos económicos de que dispone. Una inversión inteligente requiere de una base sólida que la justifique. Dicha base es precisamente un proyecto bien estructurado y evaluado que indique la pauta que debe seguirse. De ahí se deriva la necesidad de elaborar los proyectos, ya sea para ampliar instalaciones de una industria, adquirir nueva tecnología, cubrir un vacío en el mercado, sustituir importaciones, lanzar un nuevo producto , etc.

Si un proyecto de inversión privada (lucrativo) se diera a evaluar a dos grupos distintos, es seguro que sus resultados no serían iguales. Esto se debe a que conforme avanza el estudio, las alternativas a seleccionar son múltiples en dimensión, capacidad, tipo de tecnología que se emplee, organización , etc. En el análisis y la evaluación de ambos grupos se obtendrían datos, se emitirían opiniones, juicios de valor, prioridades muy variadas, que harían diferir la decisión final. Esto lleva ineludiblemente a quien tome la decisión final, a la necesidad de contar con un patrón o modelo de comparación general que le permita discernir cuál de los dos grupos se apega más a lo razonable, lo confiable y seguro. Pudiera darse que existiesen diferentes criterios de evaluación, aún de acuerdo con el objetivo general del proyecto. La clara definición de cuál es el objetivo que se persigue con la evaluación, constituye un elemento clave para la correcta selección del criterio evaluativo. Del criterio adoptado depende en gran medida el resultado de la evaluación.

El objetivo principal no es necesariamente obtener el mayor rendimiento sobre la inversión. En tiempos de crisis, el objetivo principal puede ser simplemente que la empresa sobreviva, mantener el mismo segmento del mercado o diversificar la producción, aunque no se aumente el rendimiento sobre el capital. Por tanto, la realidad económica y política de una empresa privada, marcará los criterios que se seguirán para realizar la evaluación adecuada, independientemente de la metodología empleada. Los objetivos y los criterios adoptados son, por tanto, la parte fundamental de la evaluación de un proyecto.

Como se mencionó anteriormente los proyectos surgen de las necesidades individuales de una persona o de una empresa. Son ellos los que importan, son sus necesidades las que deben satisfacerse a través de una adecuada asignación de los recursos.

La idea de desarrollar la presente tesis surgió a partir de la necesidad que existe por parte de una empresa de repintado automotriz, de adquirir el equipo adecuado que le permita resolver el problema de contaminación del aire, utilizado en la fase de aplicación de pintura a sus vehículos. Esta empresa se dedica principalmente a fabricar carrocerías de fibra de vidrio, las cuales se adaptan al chasis y la mecánica de un VW Sedan. El producto final son réplicas de fibra de vidrio de coches clásicos y deportivos. El proceso de hacer la carrocería, montarla sobre el chasis y hacer las adaptaciones necesarias se realiza manualmente. También se efectúan trabajos de restauración de vehículos antiguos originales, así como la hojalatería y pintura a vehículos comerciales.

Es bien sabido que los diferentes colores y acabados preferidos por los compradores de autos según los avances tecnológicos y las tendencias de la moda, influye de manera considerable en su venta, especialmente si se trata de autos clásicos y deportivos, ya sean originales o réplicas de fibra de vidrio. Como la imagen de perfección, el aspecto de la pintura en un automóvil es lo primero que ve un cliente. Este siempre quedará impresionado con un buen trabajo de pintura, por lo que habrá de buscarse profundidad de imagen, riqueza en la apariencia, brillo y resplandor.

De ahí la necesidad de esta empresa de encontrar la mejor alternativa de compra de equipo que le permita, en su proceso de pintado, lograr acabados semejantes a los originales, de muy buena calidad, reducir el tiempo de aplicación de las pinturas y hacer más eficiente el proceso de pintado, eliminando reparaciones posteriores.

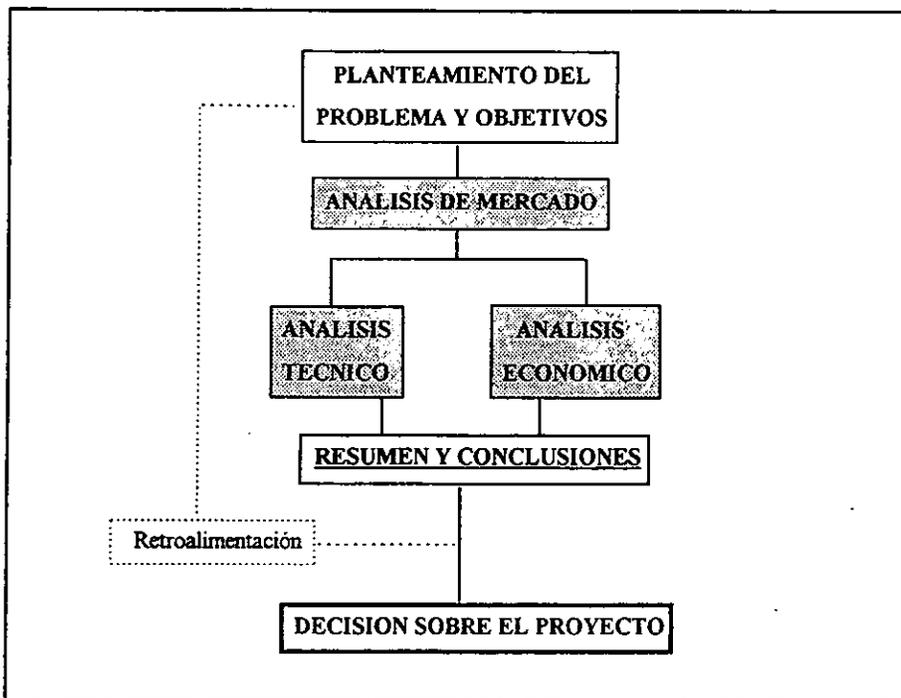
Paralelamente a la evolución de las pinturas automotrices se han desarrollado nuevos sistemas para su aplicación tanto en planta (equipo original) como para repintado automotriz. Las llamadas cabinas-horno forman parte de este desarrollo mejorando la calidad, tiempo de aplicación y protección al medio ambiente. Hoy en día es indispensable contar con este equipo si se quieren obtener acabados de gran calidad.

Existen diversas opciones en pinturas, sistemas de pintado y equipo de aplicación. La empresa en cuestión ha decidido invertir en una cabina-horno, para lo cual es necesario, primero, conocer los tipos de pinturas automotrices, identificar las cabinas de aplicación de pintura su clasificación y funcionamiento, para después llevar a cabo el análisis y la evaluación de las diversas alternativas de compra.

El primer capítulo de esta tesis comprende una síntesis de los distintos tipos de pinturas automotrices que se utilizan en el mercado, sus componentes básicos, así como los factores que intervienen para su aplicación. Se describen las etapas del procedimiento completo para el buen reacabado y repintado de un vehículo, los materiales y técnicas de los sistemas de repintado que se utilizan actualmente. Es fundamental conocer los componentes, las características del acabado y los factores de aplicación de las pinturas automotrices, para entender las funciones de una cabina-horno en el repintado automotriz.

En el segundo capítulo se definen las cabinas-horno de pintura, su clasificación, diferencias, componentes y características. Se hace una comparación de las ventajas y desventajas que ofrece cada tipo, por medio de un análisis y un diagrama de su funcionamiento. En este capítulo se muestra la investigación realizada sobre Normas Oficiales que en México regulan su construcción, operación y límites permitidos de emisión de compuestos contaminantes expulsados al medio ambiente. De esta manera, se contará con más información para efectuar una correcta evaluación y un análisis objetivo.

En el capítulo tres se desarrolla la evaluación del proyecto de inversión, que se compone de tres partes principales. En cada una se aplica una metodología con técnicas de análisis. El siguiente diagrama muestra la estructura general de la evaluación:



La primera parte es el análisis de mercado, en donde se presentan diversas alternativas de marcas y modelos de cabinas para repintado automotriz.

A continuación se desarrolla el análisis técnico, el cual consta de la evaluación de las cabinas presentadas en el estudio de mercado, clasificándolas de acuerdo a los criterios de selección definidos a partir de las condiciones y problemas detectados en la empresa. Por medio de una matriz de decisión se determina cuál o cuáles son las mejores opciones, para adaptarse y responder a los requerimientos de la compañía.

El análisis económico es un estudio de diversas alternativas para conocer su rentabilidad, utilizando ciertos métodos de análisis de precios, costos de mantenimiento, valor de recuperación, garantía etc. De esta forma se completa la evaluación del proyecto y se tienen elementos tanto técnicos como económicos suficientes, para proponer la mejor alternativa a la necesidad de inversión de equipo.

# ANTECEDENTES

Es importante conocer el proceso productivo de esta empresa, ya que de ahí se derivan las necesidades de equipo y maquinaria. El proceso de producción para la fabricación de coches réplica de fibra de vidrio y para la reparación de coches comerciales, se muestra en el diagrama 1:

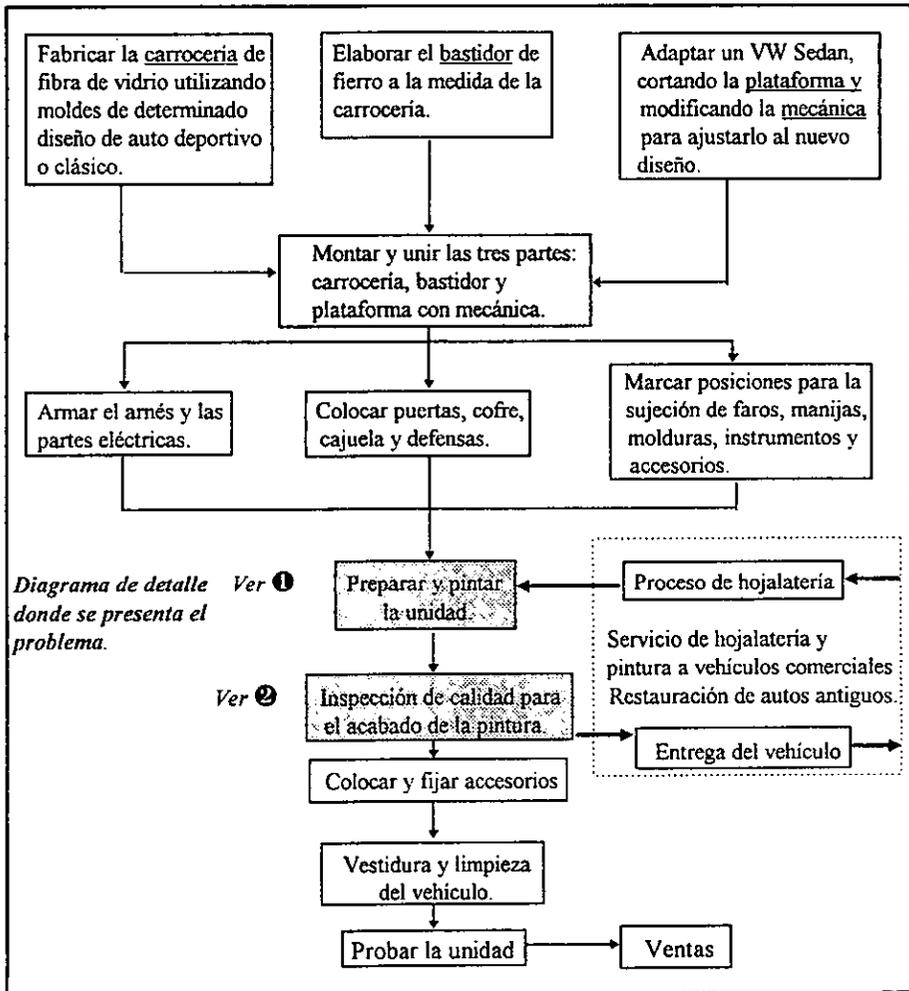


Diagrama 1. De fases de fabricación.

El diagrama 2 muestra a detalle las operaciones de la fase de Preparación y Pintado: ❶

Sistema de pintura utilizado ➔ Laca Acrilica Bicapa / Esmalte de poliuretano bicapa  
 Marca ➔ Dupont

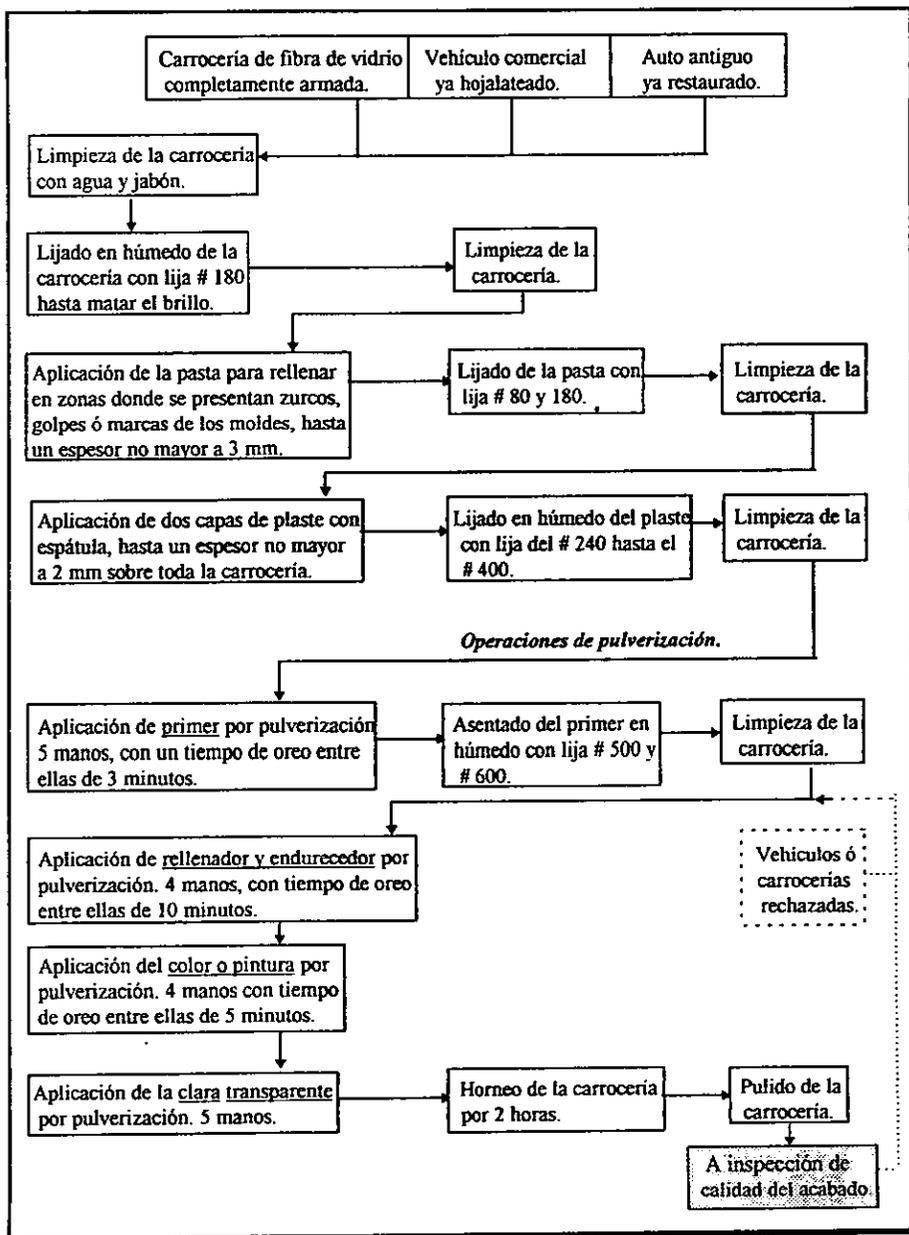


Diagrama 2. De detalle de las operaciones de preparación y pintado.

② Fase de inspección de calidad en los acabados.

Como se observa en el diagrama 3, la inspección de calidad en los acabados de la pintura es la siguiente fase del proceso de producción. En ella se detectan los defectos y las fallas en la carrocería de cada vehículo, por medio de una inspección visual. En reacabados automotrices es difícil medir algunas características como son el brillo, la profundidad de imagen, la riqueza en la apariencia y la continuidad del color. Sin embargo, es posible establecer un patrón de referencia comparando los acabados de repintado con los acabados originales. En esta empresa, queda a juicio del encargado de control de calidad y a su propia experiencia, determinar si el acabado de un coche es el adecuado. De esta forma, al finalizar el proceso de pintado se determina qué parte del vehículo es necesario volver a repintar.

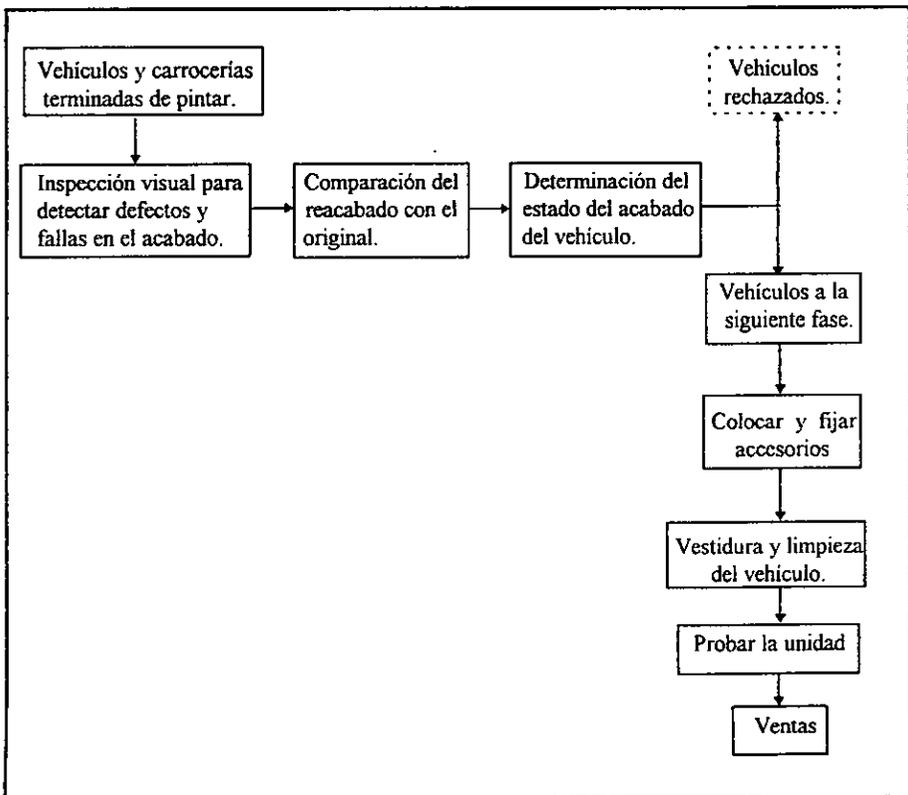


Diagrama 3. De inspección de la calidad en los acabados.

### **Condiciones actuales de operación:**

Las operaciones de pulverizado se realizan dentro de un cuarto adaptado e improvisado, el cual no cumple con las funciones básicas para cabinas de repintado y tampoco con las Normas Oficiales establecidas para estos procesos, es decir :

- No existe ningún sistema de inyección y extracción de aire.
- Por consiguiente no hay filtración de aire, tanto de entrada como de salida.
- El sobrante de pintura pulverizada y los vapores de los solventes no se extraen ni se recolectan fuera del área de trabajo, en sitios libres de peligro.
- La iluminación es por medio de focos incandescentes, los cuales no están aislados de los vapores de los solventes.
- El calentamiento para la operación de horneado se realiza deficientemente con lámparas incandescentes que no logran alcanzar los 70 °C y que no se encuentran aisladas de los vapores.
- El material del cuarto es de ladrillo y cemento, lo que dificulta su limpieza.

### **Problemas existentes:**

#### De defectos y fallas en los acabados:

La fabricación manual de carrocerías con fibra de vidrio implica inevitablemente que se genere contaminación. El preparar, cortar, pulir y rebabear este material, produce polvo y partículas que vuelan con facilidad, llegando hasta el área de pintado e impregnándose sobre los sustratos recién pintados. Esta contaminación, aunada a la del medio ambiente, afecta directamente todas las operaciones de pulverizado. La falta de un sistema de inyección y extracción que regule el flujo y la velocidad de aire, y de filtros que limpien el ambiente en el cual se pulveriza la pintura y los demás materiales, provoca los siguientes defectos en el acabado:

- desprendimiento de la capa de pintura por mala adherencia.
- incrustaciones de partículas contaminantes sobre la superficie o en capas inferiores.
- cuarteaduras de la misma pintura.
- el "sistema de horneado" utilizado, al no poder elevar la temperatura hasta 70°C, provoca en los acabados pérdida de brillo.

### De salud para los trabajadores:

Las condiciones de operación a las que los pintores se exponen al trabajar con el “equipo” actual o cabina improvisada son grandemente riesgosas para su salud. El aire de repuesto así como el flujo del mismo en las operaciones de pulverizado son escasas si no es que inexistentes. Los cubrebocas que se utilizan resultan insuficientes debido a la gran concentración de polvo, vapores y pintura pulverizada que no se elimina rápida y adecuadamente. El riesgo de una explosión aumenta si, además en el interior del cuarto, se tienen conectadas las lámparas y la instalación eléctrica sin protección de los vapores de los solventes.

### La ineficiencia en la operación de pintado de carrocerías:

La empresa utiliza materiales de buena calidad y cuenta con pintores calificados. Sin embargo, el procedimiento para el reacabado y pintado de sus carrocerías no se realiza correctamente, bajo las condiciones de limpieza, temperatura y seguridad que puede proporcionar una cabina-horno de pintura. Como resultado y según los datos proporcionados por la compañía, 1 de cada 4 vehículos presenta defectos y fallas graves en el acabado. De manera que, en promedio, un vehículo es vuelto a repintar cada semana, es decir, un 25 % del total de vehículos pintados en un mes.

Dadas las condiciones y problemas que se tienen, la empresa ha decidido invertir en una cabina de pintura con el objeto de incrementar la eficiencia de su proceso de pintado para reducir al mínimo el número de vehículos rechazados.

# CAPITULO 1

## La pintura automotriz

### 1.1 Conceptos fundamentales

Una pintura consiste esencialmente en un pigmento suspendido en un líquido denominado vehículo o filmógeno, que es un material formador de película y ligante. El vehículo puede ser un aceite secante, un barniz o una suspensión de resinas naturales o sintéticas, reducidas en un disolvente volátil orgánico o acuoso. Al aplicar la pintura por medio de la atomización en forma de partículas se forma una película delgada sobre el sustrato y los componentes volátiles del vehículo se evaporan, dejando una mezcla de pigmento y ligante en forma de revestimiento sólido, continuo, delgado y adherente.

Las pinturas se fabrican en base a tres componentes básicos:

1. Pigmento. El objetivo del pigmento, desde el punto de vista decorativo, es proporcionar color, y desde el punto de vista de protección para uso exterior, es el de proteger al vehículo de la degradación por la radiación UV.

2. Vehículo no volátil. El vehículo no volátil o ligante esta constituido en la mayoría de los casos por aceites secantes, resinas o combinaciones de los dos. Su objetivo es proporcionar adhesión a la superficie, actuar como barrera ante la humedad y mantener al pigmento en su sitio.

3. Vehículo volátil. La fracción volátil del vehículo consiste generalmente de disolventes o reductores de hidrocarburos o agua. Se utiliza para disminuir la viscosidad de la composición para facilitar la aplicación. Esta fracción puede variar desde 0 hasta un 200% de la composición original, pero se evapora cuando se aplica y no forma parte de la película seca final.

Los primeros dos componentes, pigmento y vehículo no volátil, secan juntos para formar un revestimiento o película sólida continua. El tiempo requerido para este paso varía dependiendo de la naturaleza del ligante, de factores ambientales como temperatura y humedad y de algunas variables como la distancia de aplicación, viscosidad de la pintura, entre otras.

La luz solar está compuesta por un espectro de colores: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. Estos colores se pueden ver cuando los rayos de luz pasan a través de un medio a otro, como del aire al agua o del aire al vidrio, y es doblada como en un prisma. Los pigmentos tienen la capacidad para absorber partes de luz blanca y reflejar el resto. Si los pigmentos de una pintura absorben los rayos azules y verdes únicamente, el color de la pintura será rojo. Cuando un objeto parece azul a una persona, todos los rayos de luz del espectro son absorbidos excepto el azul, el cual se refleja. Cuando todos los colores del espectro se están reflejando, el color es blanco y cuando todos son absorbidos, el color es negro.

Existen varios tipos de pinturas dentro de los cuales destacan por su aplicación en la industria automotriz dos grupos: Las lacas y los esmaltes. La laca es el término empleado para un determinado tipo de esmalte caracterizado por su composición química hecha a base de nitrocelulosa (nitrato de celulosa) o a base de butirato-acetato de celulosa. Existen también lacas acrílicas con determinadas propiedades físicas como son un alto brillo, una buena retención de color y de brillo y sobretodo un secado rápido. Sin embargo, las lacas requieren de pulido y tienen poca resistencia a los agentes químicos. Por otro lado están los esmaltes que se caracterizan porque al momento de secarse la superficie queda relativamente más dura, más tersa y más brillante, además poseen mayor durabilidad y resistencia al impacto y al medio ambiente.

Más adelante se dará una explicación más amplia sobre sus composiciones, características y aplicaciones.

Además del pigmento y del vehículo, existen otros componentes que forman parte de una pintura automotriz aunque en menores cantidades, pero no por eso menos importantes. Estos son:

1. Agentes de curado. Son resinas especializadas, las cuales son las responsables del proceso de curado (reacción química). Al ser activadas con calor y con el oxígeno de la atmósfera, éstas reaccionan con las otras moléculas de resina formando una red. Este es parte del proceso con el cual la pintura se transforma de pintura líquida a pintura seca, sólida o curada.

2. Catalizadores. Son compuestos químicos, los cuales participan en el mecanismo de curado sin consumir todo el proceso de reacción. Una vez iniciado el proceso de curado de la película de pintura, la presencia del catalizador permite la realización de la

reacción química a bajas temperaturas (250 °F). En la medida en que se agregue más catalizador, la película podrá curarse a menores temperaturas (180 °F).

3. Agentes de control reológico. Son compuestos químicos los cuales alteran o modifican las características de la película de pintura en su estado líquido, en su estado sólido y en sus estados intermedios. Para poder explicar con más detalle estos compuestos primero hay que entender qué es la reología. La reología estudia la deformación de los cuerpos sometidos a fuerzas externas. Al aplicar una fuerza sobre un fluido, éste se deforma irreversiblemente, es decir, fluye y la energía de deformación se disipa en forma de calor, no pudiéndose recuperar la forma inicial al desaparecer la fuerza. La pintura líquida por tanto, obtiene un comportamiento viscoso, concepto que se explicará más ampliamente en la sección 1.2. Por otro lado, los sólidos se deforman elásticamente y la energía de deformación se recupera totalmente cuando la fuerza desaparece, obteniéndose la forma original. Entre los dos extremos, comportamiento elástico y viscoso, cabe un comportamiento intermedio, el comportamiento viscoelástico. Dentro de las pinturas encontramos, para efectos prácticos, los dos tipos de comportamientos: pintura líquida (fluida) comportamiento viscoso y pintura seca (sólida) comportamiento elástico, y también estados intermedios. La reología pretende encontrar la relación funcional entre tres variables: la fuerza aplicada, la deformación obtenida y el tiempo. Los agentes de control reológico son usados para aumentar la resistencia al escurrido de una pintura y para el control del manchado.

4. Absorbedores ultravioleta. Son compuestos químicos, los cuales son sensitivos a la energía solar. Son amortiguadores químicos, los cuales absorben la energía de la luz solar y la liberan de alguna forma, de tal manera que no dañan la película de pintura. Los absorbedores de la energía solar aumentan considerablemente la durabilidad del acabado automotriz.

5. Aditivos para flujo. Son compuestos químicos que alteran las características de flujo de una película de pintura, están presentes en muy bajas concentraciones y algunos de estos son: los ácidos carboxílicos, ésteres del ácido sulfúrico, ácidos sulfúricos, etc.

Cabe aclarar que las pinturas automotrices que se fabrican actualmente se dividen en dos tipos según su destino de aplicación. Las primeras son las del tipo OEM (Original Equipment Matches) o del tipo original, utilizadas únicamente dentro de una planta armadora de vehículos. Las segundas son las del tipo para repintado automotriz. Aunque básicamente son las mismas, la diferencia radica en que las del tipo OEM están

hechas para ser empleadas dentro de una planta armadora bajo condiciones muy estrictas y controladas de aplicación, en forma automatizada a una mayor velocidad y en grandes volúmenes. La situación es diferente en el reacabado automotriz, donde las cantidades de pintura son menores, aplicadas en forma manual y bajo diferentes condiciones tanto de la superficie a pintar como atmosféricas. Dentro de los temas y objetivos de este trabajo se hablará únicamente de las del tipo de repintado automotriz, utilizadas en talleres, empresas y por personas dedicadas a la industria del reacabado automotriz. A través del tiempo ambas líneas han evolucionado paralelamente, cada una diseñada especialmente para ser aplicada bajo diferentes condiciones.

## 1.2 El secado de la pintura

El término secado se refiere a la eliminación del vehículo volátil que forma parte de la pintura en su estado líquido.

Dentro de las pinturas automotrices, el secado puede darse de dos maneras:

1. Por simple evaporación del disolvente en el proceso de aspersión.

El proceso de aspersión o de atomización consiste en la pulverización de la pintura en partículas muy pequeñas mediante una pistola pulverizadora a una presión de aire determinada. Cabe hacer notar que la partícula comienza su secado desde el momento en que abandona la pistola hasta que llega a la superficie.

2. Por medio de una reacción catalítica que se crea con el oxígeno de la atmósfera al penetrar en la película de pintura, iniciándose así el curado de ésta; en esmaltes y lacas catalizadas. En la figura 1 se representan gráficamente los dos métodos de secado de la pintura.

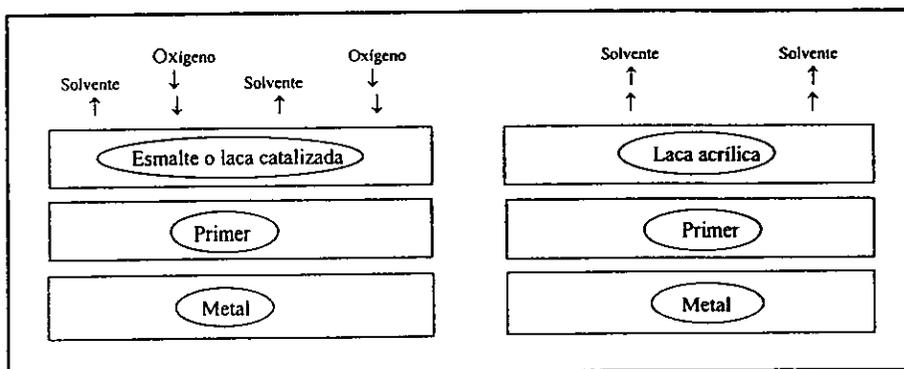


Figura 1. Representación gráfica de los dos métodos de secado de la película de pintura. Por reacción catalítica con el oxígeno y por evaporación del solvente

El secado de la pintura se ve afectado por las siguientes variables:

- diámetro de la partícula
- distancia de aplicación (distancia que recorre la partícula)
- viscosidad y solventación de la pintura
- temperatura de la pintura
- temperatura de la cabina

a) **Diámetro de la partícula**

Una de las variables más importantes a controlar es el tamaño de la partícula atomizada. Es muy importante tomar en cuenta el efecto del tamaño de las partículas de pintura en relación al volumen de solvente liberado por éstas. Cuando el tamaño de partícula es muy grande, la evaporación de solvente en cada una es lenta porque se tiene gran cantidad de éste. Cuando el tamaño de la partícula es muy pequeño se tiene mucha evaporación de solvente ya que el volumen es muy pequeño. Por lo tanto, se necesita un tamaño de partícula promedio para lograr una evaporación adecuada de solvente y obtener un buen acabado final. El tamaño ideal de partícula oscila entre 4.7 y 4.9 micras. El control de su tamaño se regula mediante las boquillas de flujo de aire y de pintura utilizadas en la pistola. Existen tablas que de acuerdo a la presión de aire y a la cantidad y tipo de pintura que se libera en las pistolas, determinan aproximadamente el tamaño de la partícula.

Si se tiene mucho aire de atomización y poco fluido se produce un tamaño de partícula muy pequeño, teniendo como resultado un acabado final reseco (cascara de naranja), debido a la gran evaporación de solvente. Si el flujo de pintura es mayor que el de aire de atomización, se produce una partícula de tamaño muy grande, existiendo entonces poca evaporación de solvente. Esto ocasiona problemas de escurrido de pintura en el acabado final. Es necesario tener la mezcla adecuada de aire y de fluido para lograr el tamaño ideal de partícula. (Ver figuras 2 y 3)

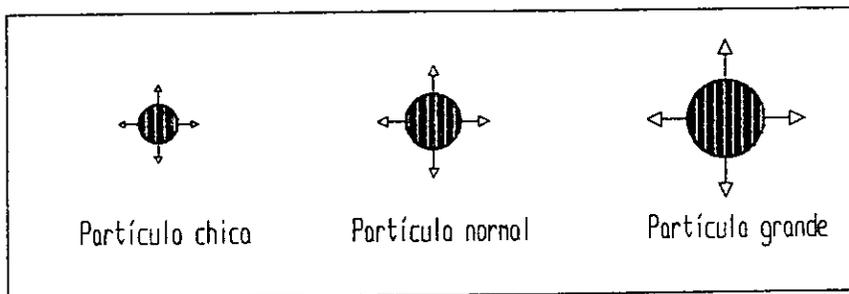


Figura 2. Partículas de pintura pulverizada. Diámetro ideal de 4.7 a 4.9 micras.

**b) Distancia de aplicación.**

La distancia de aplicación entre el sustrato y la pistola, también es un factor importante en el secado de la pintura. Si la distancia de aplicación es muy grande aumentará el tiempo en el cual la partícula evapora solvente y se generará un acabado final reseco. Por el contrario, si la distancia es muy corta habrá poco tiempo de evaporación de solvente y ocasionará un acabado con pintura escurrida. La distancia ideal es de 33 cm  $\pm$  5 cm. (Ver figura 4)

**c) Viscosidad y solventación de la pintura**

La viscosidad es la resistencia que presenta un fluido al movimiento provocado por una fuerza cortante; es su fricción interna. En los líquidos esta resistencia se debe a la cohesión de las moléculas, y como ésta disminuye al aumentar la temperatura, del mismo modo disminuye la viscosidad de esos líquidos. Sus dimensiones son  $(F)(T) / (L^2)$ , es decir, fuerza por tiempo sobre área.

Por lo tanto, para la obtención del adecuado nivel de viscosidad de la pintura hay que tomar en cuenta las siguientes variables, las cuales son funciones de ésta: el tiempo, la temperatura de la pintura y la cantidad de solventes mezclados con la pintura.

En la práctica, la viscosidad se puede expresar en función del tiempo que toma una cantidad conocida de pintura para fluir a través de un orificio de cierto tamaño. Se fabrican varios viscosímetros fáciles de usar. Uno de ellos es la Taza Ford # 4. Esta taza tiene capacidad para 100 cm<sup>3</sup> y tiene un fondo en forma de cono con un orificio de 5/32". La pintura se vierte en este cono, colocando un dedo sobre el orificio. Al momento de quitar el dedo de la parte inferior del cono, se deja fluir la pintura y con un cronómetro se toma el tiempo en segundos que tarda en vaciarse, interrumpiéndose el flujo de pintura. La temperatura de ésta deberá ser aproximadamente de 21 °C. Las pinturas necesitan de una viscosidad específica para su pulverización. Por ejemplo la laca acrílica se pulveriza mejor de 18 a 22 s, el esmalte acrílico entre 15 y 20 s y el de poliuretano entre 20 y 24 s. Un viscosímetro deberá ser parte del equipo del pintor, ya que es de suma importancia medir la cantidad correcta de solventes de acuerdo a las especificaciones del fabricante de pinturas y así lograr un buen secado de la pintura.

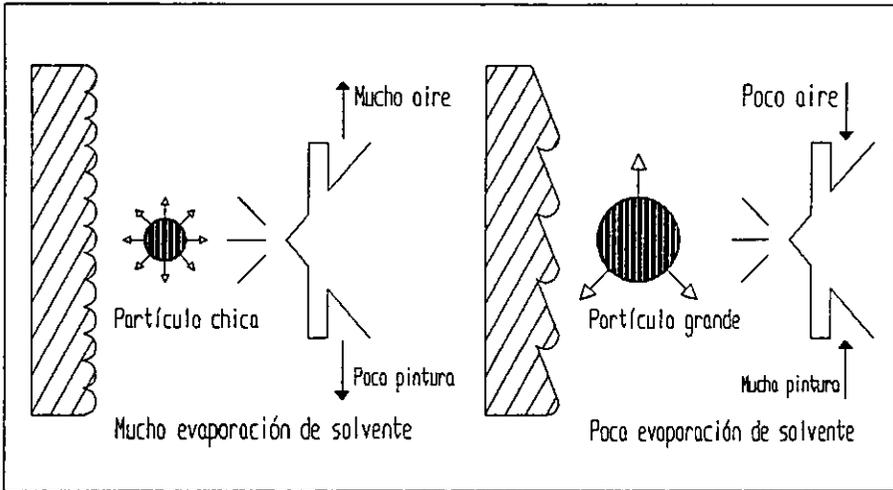


Figura 3. Tamaño de partícula según la cantidad de aire y de pintura liberados  
 Acabado reseco (cáscara de naranja)      Acabado con pintura escurrida

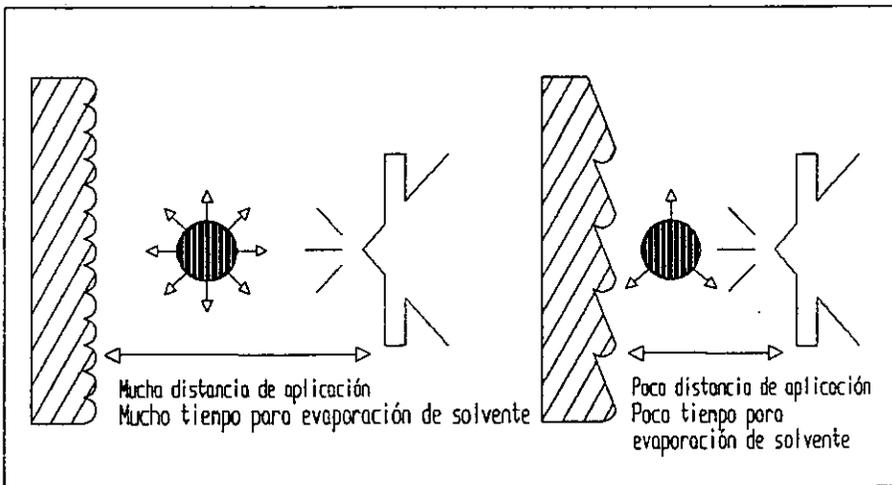


Figura 4. Distancia de aplicación  
 Acabado reseco (cáscara de naranja)      Acabado con pintura escurrida

Los solventes tienen la función de disminuir la viscosidad de la pintura al punto exacto para su pulverización y de disolver varios ingredientes de ésta. Son los compuestos que forman la fracción volátil de la pintura. Son productos que nunca se deberán entremezclar porque están formulados para hacer trabajos específicos. Los reductores para esmaltes y los adelgazadores para lacas son necesarios para la aplicación de la pintura porque dependiendo de su formulación y concentración variará el nivel de viscosidad. No llegan a formar parte de la película de pintura seca, ya que se disipan mediante evaporación. La proporción de disolvente y la de evaporación de los solventes juegan un papel importante en la durabilidad, apariencia y aplicación de la película de pintura. Los solventes fuertes son más costosos de producir que los débiles. Esto mismo hace que los fabricantes tiendan a producir solventes de varias calidades para ser vendidos a diferentes precios. En muchas ocasiones y con el afán de ahorrarse unos pocos pesos, en los talleres de re acabado automotriz, se emplean solventes de mala calidad o de formulación deficiente, quedando el pintor a merced de las variaciones de temperatura y humedad. Si las condiciones no son perfectas, el solvente débil y lento será el último en secarse de la subcapa. Esto hará que la subcapa sea expulsada de la solución y la adhesión sea muy pobre. Las formulaciones deficientes también pueden ocasionar cualquiera de los siguientes defectos: coagulación, granosidad, falta de brillo, pulverizado, rajado o partido, tendencia al color blanco o grisáceo, ampollado y agujeros pequeños, mala propiedad de asentamiento y mala igualación de color. Sólo con una mezcla equilibrada de solventes fuertes (rápidos) y débiles (lentos), se tendrá la capacidad para proporcionar la medida de viscosidad necesaria para el buen secado de la pintura. Cuando la viscosidad es muy alta habrá poca evaporación de solvente y cuando es muy baja habrá evaporación en exceso. En ambos casos se obtendrá un acabado final con pintura escurrida. **(Ver figura 5)**

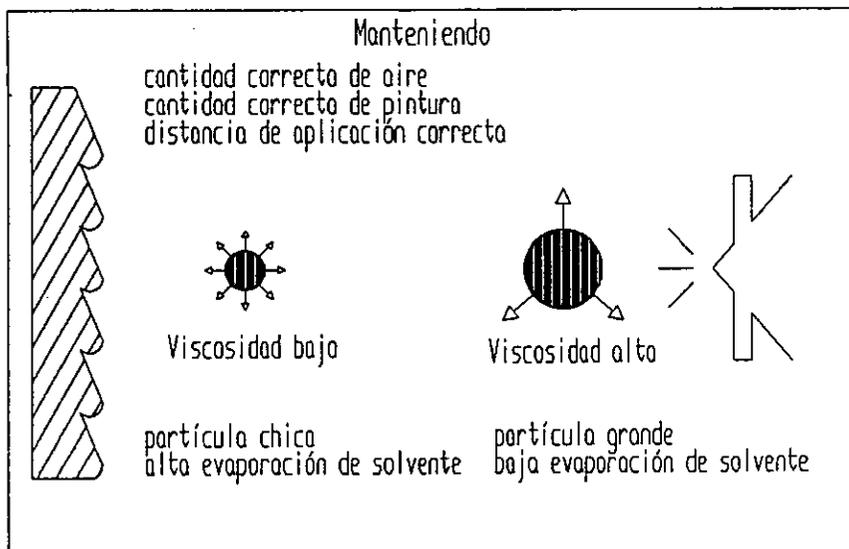


Figura 5. Viscosidad de la pintura

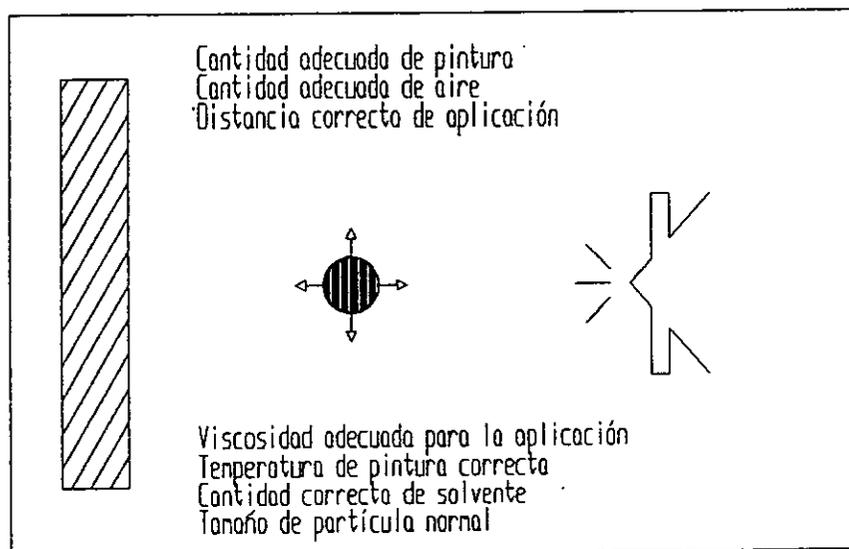


Figura 6. Acabado de pintura correcto

**d) Temperatura de la pintura**

La importancia de la temperatura de la pintura al momento de su aplicación para su secado, radica en el efecto que tiene sobre la viscosidad y la evaporación de solventes. Como se mencionó ésta deberá ser alrededor de los 21°C.

**e) Temperatura de la cabina.**

La temperatura de la cabina es igualmente un factor relevante, si se quieren obtener acabados de gran calidad. Durante el ciclo de aplicación, ésta deberá mantenerse a 20°C y durante el ciclo de curado o secado a 70°C por aproximadamente 20 minutos.

### **1.3 Sistemas de repintado automotriz, sus materiales y aplicaciones.**

Dentro de la industria del repintado automotriz están incluidos, todos los talleres, agencias y personas que se dedican al reacondicionamiento de automóviles y desde luego también todas las empresas que surten de todo tipo de materiales, herramientas y equipo en general a los anteriores. Se le llama sistema de repintado automotriz a las técnicas, procedimientos y conjunto de elementos (productos y compuestos químicos), utilizados para el repintado de un vehículo. Existen varios sistemas que han evolucionado con el objetivo de aumentar la calidad en los acabados y disminuir los compuestos dañinos expulsados al medio ambiente. Un sistema de repintado automotriz consta de la aplicación de varios productos cada uno con un objetivo específico, sobre un sustrato de lámina, plástico o algún material compuesto. Estos productos, al ser aplicados, forman varias capas, y dependiendo de los materiales y forma en que se apliquen forman un determinado sistema de repintado automotriz. Entre éstos se encuentran los sistemas monocapa y los bicapa. Cada producto se formula para un propósito específico y debe usarse y manejarse de tal manera que se adapte en forma apropiada al sistema completo de reacabado.

Cuando tenemos un vehículo que ha sufrido un deterioro en la pintura por algún choque, rayadura o por el simple paso del tiempo, se debe seguir el procedimiento completo de reacabado para lograr una óptima reparación o restauración. Este procedimiento es el mismo para carrocerías de fibra de vidrio, las cuales salen del molde con defectos en su superficie. Son cinco etapas que a continuación se describen:

1. Examen y pruebas de las superficies.
2. Preparación y acondicionamiento de la superficie.
3. Selección y preparación de materiales.
4. Aplicación de los productos.
5. Toque final de acabado.

1. Examen y pruebas de las superficies. Debido a los cambios en tipos de materiales, es necesario asistir a seminarios y leer manuales técnicos para mantenerse actualizado. Cuando un vehículo entra al taller de pintura, la condición y tipo de acabado o material se debe examinar con mucha atención. Hay ocasiones en que la nueva capa de pintura se puede aplicar sobre la original del vehículo, pudiendo en estos casos, ahorrar tiempo y dinero. Esta decisión la tomará el pintor calificado. Es importante recordar que aunque contemos con la mejor pintura existente, ésta no nos dará un resultado satisfactorio si la superficie sobre la cual se aplica no está preparada adecuadamente.

Una superficie gastada pero en buen estado es aquella que tiene la pintura desteñida, sin color, pequeñas sumidas por piedras y rayones. Estos vehículos son generalmente repintados completamente o reparados parcialmente si el daño no es demasiado severo. Si se va a pintar completamente quiere decir que la pintura está sana, que ha cumplido con el tiempo de vida estimado y que sólo necesita el mínimo de trabajo y de pintura para dejar una superficie brillante; ésto se le conoce como capa de color.

Una superficie en mal estado puede ser aquella que tiene la pintura rajada debido a que la película es demasiado dura o tiene abolladuras, rayaduras o herrumbre profundo. También es posible que las capas anteriores hayan sido aplicadas incorrectamente o con materiales defectuosos. En estos casos la carrocería se debe reparar y la pintura afectada se debe remover completamente hasta ver la superficie metálica.

La apariencia y durabilidad de la nueva pintura depende de la calidad del trabajo hecho sobre las superficies de pintura vieja. Primero, la superficie se debe limpiar para eliminar contaminantes y así poder determinar si el acabado viejo es laca o esmalte. Para averiguar si es esmalte acrílico o de poliuretano o bien laca de nitrocelulosa o acrílica o si es monocapa o bicapa, se moja un trapo con percloroetileno y se frota ligeramente sobre la superficie. Si algo de color sale del acabado antiguo, es de laca acrílica; si sale en mayor cantidad, es laca de nitrocelulosa y si nada de color sale, entonces es esmalte.

2. Preparación y acondicionamiento de las superficies. La preparación de las superficies, es un paso muy importante pues éste es la base para lograr un trabajo de calidad. Un pintor no puede esperar que la nueva capa de pintura corrija los defectos, la

pintura es para embellecer y proteger, no para corregir defectos. Esta preparación consiste simplemente en eliminar de la superficie toda clase de contaminantes como son grasas, aceites, ceras, silicones y polvo. Se debe lavar el vehículo en la sombra con agua y un detergente suave, dejarse secar y aplicársele algún desengrasante o desencerador con un trapo limpio. Aunque este paso parezca de sobra, si se hace adecuadamente, se evitara los llamados "ojos de pescado".

Al preparar una superficie en mal estado, un paso clave es medir el espesor de la película de pintura. Conocer el espesor de la película de pintura es muy importante, ya que ¿de qué otro modo se puede hacer un buen presupuesto, sino midiendo el espesor de la película? La aplicación de capas superiores excesivamente gruesas, puede tener como resultado un arrugamiento y rajado de la nueva película de pintura además de poco brillo, mal secado o manchado y muchos otros defectos. Además de que algunas de las propiedades de la película dependen del espesor, como son la adherencia, la dureza, la resistencia a la corrosión y al impacto. Si es demasiado gruesa, se requerirá dinero adicional para cubrir el costo de quitarle la pintura al vehículo antes de repintarlo. Existen dos métodos para obtener el espesor de la película.

Dentro de los métodos destructivos encontramos el método Rossmann descrito en las normas ASTM D 1005 e ISO 2808. Este método determina el espesor de la película por diferencia de alturas entre la superficie de la pintura y un punto descubierto del metal. Dentro de los métodos no destructivos encontramos el método de inducción magnética. Este método se encuentra descrito en las normas ASTM B 499 e ISO 2178 y se basa en la medición de la variación de flujo magnético inducido por medio de una sonda magnética o imán sobre un material ferromagnético, en este caso la superficie metálica del vehículo a través de un material no magnético que es la pintura. Este es el método más común y menos costoso. Existen otros métodos tanto destructivos como no destructivos como son el de corrientes inducidas y el de ultrasonidos.

Las ventajas de utilizar uno no destructivo son el no destruir la película de pintura y el poder realizar una valoración estadística, ya que podemos tomar mayor cantidad de muestras.

El siguiente paso a seguir dentro de la preparación de la superficie es el de lijar la carrocería con el fin de alisar bien la superficie, reducir el espesor de película y remover la superficie dura de pintura. El lijado se hace ya sea en húmedo o en seco, lo que depende de los métodos empleados por el taller. Si se lija en húmedo se deberá

comenzar por la parte más alta del vehículo y conforme se lija cada parte, ésta se deberá ir lavando. El utilizar bastante agua ayuda a eliminar todos los residuos, a limpiar el papel lija y a lubricarla para que se deslice más fácilmente. Todo el brillo se debe remover del acabado viejo de manera que la superficie tenga poder adhesivo. Si el lijado es en seco, no debe emplearse aire a presión a menos que sea dentro de la cabina. Si se trata de eliminar el polvo de esta manera, éste se asentará en cualquier superficie del taller, contaminándolo, y si se inhala resulta nocivo para la salud. Existen lijadoras de disco o lijadora-vibradora que facilitan este trabajo, aunque habrá zonas en donde el trabajo se tenga que hacer a mano. Los rasguños o marcas de lija son probablemente los más molestos en un taller de pintura. Muchos trabajos de pintura se echan a perder si se presentan estas marcas. Desafortunadamente, no aparecen hasta después de que se aplica la capa de color, y para entonces suele ser demasiado tarde para corregirlos. Es requisito indispensable dejar un metal liso o un sustrato de primer o imprimador liso. Más vale ocupar un poco más de tiempo en esta operación y hacerlo bien, que después sufrir las consecuencias de un trabajo mal terminado. El limado del hojalatero sin cuidado o la carga gradual demasiado fuerte sobre la superficie dejarán surcos que son difíciles de rellenar. La mejor práctica es lijar la superficie con disco o lija gruesa y acabarlos con finas.

Una segunda opción para eliminar la capa de pintura dañada es el uso de un removedor de pintura. Antes de emplear el uso de este producto se deberán proteger con cinta o "masking tape" todas las juntas, molduras y superficies donde la pintura no se encuentra dañada. Encontramos varias medidas de esta cinta las cuales van desde 1/8" hasta 2" o 3" de ancho. Esto evita que el removedor de pintura se escurra dentro de las juntas o debajo de las molduras. El removedor puede ser aplicado con una brocha y en una sola dirección para evitar la interrupción de la película y que éste atrape aire. Se debe aplicar una capa bastante gruesa para que permanezca húmeda mientras realiza su tarea, así formara un sello sobre la misma capa de removedor, manteniendo los ingredientes químicos activos contra la superficie pintada y permitiéndoles penetrar y disolver la película de pintura. Deberá permanecer sobre la superficie por lo menos 15 minutos, lo que dependerá de la temperatura. Se logran mejores resultados a una temperatura alrededor de 20° C y lejos de los rayos del sol. Algunos removedores de pintura han sido preparados para eliminar únicamente la capa de pintura, sin dañar al imprimador o "primer". No se deberá usar removedor de pintura sobre material plástico,

aluminio anodizado, partes cromadas, fibra de vidrio o partes flexibles. Las manos se deberán proteger con guantes y los ojos con gafas, así como un cubrebocas adecuado que aunque la mayoría de estos materiales no son cáusticos, algunos si. Se deben aplicar en lugares bien ventilados. Sin embargo, el uso del removedor de pintura no evita el proceso de lijado, simplemente facilita y agiliza la operación de remoción de pintura.

Existe otro método para la eliminación de la capa vieja de pintura. Este es por medio de soplado con arena o "sandblasting". Es el método más eficiente de quitar herrumbre, pintura y contaminantes de las superficies metálicas, aun en las áreas que no son fácilmente accesibles con los métodos normales. Se usa extensamente y funciona de la siguiente manera: se utiliza básicamente una sopladora de aire a presión, un depósito hermético para la arena y los abrasivos, manguera, y una pistola. La arena y los abrasivos al golpear contra la superficie con gran fuerza cortan, separan y remueven la pintura y el herrumbre. Es importante que el operario use una capucha y capa con suministro de aire libre de polvo y arena. Ningún otro tipo de respiradores detiene este fino polvo mas que los establecidos por los reglamentos de seguridad y de salud. Se debe de advertir a los operarios que la inhalación de este polvo puede lesionar los pulmones. Esta operación se deberá realizar en una sección especial del taller, para no contaminar las otras partes del mismo. Se debe de tener precaución en no dañar la protección contra corrosión del metal o primer hecho originalmente en la fábrica, ya que eso no puede duplicarse con la misma calidad en el taller. Es decir, que de ser posible, la película original no deberá eliminarse hasta el metal desnudo, sobre todo si el imprimador o primer se aplicó por electrodeposición. Sólo en casos de oxidación, imprimador rajado o reparación de carrocería por golpes o abolladuras, se requerirá la eliminación de la película hasta el metal. El método de soplado con arena mejora grandemente la resistencia del vehiculo contra los efectos de corrosión ya que la arena limpia el metal de manera más efectiva que con otros métodos.

En los casos en que sea necesario dejar el metal desnudo éste deberá tratarse con un acondicionador para metales. Este producto es básicamente un neutralizador del óxido que se forma sobre el metal durante el tiempo que tardamos en aplicar el primer. Esta fina capa de óxido es causada por la humedad del ambiente. Una vez aplicado el acondicionador la superficie deberá lavarse con agua la y dejarse secar. Este producto protege al metal sólo durante un corto lapso de tiempo, alrededor de un día. Por consiguiente, es importante que apliquemos lo mas pronto posible la capa de primer.

La capa de color normalmente se liga a una subcapa mencionada anteriormente, llamada imprimador o primer. Los primers están preparados de tal forma que se adhieren a muchas y diferentes superficies, como acero, acero galvanizado, aluminio, fibra de vidrio y materiales plásticos. Los primers se aplican sobre superficies desnudas, es decir directamente sobre el metal para lograr una mejor adherencia, aunque en ocasiones se pueden aplicar sobre la capa vieja de pintura, ya que éstos además de evitar la corrosión son promotores de adherencia. Los imprimadores se aplican en una capa delgada y algunos no requieren de lijado. Son de un material delgado, lo que les permite fluir dentro de ranuras del metal, causadas por el disco de esmeril o por las lijas; fluye dentro de estas cavidades cuando se aplica fresco y sigue los contornos de las huellas de la arena y las irregularidades de la superficie. En carrocerías nuevas, la mayoría de los fabricantes usan previo a la aplicación del primer un tratamiento con fosfato de cinc. Los del tipo OEM se hornean a una temperatura de entre 176 y 205 °C. En sistemas de repintado automotriz también se aplica una capa de fosfato de cinc. Existen varios tipos de primers entre los cuales se encuentran los de cromato de cinc, que además sirve como aislador entre metales para evitar la corrosión rápida por electrólisis. También existen los epóxicos, que se recomiendan para capas superiores de uretano y de poliuretano. Existe también el primer sellador de esmalte alquidálico que es para todo uso. Se usa también como sellador sobre acabados viejos para reducir al mínimo los rayones de arena, pequeñas abolladuras u opacado de la capa superior. Uno muy usado es el primer-alisador de nitrocelulosa, porque rellena bien y seca rápido. Sin embargo, hay ocasiones en donde no se requiere o no se puede usar un primer-alisador. Los rellenadores o alisadores tienen un alto contenido de sólidos, se formulan de tal modo que al rociarse sobre una superficie forman rápidamente el espesor de la película, engrosando el espesor de ésta. En cambio los primers no se formulan con tan alto contenido de sólidos. Para lograr un trabajo terso, es necesario comenzar con un imprimador para una buena superficie y un alisador para rellenar las superficies ásperas.

3. Selección y preparación de materiales. Una vez que se tenga la superficie lista y preparada se procede a la selección y preparación de los materiales. Es importante que desde el principio se tenga claro qué tipo de pintura se va a aplicar al vehículo. En general, las bases son las mismas para la mayoría de los sistemas, pero existen algunas variantes. Por ejemplo, si la pintura va a ser de un color claro es conveniente seleccionar un primer de color claro como el gris, y por el contrario si el color será oscuro, se

recomienda el uso de un primer café intenso. Esto se debe a las variantes de tono del color que puedan surgir en el acabado final. Como se acaba de mencionar, el primer paso es la selección de un primer o de un primer-alisador y en algunas ocasiones de un sellador. Los selladores están hechos a partir de diversos tipos de resinas, epóxicas, alquídicas, de laca acrílica y de uretano. El propósito de los selladores es proporcionar adhesión entre la primera y las últimas capas de la superficie, también el de actuar como una barrera para evitar o retardar que los solventes penetren a través del acabado viejo, lo cual podría causar disminución de brillo de la nueva película de pintura o de aparición de rayones de lijado, al quedar atrapado dentro de ésta.

Cuando existen surcos o rayones demasiado profundos para poderse eliminar con un primer-alisador o con un sellador, la solución es el uso de masillas; es decir de las llamadas pastas y plastes. Existen las llamadas de relleno, cuya aplicación se hace por medio de una espátula y en varias capas delgadas, dejando un tiempo de secado entre una y otra de 15 a 20 minutos. Otro tipo es la de poliéster, la cual es muy suave para su aplicación. Se puede aplicar sobre películas viejas de pintura o primers-alisadores o películas de pintura lijada, así como sobre metal limpio; teniendo en todas ellas una excelente adhesión y sin contracciones. Al igual que todas las pasta de rellenar, la de poliéster tiene sus límites en cuanto al espesor de la capa; no se puede aplicar una capa excesivamente gruesa ya que ésta se puede agrietar.

Dentro de los sistemas de repintado automotriz se encuentran los aditivos para capa superior. Los hay para laca y para esmalte. Los endurecedores de uretano se agregan a los esmaltes para dar un brillo más durable a la película de pintura, haciéndola resistente a rayaduras y a que se limpie fácilmente; proporcionan resistencia a las sustancias químicas y a abolladuras causadas por piedras y fragmentación. Este tipo de aditivos contienen isocianatos que son considerados como peligrosos para la salud. Pueden causar irritación en los pulmones y reacciones alérgicas, por lo que siempre se deberán de aplicar en lugares bien ventilados, con una mascarilla apropiada y por una persona que no sea alérgica a estos productos. Otros aditivos son los llamados "Flex" o de pintura elastométrica. Algunos se preparan para usarse sólo con laca acrílica y otros con todos los sistemas de pintado. Se usan en partes exteriores flexibles como defensas, paneles y facias decorativas. Imparten adhesión y flexibilidad, cualidades necesarias en partes flexibles del automóvil. También existen aditivos retardadores. Estos se usan en los sistemas de laca acrílica o de esmalte acrílico cuando la temperatura, la humedad y

la evaporación son altas. El retardador impide una expulsión o una pérdida de color al absorber humedad, evitando que la laca se mezcle con los otros materiales de la pintura. Usado en esmalte acrílico, el retardador baja la proporción de evaporación aumentando el brillo. A través de la experiencia, el pintor calificado sabe cuando usar un retardador para lograr buenos resultados.

Otro producto considerado como aditivo es el llamado transparente o "clear coate" usado en los sistemas bicapa, ya sea en laca o en esmalte. Este aditivo es un material transparente hecho a base de resinas, que al ser aplicadas en forma de una segunda y última capa en los sistemas bicapa proporciona un mayor brillo, protección contra rayaduras y contra agentes químicos. Este producto se aplica después de la capa de pintura, formando así una segunda capa transparente. Por otro lado, en los sistemas monocapa el producto se mezcla junto con la pintura para dar a ésta un mayor brillo, formando así, la pintura y el transparente una sola capa. Cuando se usa de esta manera se le llama promotor de brillo. Es decir, que los objetivos y las funciones del transparente aplicado como una segunda capa o mezclado junto con la pintura son las mismas, aunque con algunas variantes en su formulación. También se usan adelgazadores y reductores para bajar su viscosidad y poderse aplicar. Los hay acrílicos y de poliuretano, siendo estos últimos más resistentes a agentes químicos, solventes y rayos ultravioleta que degradan a la pintura.

Como se mencionó, la pintura automotriz está formada por solventes, el aglutinante, el pigmento y algunos aditivos. Los pigmentos contenidos en las pinturas son los que imparten el color, pero además de éstos, se pueden agregar al momento de igualar un color partículas metálicas, de perla y microlentejuelas. Estas partículas cambian el efecto de la luz al penetrar en la pintura, logrando así distintos efectos de color, según la posición de donde se observen. En este sentido, las pinturas automotrices se dividen en dos tipos: colores sólidos y colores metálicos. Los colores sólidos se fabrican con pigmentos opacos, los cuales mantienen a los rayos ultravioleta fuera de la película de pintura y no dejan que pase a través de ellos, por eso son más durables. Generalmente estos colores se utilizan en sistemas monocapa. Los colores metálicos y perlados son más transparentes que los sólidos y permiten que la luz penetre en la película de pintura y refleje las partículas metálicas y perladas. Estos colores tienen más atractivo para el público pero son más difíciles de igualar en caso de una reparación. Generalmente se utilizan en sistemas bicapa. Esto no significa que no se

puedan aplicar colores sólidos en sistemas bicapa, y que colores metálicos o perlados, aunque en escasas ocasiones, se apliquen como monocapa.

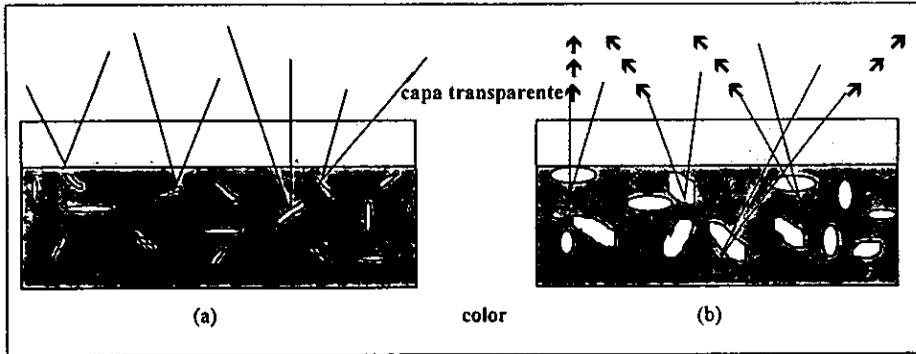


Figura 7. (a) En acabados metálicos, la luz entra al acabado y es reflejada por escamas metálicas para producir el efecto de color metálico. (b) En acabado con pintura de perla, la luz entra a la película de pintura, pasa a través de las escamas de perla hasta el color, y luego reflejada a través de la perla. Estas escamas de perla intensifican el color para producir el efecto de color perlado.

Los principales sistemas de repintado automotriz que se usan en los talleres y empresas de México son: el sistema monocapa y bicapa de laca acrílica, sistema monocapa y bicapa de esmalte acrílico, sistema bicapa de esmalte de poliuretano y sistema bicapa de esmalte de poliuretano base agua. Cada sistema presenta ventajas y desventajas respecto del otro. Los deseos de un cliente probablemente dictarán qué tipo de sistema o tipo de pintura se usará, pero en la mayoría de los casos, la mejor opción será repintar o reparar el coche con el sistema original con el cual salió de planta.

En la siguiente tabla comparativa se muestran las características de cada sistema y sus diferencias :

<b><u>DIFERENCIAS EN ACABADO Y APLICACION</u></b>	
<b>SISTEMA</b>	
<b><u>Laca acrílica monocapa y bicapa :</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Requieren pulido para dar un alto brillo</li> <li>* Su velocidad de secado es rápida debido a que es por medio de la evaporación del solvente.</li> <li>* Tienen poca resistencia a los agentes químicos.</li> <li>* No es indispensable su aplicación en una cabina de pintura.</li> <li>* No es necesario su curado en una cabina-horno.</li> <li>* En este sistema, existe una cantidad de colores limitada.</li> </ul>
<b><u>Esmalte acrílico monocapa y bicapa:</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No se requiere pulir para dar brillo.</li> <li>* Existe una mayor cantidad de colores disponibles.</li> <li>* Requiere de pocas manos para cubrir.</li> <li>* Cuando es bicapa con transparente de uretano, su resistencia contra manchas de agua y agentes químicos es mayor.</li> <li>* Se recomienda en este sistema el uso de endurecedores o catalizadores para mejorar la dureza y acelerar el proceso de secado.</li> <li>* Para lograr resultados óptimos su aplicación debe ser dentro de una cabina y horno de secado.</li> </ul>
<b><u>Esmalte de poliuretano bicapa:</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Posee mayor durabilidad, resistencia al impacto y a los agentes químicos.</li> <li>* Posee la mayor cantidad de colores disponibles tanto metálicos como aperlados.</li> <li>* No se requiere pulir para dar brillo.</li> <li>* Tiene un bajo nivel de componentes volátiles orgánicos.</li> <li>* Para su aplicación es necesaria una cabina - horno de pintura.</li> <li>* Se requiere que el personal este capacitado para su aplicación.</li> </ul>
<b><u>Esmalte de poliuretano bicapa base agua:</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sistema nuevo que logra reducir los compuestos tóxicos al medio ambiente al máximo.</li> <li>* Necesariamente su aplicación es dentro de una cabina - horno para pintura, bajo condiciones muy específicas.</li> <li>* Este sistema se está comenzando a utilizar recientemente en plantas armadoras de Estados Unidos, Europa y en algunas plantas en México.</li> </ul>

**Tabla 1.** Diferencias de acabado y aplicación en distintos sistemas de pintado.

4. Aplicación de los productos. Independientemente de qué tipo de pintura o sistema se haya seleccionado para su aplicación en un vehículo, es importante seguir algunos pasos claves, previos a la aplicación.

La pintura almacenada se deberá mezclar al menos durante un minuto ya sea por medio de un mezclador mecánico o con una regla de por lo menos 1" de ancho o vaciando la pintura de un recipiente a otro. Durante años los fabricantes de pinturas han subrayado la siguiente indicación: *agite perfectamente antes de usar*. A pesar de esto, muchos de los que trabajan en el campo del repintado automotriz no lo hacen, y el 95% de las quejas por pérdida de color es un resultado de esta falla.

Los pigmentos dan el color y algunos son más pesados, factor que hace que se asienten más rápido que otros. Cuanto más espesa sea una pintura, más lentamente se asentará el pigmento. En cambio, cuando un color se ha rebajado con solvente, los pigmentos más pesados se asentarán en el fondo rápidamente. Este hecho cambiará el matiz del color a menos que se use inmediatamente después de mezclar. Demasiados pintores olvidan la viscosidad de pulverización de los materiales de pintura. Muchos agregan adelgazadores hasta que la pintura escurre de la varilla para agitar, a una velocidad que han preestablecido en su mente. Por desgracia, la viscosidad varía considerablemente de un trabajo a otro y algunas veces se refleja en un brillo deficiente, excesiva pérdida de color y malos matices.

El elemento más importante dentro del equipo de aplicación de pinturas es desde luego la compresora. Su misión es muy importante, ya que comprime el aire, hace funcionar las máquinas lijadoras, el equipo de limpieza y las pistolas pulverizadoras. Una compresora de aire se proyecta para suministrar aire continuamente a una presión determinada y a un volumen mínimo en litros por minuto. Dentro del área de repintado automotriz las compresoras más comunes son las de una sola etapa, las cuales pueden ser de dos tipos: las del tipo de diafragma o las de pistón. Las de diafragma son pequeñas y portátiles, se usan donde se necesita un bajo volumen de aire y debido a que no usan aceite se pueden emplear para proporcionar aire limpio, siempre y cuando satisfagan los requisitos de volumen de aire. Las del tipo de pistón están disponibles ya sea como unidades estacionarias ancladas al piso o como equipo portátil y su diseño puede ser monocilíndrico o de dos cilindros. Las compresoras de etapa única se usan debido a que ofrecen una presión máxima de 100 lb/pulg<sup>2</sup>; esta presión puede elevarse de ser necesario, aunque su rendimiento baja entonces hasta un 60 o 65%.

Generalmente en el taller de repintado automotriz no es necesaria una presión por arriba de las 100 lb/pulg<sup>2</sup>.

Actualmente otro equipo que debe considerarse como fundamental en la aplicación de pintura en los talleres de reacabado automotriz, es una caseta o cabina para pulverizar. Una cabina es básicamente un cuarto o módulo hecho de lámina en donde se filtra tanto el aire que entra como el que sale. Esta filtración se puede lograr de varias formas. Se encuentra iluminado y acondicionado para poder ofrecer las condiciones apropiadas de temperatura y limpieza del aire para poder pintar un vehículo adecuadamente. Proporciona un entorno limpio y genera un ambiente de trabajo seguro para el pintor. En el siguiente capítulo se definirán y analizarán ampliamente los distintos tipos de cabinas para repintado automotriz.

El aprovechamiento de los nuevos sistemas de pintado automotriz no son concebibles sin el equipo adecuado para su aplicación. La tecnología de las pinturas mejora día con día, incrementando la calidad de acabado, durabilidad, respeto al medio ambiente y versatilidad de colores. De igual forma, el equipo con el que se apliquen las pinturas deberá modernizarse, si se quieren obtener buenos acabados.

5. Toque final de acabado. El último paso del procedimiento completo de reacabado consiste en desenmascarar las piezas protegidas con cinta y papel como son vidrios, espejos, molduras, etc. y en pulir y encerar las piezas recién pintadas. Se recomienda hacer estas operaciones como mínimo 24 horas después de haberse pintado el coche, para dar tiempo suficiente a que seque y endurezca la pintura. En algunos sistemas como el esmalte de poliuretano, no es necesario pulir para obtener un buen brillo y tersura. Para las lacas existen ceras, abrillantadores y pulidores, hechos a base de agua, los cuales dan muy buenos resultados. Su aplicación debe hacerse a la sombra y fuera del área de preparación y pintado, ya que éstos contienen silicón el cual puede impregnarse sobre los sustratos por pintar ocasionando problemas de adherencia posteriormente.

## CAPITULO 2

### Cabinas de aplicación de pintura

#### 2.1 Características y funcionamiento.

Como se mencionó anteriormente una cabina de aplicación de pintura es un cuarto o módulo con el propósito de confinar el escape de vapores y residuos de pintura pulverizada y conducirlos de manera segura hacia el exterior. En él, se introducen el vehículo o piezas a pintar suministrando aire en una cantidad determinada para tener una ventilación que asegure las condiciones óptimas para el proceso de repintado. Es decir, que su estructura está diseñada para permitir la entrada y salida de aire, el cual pasa por un medio filtrante, con el objetivo principal de crear un ambiente limpio y libre de impurezas para crear acabados semejantes a los originales de planta. Existen algunas cabinas, las cuales cuentan con un sistema de calentamiento de aire. A este tipo se les conoce como cabina-horno. Su función es la de proporcionar la temperatura del aire adecuada para la aplicación, secado y curado de cualquier pintura.

Cabe aclarar que, al igual que las pinturas, las cabinas y las cabinas-horno se dividen en dos grupos. Las diseñadas para operar dentro de una planta armadora de vehículos y las que son utilizadas para trabajos de repintado automotriz. Su objetivo es el mismo, aunque las primeras tienen la capacidad para manejar grandes cantidades de vehículos y por tanto de pintura en forma automatizada. Las empleadas en la industria del repintado automotriz son de menor tamaño y su capacidad es menor. Es de interés para este trabajo únicamente las cabinas y cabinas-horno utilizadas por empresas y talleres de repintado automotriz.

#### **Las funciones básicas para cualquier tipo de cabina de repintado son:**

- Extraer el sobrante de pintura y los vapores de los solventes, fuera del área de trabajo.
- Recolectar el sobrante de la pintura atomizada, durante la operación de pintado, en sitios donde no exista peligro de accidentes o de contaminación del ambiente.

- Propiciar condiciones favorables de limpieza y seguridad, donde el trabajador pueda laborar adecuadamente.
- Que su mantenimiento se logre de una manera rápida y sencilla.
- La ventilación debe ser la adecuada para reducir el riesgo de explosión entre mezclas de aire y vapores de solventes.

**Si la cabina cuenta con sistema de calentamiento (cabina-horno) es necesario que cumpla con las siguientes condiciones:**

- Debe ser económica en el consumo de combustible.
- Debe llegar con rapidez a la temperatura óptima para el curado de la pintura, reduciendo con esto tiempo y energía.
- La temperatura debe ser controlable.
- El mantenimiento debe ser de gran sencillez.

**Las cabinas se conforman principalmente de las siguientes partes:**

**a) Estructura y paneles modulares.**

La estructura de cualquier cabina se hace con perfiles de acero galvanizado, los cuales se sujetan a una loza de cemento que se construye a la medida de las dimensiones de ésta. La loza es parte de la obra civil que se realiza previo a la instalación de la cabina. La estructura sirve de apoyo a los paneles modulares, los cuales forman las paredes y el techo de la cabina. Estos paneles son también de lámina galvanizada, los cuales van unidos y sellados por canales tipo H. Para su ensamble no se utiliza soldadura, sino remaches para evitar la posibilidad de corrosión dentro de la cabina. En el interior deben de estar pintados o recubiertos de algún material plástico, de color blanco preferentemente, con el fin de evitar la acumulación de polvo y facilitar su limpieza. Si se trata de una cabina-horno los paneles están aislados térmicamente con fibra de vidrio, la cual se coloca en el interior de éstos. (Ver fig. 8) .

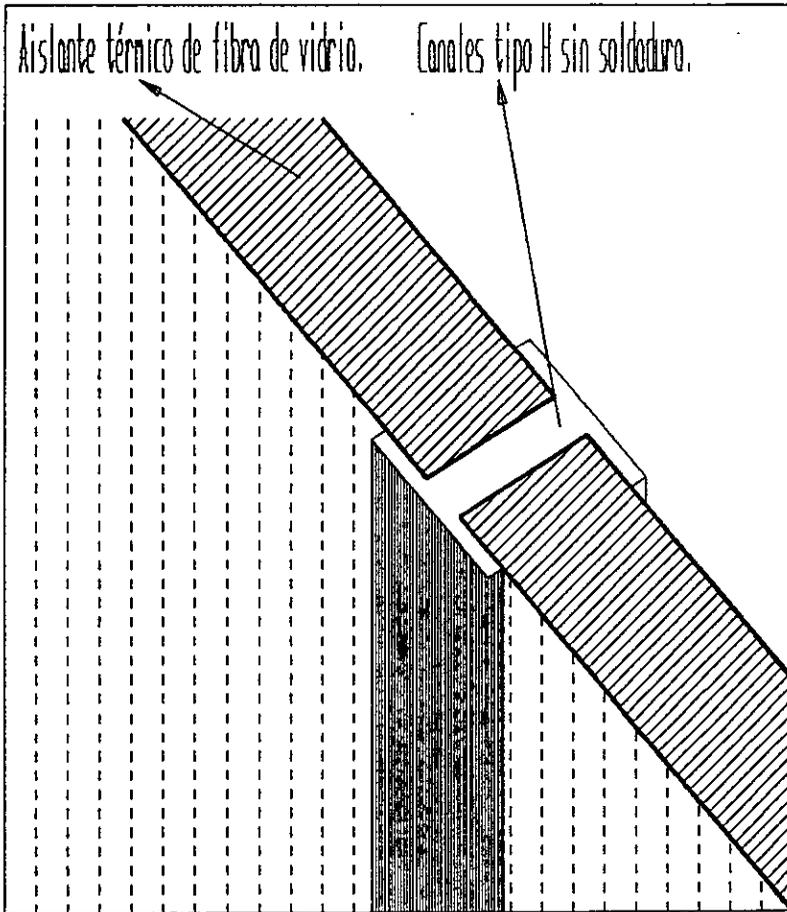


Figura 8. Paneles modulares aislados térmicamente y unidos por canales tipo H.

## b) Filtros.

Los filtros están hechos de papel tratado especialmente con retardantes de fuego o bien de un tejido de poliéster plegable y suave recubierto con un material adhesivo especial para atrapar el polvo. También existen filtros de fibra de vidrio. Todos ellos se diseñan para proporcionar un flujo uniforme y suave de aire limpio, para que éste envuelva al vehículo que se pinta y se lleve lejos las emanaciones de pulverización y de los solventes que se evaporan. Su configuración es en forma de diamante o entretejida, de manera que atrapan el exceso de pintura y polvo, pero dejan fluir el aire. Existen filtros de entrada y de salida de aire, y dependiendo de su ubicación será el tipo de flujo con que cuente la cabina. La duración de los filtros de entrada varía de acuerdo con la cantidad y calidad de aire que pasa a través de ellos, así como de la calidad del material de los mismos. En cuanto a los filtros de salida, su duración también está en función de la cantidad de aire que filtran, la temperatura y la cantidad de pintura que se pulveriza dentro de la cabina. Cuanto más alta sea la velocidad y la temperatura del aire y la cantidad de pintura pulverizada sea mayor, tanto más rápido se tapan, impidiendo la libre circulación de aire; además se descompondrá el material del filtro desprendiendo algunas fibras. Hay que tomar en cuenta que al usar pistolas convencionales para la aplicación de pintura, hasta un 50% de ésta se desperdicia impregnándose en los filtros. Por todas estas razones, es necesario que en la selección de una cabina se tome en cuenta la facilidad con que se puedan reemplazar los filtros, además de seguir un programa conveniente para su mantenimiento. Una manera eficaz de saber cuando los filtros deben ser reemplazados, es a través de la lectura de la presión indicada por un manómetro, instalado en el costado de la caseta. Si el manómetro indica, en una cabina de presión positiva, un aumento de presión llegando hasta las .40 o .50 "de agua, significa que los filtros de salida deberán cambiarse. Los fabricantes de filtros estiman su duración en horas de trabajo y calculan que para: filtros de salida 150 h.; prefiltros de entrada 350 h.; filtros de entrada 1000h. Después de ese tiempo deberán reemplazarse.

Los filtros se colocan en unos marcos de lámina desmontables con dos rejillas para sostenerlos en su lugar. Generalmente se usan dos filtros en cada marco, uno con orificios grandes que atrapa las partículas gruesas y otro llamado microfiltro capaz de detener partículas igual o mayores a 10 micras.

Cuando necesitan cambiarse, se quita la rejilla y el marco y se insertan los nuevos, cuidando que el aire pase primero por el filtro grueso y después por el microfiltro. Los marcos de los filtros se deben limpiar de toda pintura seca residual antes de colocar los nuevos. Una acumulación de pintura seca dentro del banco de filtros podría causar combustión espontánea, si se dieran las condiciones favorables. Los filtros viejos se deben desechar de una manera apropiada y segura. Existen algunas cabinas que cuentan con filtros de salida de carbón activado y logran retener los vapores de los solventes utilizados en la pulverización, cosa que con los otros filtros no es posible. La desventaja es el elevado costo de los mismos. Es importante mencionar, que una cabina que cuenta con una mayor área de filtros, aumenta la capacidad de filtrado de aire, la vida útil de los filtros y el gasto volumétrico de aire dentro de la cabina.

#### c) Sistema de inyección y extracción de aire.

El aire que se suministra a una cabina se toma de la atmósfera. La entrada de aire debe estar lejos de cualquier centro de contaminación que pudiera existir como depósitos de basura, ductos de extracción, otros ventiladores, etc. Estas precauciones habrá que tomarlas en cuenta para la ubicación de la cabina dentro del taller. Algunas cabinas son llamadas de presión positiva, ya que trabajan a una presión manométrica, es decir, por encima de la atmosférica. Se utiliza un manómetro colocado a un costado de la cabina, el cual mide el diferencial de presión en pulgadas de agua. Debe oscilar entre .10 y .30 " H<sub>2</sub>O, es decir, entre 25 y 75 Pa. Esto se logra por medio de dos ventiladores, uno que inyecta y otro que extrae aire, es decir, que se tiene un tiro balanceado. En otras cabinas llamadas de presión negativa ocurre lo contrario. Un sólo ventilador extrae el aire contaminado con pintura y vapores de solventes hacia el exterior. El tiro es entonces, inducido. Tanto el aire que entra como el que sale, es filtrado a través de los bancos de filtros de entrada y de salida.

El primer caso (presión positiva) ofrece mayores ventajas ya que, de haber contaminación en el taller, la presión positiva dentro de la cabina actúa como una barrera impidiendo la entrada de aire por cualquier parte que no sean los filtros de entrada, manteniendo así un ambiente más limpio. El aire que entra a la cabina, es guiado a través del ducto de entrada hacia los filtros.

En algunos diseños, se colocan una serie de deflectores para lograr una mejor circulación. La extracción del aire contaminado se realiza por el segundo ventilador. El aire pasa a través de los filtros de salida y luego al ducto de descarga, el cual debe estar situado varios metros por encima de la cabina y lejos de la toma de aire del ducto de entrada. El ducto de descarga o salida de aire deberá ser del mismo diámetro que el ventilador y tendrá que descargar verticalmente para que exista un adecuado flujo de aire de descarga. (Ver fig. 9) El material recomendado para la construcción de los ductos es de lámina calibre 16 por lo menos.

En las cabinas con presión negativa, la entrada de aire se efectúa directamente por las puertas de entrada y sus filtros, sin pasar por ningún ducto previo. Al haber un sólo ventilador, el de extracción, éstas cabinas cuentan únicamente con el ducto de salida de aire. (Ver fig.11 pag.46) Su desventaja es que habrá que dar mayor mantenimiento a toda la estructura, las uniones de los paneles, puertas, ventanas y bancos de filtros para que no exista ningún claro o abertura por donde se pueda colar polvo y contaminación.

Los ventiladores de todas las cabinas son conectados generalmente por un sistema de bandas a uno o dos motores eléctricos, con el objetivo de crear el mínimo posible de ruido al trabajar, evitar el contacto de los solventes con el motor y facilitar y economizar su mantenimiento. Estos deben de tener la capacidad suficiente para ofrecer un alto gasto volumétrico de aire a una determinada velocidad, de manera que se produzca la menor turbulencia posible. Es decir, la velocidad del aire debe ser tal que arrastre rápidamente todo el exceso del pulverizado, pero sin ser tan alta que genere las llamadas bolsas de aire muerto. Estas bolsas son espacios dentro de la cabina donde se acumulan vapores y pintura pulverizada, la cual no se logró eliminar por medio del flujo de aire. El objetivo es eliminar rápidamente el sobrepulverizado de la pintura para evitar que se impregne sobre los sustratos recién pintados, los cuales empiezan a secar. Para cabinas de repintado automotriz cuyas dimensiones interiores son aproximadamente de 7m (largo) x 4m (ancho) x 3m (alto), se utilizan motores trifásicos de 7.5 a 10 hp. Existen normas que establecen parámetros en cuanto al gasto volumétrico y velocidad del aire y también respecto a la posición de los ductos de descarga y admisión para no obstruir o dificultar el flujo de aire. Mas adelante se dará un resumen de las normas oficiales donde se establecen estos parámetros.

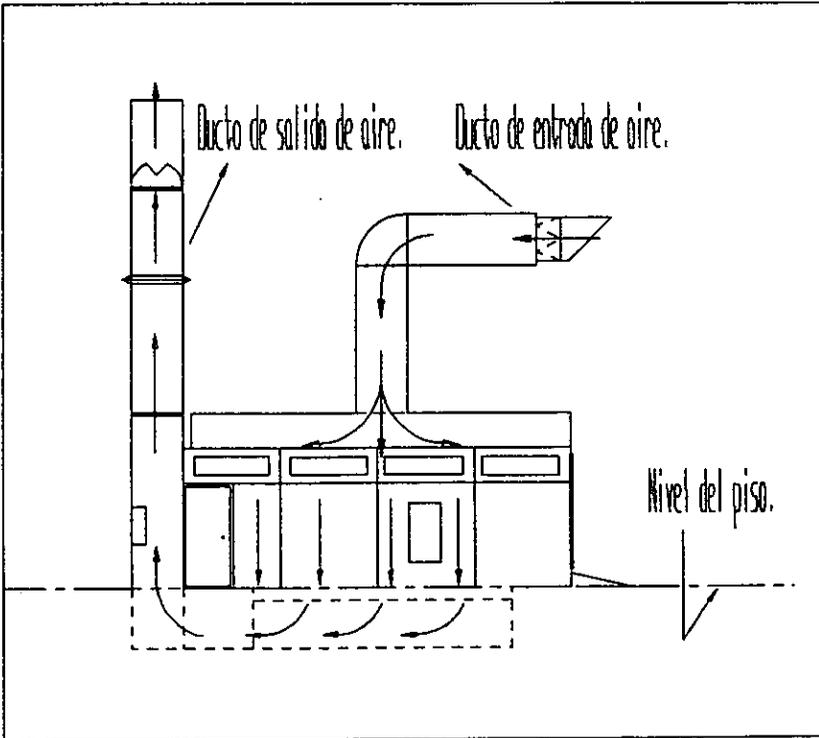


Figura 9. Flujo de aire a través de los ductos. Posición vertical del ducto de descarga.

#### d) Sistema de alumbrado.

Es fundamental que una cabina de pintura cuente con una buena iluminación que permita al pintor, trabajar adecuadamente y ver los colores de pintura en su tono real. El tipo de alumbrado que se utiliza es el de tubos fluorescentes, pues éstos dan una luz más blanca, más uniforme y son mucho más económicos que los focos incandescentes. Deben de estar colocados alrededor de las paredes y el techo de la cabina, de manera que todo el vehículo quede perfectamente iluminado. Tanto la instalación eléctrica como las lámparas deben quedar sellados herméticamente del interior de la cabina. Los focos se colocan detrás de un vidrio templado e inastillable sellado con un hule. El mantenimiento de las lámparas se realiza por la parte exterior de la cabina. De esta manera se garantiza que los vapores de solventes no estén en contacto directo con las lámparas ni con la instalación eléctrica, evitando así el riesgo de un corto circuito y una explosión. Regularmente habrá que limpiar los vidrios de las lámparas de polvo y pintura impregnadas, para dejar pasar toda la luz. Toda la instalación eléctrica de una cabina deberá estar conforme al reglamento para instalaciones eléctricas correspondiente. El sistema de iluminación consta generalmente de entre 8 y 14 lámparas de 2 ó 4 focos cada una. Los focos son de 36 W. También existe una norma que regula el nivel de iluminación que deben de tener las cabinas de pintura.

#### e) Sistema de horneo.

Como se mencionó al principio de este capítulo, existen cabinas con sistema de calentamiento de aire ó cabinas-horno. Este sistema tiene el objetivo de elevar la temperatura de la cabina durante la fases aplicación y secado de una manera rápida y controlable. Durante la fase de aplicación, la temperatura debe estar alrededor de los 20°C, y en la de secado ó curado debe de elevarse hasta los 70°C. Existen varios sistemas de calentamiento para las cabinas-horno de repintado automotriz. Estos son:

Calentamiento de aire con quemador de gas L.P. ó propano. Su construcción es en base a una cámara de lámina de acero que se ubica a un costado de la cabina. El calentamiento se logra mediante un quemador de gas situado en la parte inferior de la cámara. Los gases de la combustión generados en esta cámara pasan a través de un filtro al área de trabajo, o sea, a donde se encuentran las piezas pintadas y son extraídos por un ventilador hacia la tobera de descarga. En algunos diseños, parte de estos gases son

recirculados con el objetivo de mantener una temperatura constante y ahorrar en el consumo de gas. Las cabinas con estos hornos alcanzan rápidamente una temperatura hasta de 100 °C y proporcionan calor de una manera homogénea a todo el vehículo. Tienen la desventaja de contaminar el aire en el área de trabajo con los gases de la combustión. (Ver fig. 10) .

Recientemente se han diseñado cabinas-horno que logran hacer que los gases de la combustión circulen fuera del área de trabajo, mediante un sistema de doble circuito de circulación de aire, es decir, un intercambiador de calor. Este transfiere el calor al aire que está en contacto con las partes recién pintadas, evitando así su contaminación. El consumo de gas en estos hornos es de aproximadamente 7 L por jornada de 8 h. a condiciones normales, es decir, entre 18 y 22 °C.

Otro sistema de horneado utilizado en las cabinas-horno es mediante el uso de lámparas infrarrojas. Este sistema se utiliza únicamente después de la fase de pintado. Las lámparas calientan las piezas pintadas por medio de rayos infrarrojos. Habrá que tener cuidado en su colocación, ya que si fuera demasiado cerca de los sustratos recién pintados, los rayos infrarrojos emitidos que viajan en forma recta, podrían llegar a quemar una determinada zona y dejar sin calentamiento a otra. Por consiguiente, éste sistema tiene la desventaja de no poder proporcionar calor a todas las partes del vehículo de una manera homogénea. Al igual que en el sistema de alumbrado, la instalación eléctrica del sistema de calentamiento por luz infrarroja deberá estar fuera de la cabina. Es decir, que si se utilizan lámparas infrarrojas, éstas se deberán conectar fuera de la cabina. Tanto las lámparas como su instalación deben de ser las aprobadas por las normas oficiales para partes e instalaciones eléctricas. Estas lámparas son portátiles y se venden como un accesorio sin formar parte de una cabina-horno. Constan generalmente de 2 o 3 focos, cada uno de 1000 W, utilizando corriente trifásica de 220 V. La capacidad de calentamiento de una lámpara infrarroja de 3300 W de 3 focos es únicamente para 1 pieza, es decir, que sirve únicamente para hornear una puerta, un cofre o una salpicadera de un vehículo. Si se requiere pintar 2 piezas como éstas, habrá que colocar otra lámpara semejante.

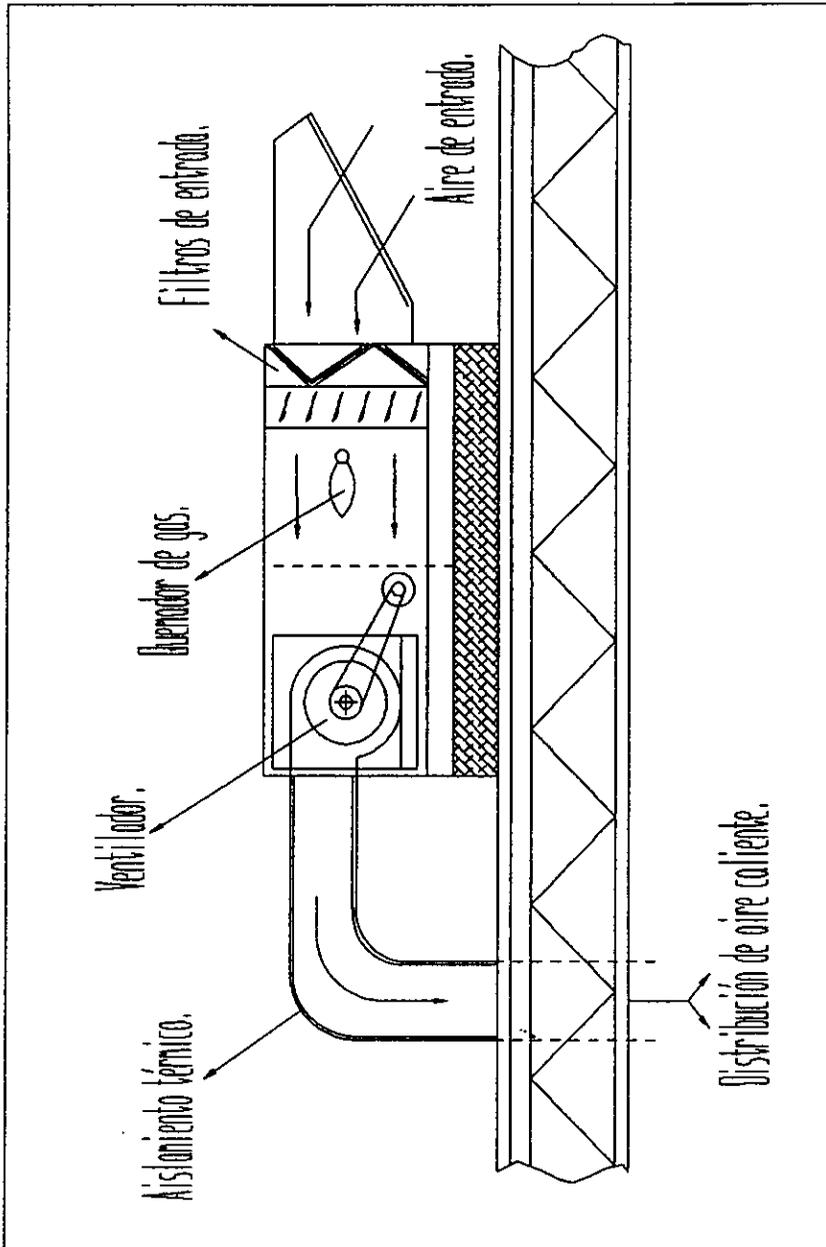


Figura 10. Sistema de calentamiento de aire con quemador de gas L.P.

Ahora bien, existen casos en donde se requiere pintar un sustrato pequeño, o bien todo un vehículo. Según los consumos de energía de cada sistema y el tiempo de horneado que necesita la pintura para curarse, se estima que el sistema más económico de horneado para pintar :

de 1 a 3 piezas es el de ➡ lámparas infrarrojas

de 3 piezas en adelante a un vehículo completo el de ➡ quemador de gas.

De esta forma, en teoría, no hay necesidad de gastar grandes cantidades de energía en calentar toda la cabina si se va a hacer una reparación pequeña. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el gas proporciona calor de manera más homogénea, sin el riesgo de quemar una determinada zona. Además ofrece la ventaja de poder pintar a una temperatura controlada, sobre todo en lugares muy fríos, al calentar el aire que circula dentro de la cabina a 20°C y luego elevarlo hasta 70°C para el proceso de curado. Esto no es posible lograrlo con lámparas infrarrojas.

No importando el sistema de calentamiento que se utilice, es importante antes de entrar en la fase de horneado, orear y ventilar la cabina durante 20 minutos para sacar el aire contaminado producido por la sobrepulverización de pintura. Durante ese tiempo se logra que los compuestos de la pintura se asienten sobre el sustrato adecuadamente y que todo vapor de solvente que pueda quedar en ella, sea expulsado. Con esto se evita el riesgo de una explosión ocasionada por mezclas explosivas que pudieran estar en contacto con las lámparas de luz infrarroja y sus instalaciones eléctricas o por la elevada temperatura alcanzada por el gas. La temperatura que debe alcanzar cualquier horno de cabina para poder secar y curar adecuadamente la mayoría de las pinturas es de 80 °C. En la etapa de horneado, la cantidad de aire fresco de ventilación que entra a la cabina debe ser la mínima, es decir, no más del 10%, para conservar el calor en el interior.

Las cabinas utilizadas en la industria del repintado automotriz forman parte de las llamadas cabinas con extracción de aire seco y se clasifican de acuerdo a la ubicación de los filtros de entrada y salida de aire, los cuales producen un determinado tipo de flujo de aire dentro de la cabina. A continuación se presentan las cabinas utilizadas en la industria del repintado automotriz según el tipo de flujo:



#### Cabinas con flujo horizontal.

Este tipo de cabina es la más simple en su estructura. Los filtros de entrada están ubicados a un extremo de la cabina en las puertas de entrada del vehículo. Los filtros de salida junto con el módulo de extracción de aire se encuentran en el lado opuesto. De esta forma se crea un flujo horizontal, en donde el aire, entra primero por las puertas de la cabina donde se introduce el vehículo y es extraído en el otro extremo. Generalmente este tipo de cabinas no cuenta con horno de quemador de gas. El aire envuelve al vehículo desde un extremo, llevándose consigo el sobrepulverizado y el polvo a lo largo de la cabina hacia el exterior.

Las cabinas con flujo horizontal ofrecen buenos resultados cuando la cantidad de pintura que se pulveriza no es muy grande y no necesita curarse. Sin embargo, tienen varios inconvenientes. Al estar ubicados los filtros en las puertas de entrada, cuentan con un área limitada para los mismos. Además al crear un flujo de aire horizontal, existe el riesgo de que el exceso de pintura generado sobre un extremo del vehículo se impregne y contamine otra superficie, al ser arrastrado a lo largo del vehículo. (Ver fig. 11)

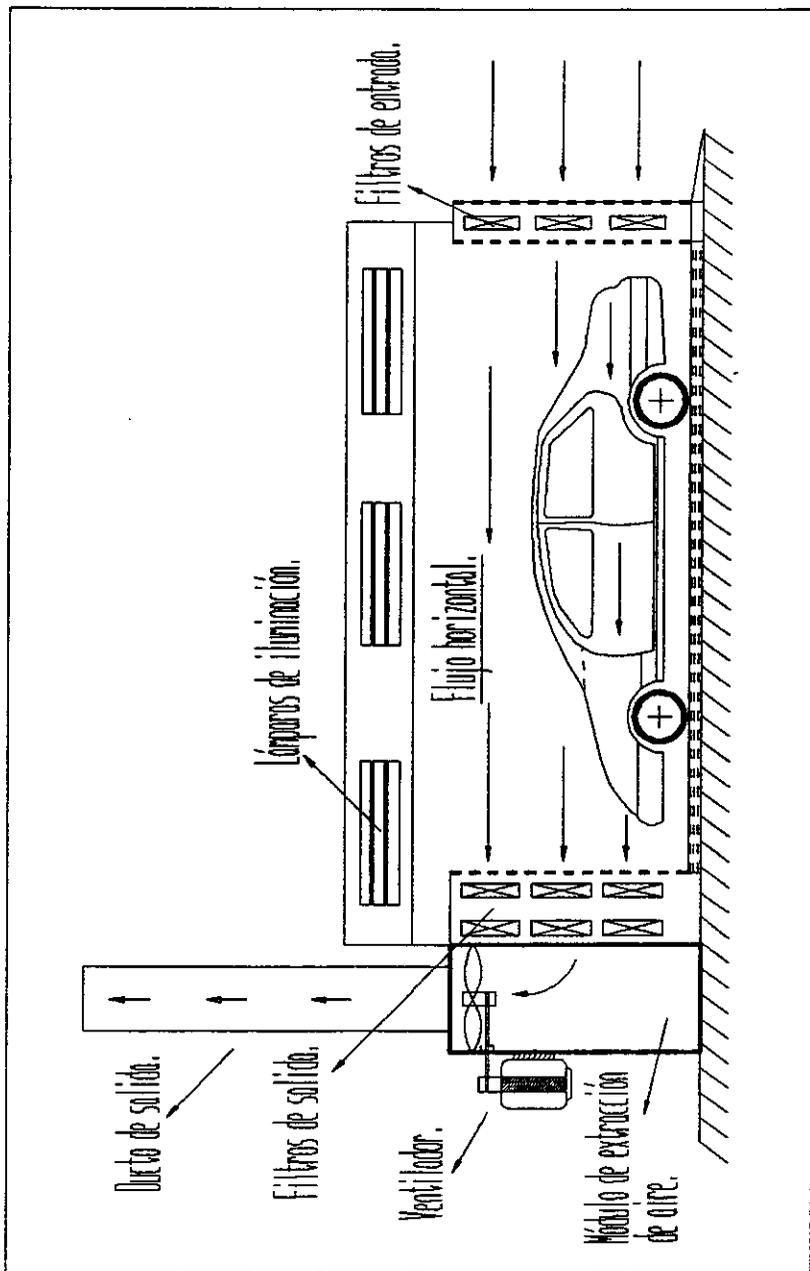


Figura 11. Cobina con flujo de aire horizontal.

### Cabinas con flujo semidescendente ó “semidowndraft”.

Las cabinas con flujo semidescendente ubican el banco de filtros de entrada en la parte frontal sobre el techo de la cabina. La extracción de aire se puede realizar de dos maneras, por la parte posterior de la cabina ubicando los filtros en forma vertical ó por la parte inferior, es decir, por el piso de la cabina justo debajo del vehículo. De esta forma el flujo de aire se desarrolla diagonalmente a lo largo de la cabina y la presión generada por ambos ventiladores es positiva. La construcción e instalación de este tipo de cabinas es más compleja que la anterior y requieren de una obra civil mayor, sobretodo si la extracción de aire es por el piso. Debido al tipo de flujo que crean, son capaces de eliminar mayor cantidad de sobrepulverizado de casi cualquier parte donde se aplique pintura al vehículo. Sin embargo, con este sistema aún no es posible eliminar por completo las bolsas de aire que generan problemas de estancamiento de pintura y polvo. Estas cabinas ya cuentan con horno de gas. (Ver fig. 12)

### Cabina con flujo de aire descendente o “downdraft”.

Las cabinas con flujo descendente son las de mayor eficiencia en cuanto al tipo de flujo de aire que generan. Esto se debe a que los filtros de entrada se localizan a lo largo del techo o plenum de la cabina, logrando ocupar así una mayor área. El aire es inyectado por un ventilador desde el plenum creando un flujo de aire de arriba hacia abajo envolviendo al vehículo completamente. El aire es extraído por el segundo ventilador a través de los filtros de salida ubicados en la parte inferior de la cabina por debajo del nivel del piso. Todas las cabinas con flujo descendente utilizan presión positiva y tienen la capacidad de eliminar la mayor cantidad de sobrepulverizado de una manera rápida reduciendo casi por completo los espacios donde se crean las bolsas de aire. No importa de donde se aplique la pintura, el flujo de aire se llevará el pulverizado excedente y el polvo hacia el piso sin contaminar otras partes recién pintadas del vehículo.

Los ventiladores pueden estar ubicados arriba y a un costado de la cabina o juntos los dos a un extremo. Al igual que las de flujo semidescendente, estas cabinas alojan horno con quemador de gas, con el inconveniente de ocupar un mayor espacio para su instalación dentro del taller. (Ver fig. 13)

Las dimensiones exteriores, varían de acuerdo al modelo y tipo de flujo de aire. Todas ellas cuentan con una puerta peatonal a un costado y la mayoría con ventanas alrededor para poder observar hacia el interior. En algunas ocasiones se instala una rampa neumática en el piso al centro de la cabina para poder levantar el vehículo y poder acceder a partes difíciles de una manera más cómoda. Un accesorio indispensable en una cabina de aplicación son los ganchos o "racks" para poder colgar piezas sueltas que se tengan que pintar.

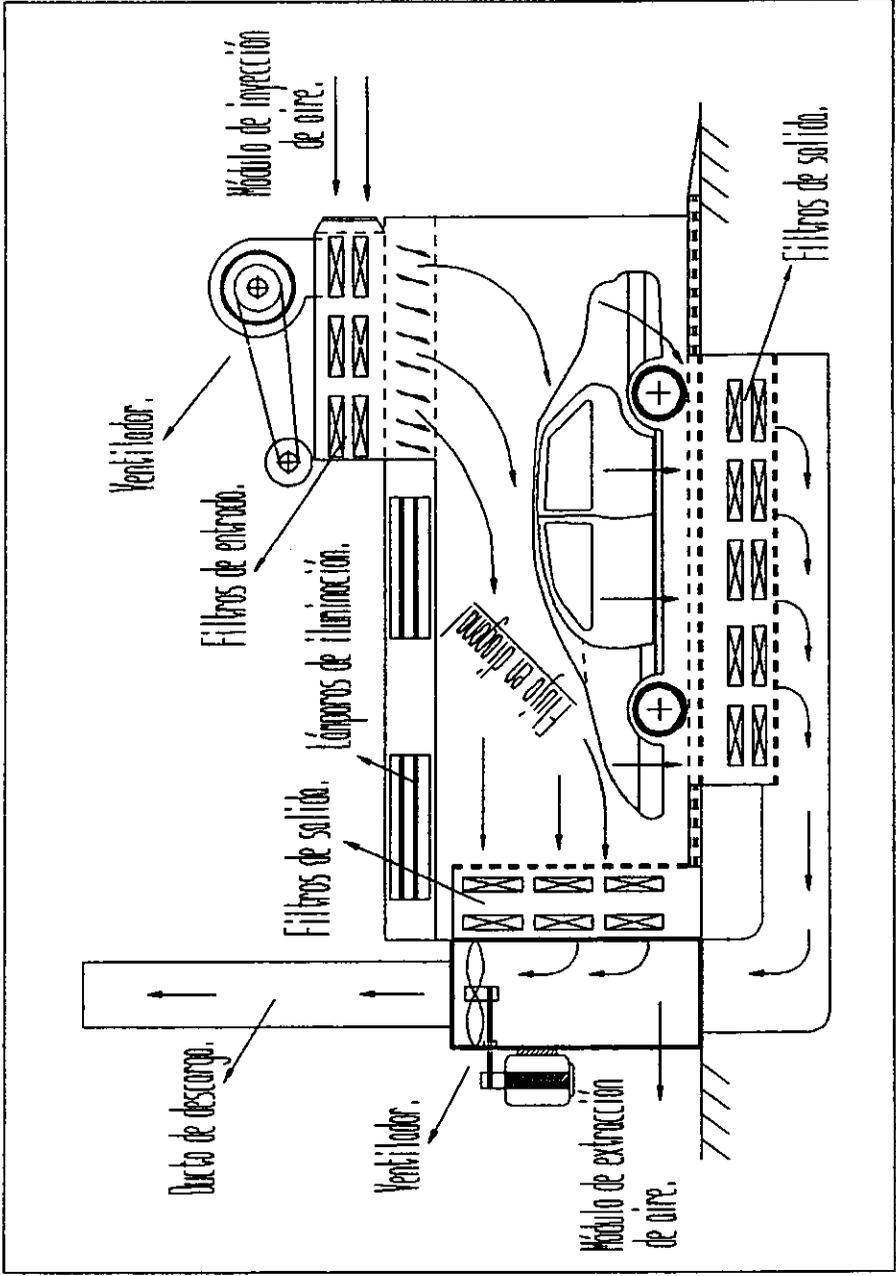


Figura 12. Cabina con flujo de aire semidescendente.

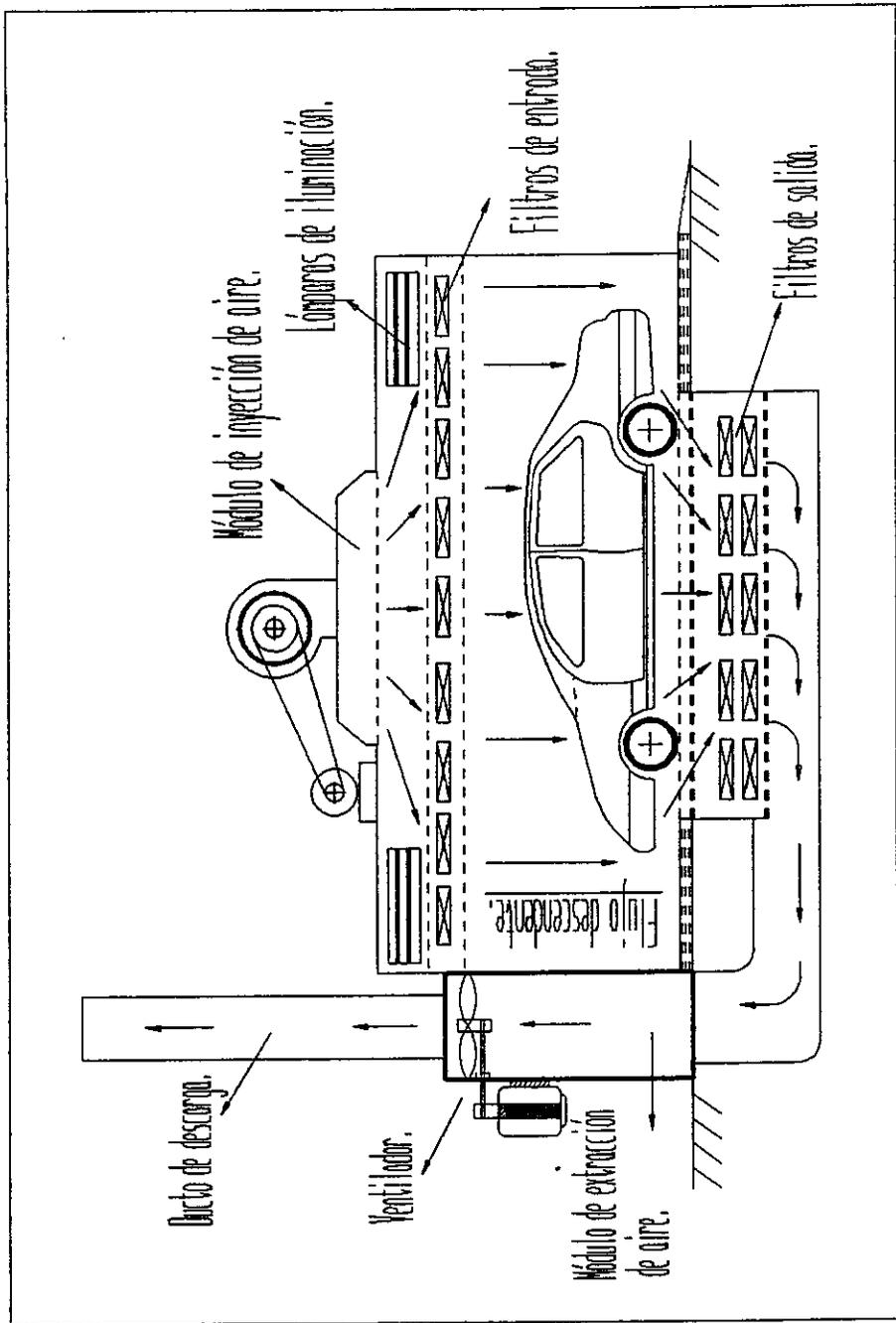


Figura 13. Cabina con flujo de aire descendente ó "domkraft".

## 2.2 Normas referentes a cabinas-horno para repintado automotriz.

La protección a la vida de las personas del riesgo de fuego o de alguna explosión en la aplicación de pinturas flamables o combustibles, depende en gran medida de los límites, colocación, mantenimiento y correcta operación de los equipos utilizados. Las estadísticas muestran que la mayor parte de los accidentes ocurren cuando no se respetan las condiciones establecidas por las normas oficiales que regulan la aplicación de pintura y sus equipos. Existen diversas normas oficiales que de acuerdo a las funciones básicas de cualquier equipo de aplicación de pintura, regulan y establecen límites para garantizar la salud del trabajador que las opera, reducir el riesgo de accidente y controlar los contaminantes expulsados al medio ambiente.

En la elaboración de esta tesis se hizo una investigación para identificar y seleccionar todas las normas oficiales referentes a cabinas-horno o que por su contenido tuvieran relación con este tipo de equipos. Se encontró que en México las normas oficiales que deben seguirse para la construcción, instalación, operación y control de emisiones contaminantes para una cabina-horno de repintado automotriz son escasas. Sin embargo es importante que al analizar, adquirir o hacer uso de alguna instalación o equipo para repintado automotriz se tomen en cuenta las especificaciones y requerimientos marcados por las normas oficiales encontradas.

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social ha emitido las siguientes normas en cuanto al riesgo que representa para la salud del trabajador la operación de una cabina-horno para repintado automotriz y que ha juicio del autor son importantes para el análisis y los objetivos de esta tesis. De las normas mencionadas a continuación, se cita solamente el título, objetivo, campo de aplicación y los puntos de interés para esta tesis.

“ NOM-001-STPS-1993, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los edificios, locales, instalaciones y áreas de los centros de trabajo. Publicada en el Diario Oficial el 8 junio de 1994.

OBJETIVO: Establecer las condiciones de seguridad e higiene con que deben contar los locales, edificios, instalaciones anexas y áreas en los centros de trabajo.

**CAMPO DE APLICACION:** La presente NOM-STPS debe aplicarse para la planeación, construcción y conservación de los centros de trabajo de manera que se eviten o disminuyan los riesgos que éstos puedan constituir para la vida y salud de los trabajadores. “

“ NOM-002-STPS-1993, Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Publicada en el Diario Oficial el 20 julio de 1994.

**OBJETIVO:** Establecer las condiciones de seguridad para la prevención contra incendio en los centros de trabajo y protección a los trabajadores.

**CAMPO DE APLICACION:** La presente NOM-STPS se aplica en los centros de trabajo en donde las mercancías, materias primas, productos y subproductos que se manejan en los procesos, operaciones y actividades que impliquen riesgo de incendio.”

“ NOM-016-STPS-1993, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo referente a ventilación. Publicada en el Diario Oficial el 6 julio de 1994.

**OBJETIVO:** Establecer la ventilación necesaria por medio de sistemas naturales o artificiales que contribuya a prevenir el daño en la salud de los trabajadores.

**CAMPO DE APLICACION:** La presente NOM-STPS debe aplicarse en los centros de trabajo, donde las labores requieran ventilación con disponibilidad de aire con oxígeno adecuado para la respiración de los trabajadores; ya sea por aire viciado, presencia de sustancias químicas, condiciones térmicas extremas y/o atmosféricas inflamables y explosivas.

**REQUERIMIENTOS PARA EL PATRON:** Mantener durante las labores la ventilación necesaria por medio de sistemas naturales o artificiales que contribuyan a impedir el daño en la salud de los trabajadores, tomando en cuenta:

A) Que la disponibilidad de oxígeno para la respiración sea en todo momento entre 18 y 21% en volumen considerando una presión ambiental.

B) Cuando no se pueda obtener la cantidad de aire requerida en el inciso anterior por medio de ventilación natural, se debe suministrar aire por medio de ventilación artificial.

**REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS NATURALES O ARTIFICIALES DE VENTILACION:** En los que por naturaleza del proceso laboral se generen polvos, humos, gases, vapores o neblinas de sustancias químicas; se dispondrá de un sistema para extraerlo, de ser posible en la fuente, a fin de mantener en todo momento las concentraciones permisibles para la exposición de los trabajadores.

A) Siempre que exista un sistema de extracción de aire se deberá contar con otro para la reposición del aire extraído. El aire de reposición deberá estar libre de contaminantes.

B) La emisión de polvos, humos, gases, vapores o neblinas a la atmósfera, con motivo de la utilización de sistemas de extracción deberá considerar lo establecido por la legislación en materia ecológica.

En los centros de trabajo donde se produzcan, manejen o almacenen sustancias combustibles, inflamables o explosivas, se deberá contar con un sistema de ventilación que evite la presencia de atmósferas explosivas o inflamables considerando los límites de inflamabilidad y explosividad de las sustancias.

En los centros de trabajo donde se produzcan, manejen o almacenen sustancias irritantes, corrosivas y tóxicas se deberá disponer de sistemas de ventilación para evitar riesgos de incendio, intoxicación o explosión.

Los sistemas, dispositivos o equipos de ventilación artificial que se utilicen para controlar atmósferas inflamables o explosivas, no deberán contribuir por sí mismos a la posibilidad de incendio o explosión por efecto de su funcionamiento.”

“ NOM-022-STPS-1993, Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo en donde la electricidad estática represente un riesgo. Publicada en el Diario Oficial el 6 de diciembre de 1993.

**OBJETIVO:** Establecer las medidas de seguridad para evitar los riesgos que se derivan por la generación de electricidad estática.

**CAMPO DE APLICACION:** La presente NOM-STPS se aplica en los centros de trabajo donde por naturaleza de los procedimientos se empleen materiales, sustancias y equipo capaz de almacenar cargas eléctricas estáticas.

**REQUISITOS DE MAQUINARIA Y EQUIPO:** El equipo y maquinaria metálicos que no estén destinados a conducir energía eléctrica localizados en áreas clasificadas como

peligrosas: deben ser conectados eléctricamente a tierra para la eliminación de la electricidad estática.

Cuando el equipo no esté eléctricamente conectado con los marcos de fierro, las partes sueltas de metal deben ligarse al armazón estructural del edificio o a una barra de tierra. Todo el equipo tal como sopladores, bombas y vibradores, secadoras, motores, etc., deben tener una conexión individual y permanente puestos a tierra.

En las instalaciones de pintura por pulverización los objetos metálicos que han de ser pintados o barnizados y las paredes metálicas de las cabinas, cubículos, recipientes y el sistema de aspiración, serán conectados a tierra.”

“ NOM-025-STPS-1994, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo. Publicada en el Diario Oficial el 25 de mayo de 1994.

**OBJETIVO:** La presente NOM-STPS establece los niveles y requerimientos de iluminación para los centros de trabajo de tal forma que ésta no sea un factor de riesgo y provoque daños a la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

**CAMPO DE APLICACION:** En los centros de trabajo que por la naturaleza de las actividades se requiera de fuentes de luz en el plano y áreas de trabajo.

**REQUERIMIENTOS PARA EL PATRON:** Efectuar el reconocimiento, evaluación y control de la iluminación del centro de trabajo.

Acondicionar la iluminación en los centros de trabajo de acuerdo con la presente norma e instalar las luminarias en una posición apropiada para permitir el proceso y los movimientos del personal.

Conocer las características de su centro de trabajo y el tipo de actividades para proporcionar la iluminación apropiada como se establece en el anexo de esta norma.

#### ANEXO

##### NIVELES DE ILUMINACION EN LUXES:

##### PINTURAS, TALLERES DE

Pintura por inmersión o baño con pistola de aire, esmalte o fuego ..... 600.”

En cuanto al control de emisiones contaminantes, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca a través del Instituto Nacional de Ecología estableció el único proyecto de norma referente al control de emisiones contaminantes en el proceso de recubrimiento de carrocerías de la industria automotriz. Este proyecto de norma se refiere únicamente a los procesos de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta, es decir, que no se aplica a procesos de repintado en cabinas de talleres para repintado automotriz. Sin embargo, y aunque no sea obligatorio para cabinas de repintado es importante considerarlo ya que tanto los materiales como el proceso de recubrimiento son muy similares. Para poder llevar un control de las emisiones contaminantes en el proceso de repintado automotriz, se pueden tomar como referencia los mismos límites permisibles que establece el presente proyecto de norma que a continuación se menciona:

“ PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-121-ECOL-1997, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías de la industria automotriz, así como el método para calcular sus emisiones. Publicado en el Diario Oficial el 4 de agosto de 1997.

**OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION:** Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple de pasajeros y utilitarios, carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones, y es de observancia obligatoria para responsables de las plantas ensambladoras de la industria automotriz que realicen dichas actividades.

**DEFINICIONES:**

**AUTOMOVIL:** Vehículo automotor para el transporte de hasta 10 personas.

**CAMION LIGERO/UNIDADES DE USO MULTIPLE DE CARGA:** Vehículo automotor con o sin chasis, con peso bruto vehicular igual o menor a 3850 Kg. destinado para el transporte de mercancías.

**UNIDADES DE USO MÚLTIPLE DE PASAJEROS:** Vehículo automotor con o sin chasis, destinado para el transporte de 8 hasta 15 personas, incluyendo modelos deportivos y utilitarios.

**VEHICULO UTILITARIO:** Vehículo automotor para el transporte de efectos o hasta de 10 personas, con peso bruto vehicular de más de 2727 Kg.

**COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (COVs):** Cualquier compuesto orgánico que participa en reacciones fotoquímicas atmosféricas.

**FUENTE EXISTENTE:** Es la instalación destinada al recubrimiento de carrocerías nuevas en planta que está en operaciones fecha anterior a la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana.

**FUENTE NUEVA:** Es la instalación destinada al recubrimiento de carrocerías nuevas en planta, proyectada y aprobada su instalación por la autoridad competente después de la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana.

**ESPECIFICACIONES:** Los niveles máximos permisibles de emisión de compuestos volátiles orgánicos que deben cumplir los responsables de las fuentes existentes en el recubrimiento de carrocerías en planta, son los establecidos en la tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

**TABLA 1**  
**FUENTES EXISTENTES**

Tipo de vehículo	Límites máximos permisibles de COVs en (g/m <sup>2</sup> ) a partir del día siguiente de la publicación de esta norma en el D.O.F.	Límites máximos permisibles de COVs en (g/m <sup>2</sup> ) a partir del 1° de enero de 1999.	Límites máximos permisibles de COVs en (g/m <sup>2</sup> ) a partir del 1° de enero del 2006.
Automóviles.	<b>110</b>	<b>85</b>	<b>55</b>
Unidades de uso múltiple para pasajeros y utilitarios.	<b>120</b>	<b>90</b>	<b>60</b>
Unidades de uso múltiple para carga y camiones ligeros.	<b>130</b>	<b>100</b>	<b>75</b>

Los niveles máximos permisibles de emisión de compuestos orgánicos volátiles que deben de cumplir los responsables de las fuentes nuevas en el recubrimiento de carrocerías, son los establecidos en la tabla 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

**TABLA 2**  
**FUENTES NUEVAS**

Tipo de vehículo	Límites máximos permisibles de COVs en (g/m <sup>2</sup> ) a partir del 1° de enero de 1998.
Automóviles	55
Unidades de uso múltiple para pasajeros y utilitarios.	60
Unidades de uso múltiple para carga y camiones ligeros.	75

**METODO:**

El método para calcular la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) es el siguiente:

$$VE = 1000 * \{(VC1 * COV1) + (VC2 * COV2) + Solv1 + Solv2... - (RSA + RSB ...)\} \div B * S$$

Donde:

VE = Promedio de emisión de COVs, en gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>) por mes.

VC1 = Volumen en litros de pintura (ejem. primario de superficie) utilizado en un mes.

COV1 = Contenido de COVs en la pintura 1, en kilogramos por litro (Kg./L) determinado por el método de la prueba ASTM-D-3960.

Solv1 = Peso del solvente 1 (ejem. solvente del primer color), en Kg. utilizado por mes.

Solv2 = Peso del solvente 2 (ejem. purga del solvente), en Kg. utilizado al mes.

RSA = Suma de los solventes recapturados en la fase de vapor y reciclados o destruidos (ejem. emisión de solventes durante la aplicación de la pintura).

RSB = Suma de solventes recuperados en la fase líquida (ejem. purga de solventes o solventes utilizados para limpiar las líneas de recirculación). La suma debe ser el valor neto cualquiera de los sólidos contenidos, medidos por los métodos utilizados para determinar el contenido de COVs en las pinturas en Kg.

B = Número de carrocerías pintadas en un mes.

S = Total del área de la superficie del cuerpo en metros cuadrados.

Hasta al fecha no han sido publicadas Normas Oficiales Mexicanas que reglamenten o se refieran específicamente a la construcción, instalación y operación de una cabina-horno para repintado automotriz. Sin embargo, sí existen normas internacionales que proporcionan información específica. Dentro de la ANSI, la National Fire Protection Association (NFPA) en Estados Unidos ha emitido varias normas referentes a estos puntos. Estas normas se pueden consultar en la Dirección General de Normas de la SECOFI y son las siguientes:

NFPA 33-1995, Spray Application Using Flammable and Combustible Materials.

NFPA 86-1995, Ovens and Furnaces.

NFPA 91-1995, Exhaust Systems for Air Covering of Materials.

NFPA 101-1994, Life Safety Code.

Algunos de los requerimientos más importantes mencionados en estas normas son los siguientes:

- \* Las cabinas de aplicación de pintura deberán estar separadas de cualquier otra operación realizada en el taller por al menos 1m de distancia en todos sus extremos.
- \* Al introducir un vehículo con motor de combustión interna capaz de producir chispa para su ignición, no deberá encenderse dentro de la cabina mientras se este pulverizando pintura ó hasta que el área haya sido lo suficientemente ventilada.
- \* Las lámparas eléctricas que esten fuera de la cabina pero dentro de un radio de 6m deberán estar protegidas contra la caída de partículas calientes en caso de que sufrieran algún daño.
- \* Las lámparas eléctricas portátiles no deberán ser introducidas a la cabina durante el proceso de pulverización.
- \* Toda cabina deberá contar con un switch que apague automaticamente el sistema de calentamiento cuando la temperatura del aire exceda los 93 °C.
- \* Las lámparas de calentamiento por radiación (infrarrojas) que se encuentren permanentemente sujetas al interior de la cabina deberán ser resistentes a la exposición a combustibles o vapores flamables.

- \* Los equipos para pulverizado no deberán operar mientras cualquier sistema de calentamiento por energía eléctrica esté funcionando.
- \* La velocidad del aire dentro de la cabina deberá ser mayor a 31 m/min.
- \* El gasto volumétrico, es decir, el cambio de aire deberá ser como mínimo de 310 m<sup>3</sup>/min.

## **CAPITULO 3**

### **Evaluación del proyecto de inversión.**

#### **3.1 Introducción.**

En los antecedentes se describe el proceso productivo de la empresa y se analizan las condiciones en que trabaja, así como los principales problemas que enfrenta. De éste análisis se destacó la necesidad de incrementar la eficiencia del proceso de pintado para reducir al mínimo el número de vehículos rechazados por defectos de acabado, invirtiendo en una cabina-horno de pintura.

#### **3.2 Análisis del mercado.**

El análisis de mercado es la primera parte de la evaluación del proyecto de inversión. En él se presentan diversas alternativas de marcas y modelos de cabinas para repintado automotriz.

Para poder efectuar un correcto análisis, es necesario recabar toda la información posible de las distintas alternativas. La mayor parte de esta información será útil y necesaria para la comparación de los equipos. Las cotizaciones y presupuestos para cabinas de repintado automotriz, obtenidos en el análisis de mercado, son las siguientes:

**PROVEEDOR # 1:**

DeVilbiss Ransburg de México, S.A de C.V.  
Equipos Industriales de Recubrimiento.

**Fecha de cotización:**

24 febrero 1998.

Vía Dr. Gustavo Baz No. 3990  
54110 Tlalnepantla, Edo. de México  
Tel. 310-74-09 310-68-32  
Fax. 310-47-90

**Modelo:**

**CABINA EXPERT  
SYSTEM 2000**

**Tipo:**

De flujo vertical "Downdraft" con presión positiva (presurizada).

**Especificaciones:**

- Dimensiones interiores:    largo 7.30 m (24')  
  ancho 4.30 m (14')  
  alto 2.70 m (9')
- Puerta de entrada y salida plegable de tres hojas con ventanas de observación.  
  Dimensiones: ancho 10' (3.05m) x alto 9' (2.70m)
- Puerta lateral de acceso peatonal con ventana de observación.  
  Dimensiones: ancho 36" (0.91m) x alto 84" (2.13m)
- Fabricada en lámina galvanizada calibre 18 con aislamiento.
- Acabado con pintura de fábrica color blanco.
- 3 ventanas de observación laterales.
- Unidad de inyección de aire con quemador de sistema directo a gas natural o propano,  
  con motor de 7½ H.P., colocada en el piso anexa a la cabina. Temperatura máxima de  
  horneado de 79°C, con sistema recirculable al 90%.
- Area de filtros de entrada de 4.5 x 2.5 m.
- Velocidad del aire envolviendo completamente al vehículo de 30 m/min. (100 ft/min.).
- Capacidad de movimiento de aire (flujo) de hasta 340 m³/min. (12000 ft³/min.).
- Sistema de control de ruido.
- Ventilador del extractor de 34"Ø y motor de 5 H.P.
- 15 lámparas con 4 tubos fluorescentes de 35 W c/u. Iluminación de 1200 Luxes.

- Rejilla central de extracción.
- Filtros con eficiencia de retención de sólidos de 92%.
- Ducto de entrada y extracción standard de 15' de altura mas 6' por encima del techo.
- Panel remoto de control con:
  - a) Manómetro
  - b) Luces indicadoras de operación
  - c) Switches selectores
  - d) Switch de alumbrado.
  - e) Timer de curado.
  - f) Contador de horas
  - g) Selectores de temperatura para el ciclo de pintado y de curado.

Precio:

Precio L.A.B. en su planta incluyendo instalación

USD \$ 45,600.00 (Cuarenta y cinco mil seiscientos US dólares 00/100) + IVA.

Forma de pago:

50 % anticipo

40 % al entregar materiales

10 % al arranque

Tiempo de entrega:

10-12 semanas

Validez de cotización:

30 días



Capacitación:

Un representante de DeVILBISS USA efectuará la supervisión de la instalación, el arranque del equipo y el entrenamiento y capacitación para la correcta operación del mismo, bajo las normas de seguridad necesarias.

Garantía:

Cinco años de garantía en los páneces y un año en el resto del equipo.

Requerimientos y notas importantes:

1. El cliente deberá proporcionar los siguientes servicios para instalación:

- piso nivelado.
- alimentación de aire comprimido.
- corriente eléctrica 220 V, 60 Hz, 3 fases.
- corriente eléctrica para iluminación 110 V, 60 Hz, 1 fase.
- alimentación de gas natural o propano.

2. Si por causas ajenas a DeVILBISS RANSBURG DE MEXICO, S.A. DE C.V., no es posible efectuar la instalación dentro de los 10 días siguientes a la entrega del material, el cliente deberá cubrir el 10% restante.

3. DeVILBISS no efectúa ni suministra los siguientes trabajos:

- Protección contra incendio
- Tendido de tubería de aire
- Obra civil como la fosa de concreto y los barrenos del techo para los ductos.

**PROVEEDOR # 2:**

**R E C S S.A. de C.V.**

**Fecha de cotización:**

24 de Marzo 1998.

**Nuevo León No. 54-703**

**Col. Condesa 06140**

**México, D.F.**

**Tel. 553-43-35**

**Fax. 286-35-25**

**Modelo:**

**CA-7C**

**Tipo:**

**De flujo vertical "Downdraft" de presión positiva.**

**Especificaciones:**

- Dimensiones interiores:    largo 7 m  
  ancho 4 m  
  alto 3 m
- Puerta de acceso abatible con vidrio de seguridad de 2.95 m ancho x 2.87m alto.
- Filtros de entrada y salida con eficiencia de retención de sólidos de 92 %.
- Area de filtros de entrada de 4.2 x 2.5 m.
- Páneles aislados de lámina galvanizada calibre 18.
- Emparrillado con rejilla para el piso resistente a 600Kg. por marca de llanta.
- Motor de 7.5 H.P. con capacidad de movimiento de aire (flujo) de 315 m<sup>3</sup>/min.  
(12000ft<sup>3</sup>/min.) Velocidad de aire a 30 m/min.
- Dos manómetros indicadores de saturación de filtros.
- Tablero de control.
- Diez lámparas herméticas de dos focos fluorescentes cada uno de 36 W. Iluminación de 600 Luxes.
- Quemador de gas L.P.

**Precio:**

**Precio L.A.B. en su planta incluyendo instalación**

**USD \$ 35,300.00 ( Treinta y cinco mil trescientos dólares 00/100 )+ IVA**

Modelo: SA-7C

Tipo:

De flujo vertical "Downdraft" de presión positiva.

Especificaciones:

Igual que el modelo CA-7C antes mencionado, excepto las paredes aisladas.

Precio:

USD \$ 23,850.00 (Veintitrés mil ochocientos cincuenta dólares 00/100 ) + IVA

Modelo: SA-7F

Tipo:

De flujo vertical "Downdraft" de presión positiva.

Especificaciones:

Igual que el modelo CA-7C antes mencionado, excepto el horno y las paredes aisladas.

Precio:

USD \$ 17,350.00 ( Diecisiete mil trescientos cincuenta dólares 00/100 ) + IVA

Forma de pago:

Al momento del pedido	50 %
Al momento de la entrega del equipo	25 %
Al momento del arranque del equipo	25 %

Tiempo de entrega:

45 días a partir del pago del anticipo.

Capacitación:

Capacitación y asesoría para la óptima operación del equipo sin cargo extra.

Garantía:

5 años de garantía en todas sus partes incluyendo el quemador modelos CA-7C y SA-7C.

Nota:

Las condiciones de pago, capacitación y tiempo de entrega son iguales para todos los modelos.



Opciones adicionales:

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| - Horno de gas L.P. con capacidad de temperatura en los ciclos de pulverizado y de curado de 25 y 80°C respectivamente. | \$ 7,600.00 dólares + IVA |
| - Ampliación de largo a 7.50 m  | \$ 624.00 dólares + IVA   |
| - Luces adicionales (2)   | \$ 715.00 dólares + IVA   |
| - Pintura exterior (6.75 m largo)   | \$ 600.00 dólares + IVA   |
| (7.50 m largo)  | \$ 650.00 dólares + IVA   |

Forma de pago:

- |                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| A la firma del pedido               | 50 % |
| A la llegada del equipo a su planta | 40 % |
| Al término de la instalación        | 10 % |

Tiempo de entrega:

De 6 a 8 semanas a partir del momento de haber recibido el anticipo, con 2 semanas de tiempo para la instalación.

Capacitación:

Capacitación al personal para el uso del equipo sin costo adicional.

Garantía:

Cinco años de garantía en los paneles y un año en el resto del equipo.

Requerimientos y notas importantes:

- Corre por cuenta del cliente cubrir los siguientes requerimientos:
- Deberá existir un centro de carga atrás de donde se instalará la cabina, con las siguientes características: 220V / 3 fases / 60 Hz / 100 Amp.
- Instalación de gas L.P. con una presión de 7 a 14" de columna de agua, tanque estacionario de 1600 L., con tubería de 2" , llave de paso de globo y regulador de baja presión con manómetro.
- Instalación de aire comprimido
- Area de instalación con una altura mínima de techado de 4.50 m y piso totalmente nivelado.

Corre por cuenta del cliente proveer equipo de descarga a la llegada de la cabina a su planta, así como la instalación de la energía eléctrica, línea de aire comprimido hasta la cabina (dos tomas), nivelación de piso, obra civil de la fosa y área totalmente techada.

**PROVEEDOR # 4:**

**MEC Servicios Internacionales S.A. de C.V.**

Fecha de cotización:  
17 de Marzo 1998.

**San Juan de Dios # 497  
Col. Prado Coapa 14350  
Tel. Fax. 603-17-42**

Modelo:

**NOVA VERTA  
EXCEL**

Tipo:

De flujo vertical "Downdraft" de presión positiva.

Especificaciones:

- Dimensiones externas:      largo 6.80 m      internas: 6.60 m  
   ancho 3.60 m                      3.54 m  
   alto 3.40 m                      2.65 m
- Páneles de lámina de acero galvanizado calibre 18 protegidos en el interior con revestimiento vinílico blanco y en el exterior con acabado vinílico azul.
- Aislamiento térmico en poliuretano.
- Puerta de acceso abatible de tres hojas con ventana y vidrio de seguridad.  
Dimensiones de ancho 2.40 m x 2.60 m alto.
- Puerta de servicio peatonal con bisagras y cerraduras laterales de seguridad.
- Motor de 7.5 H.P. con capacidad de movimiento de aire (flujo) de 255 m<sup>3</sup>/min.  
(9000 ft<sup>3</sup>/min.). Velocidad de aire a 27 m/min (90 ft/min).
- Quemador de gas L.P. indirecto con intercambiador de calor.
- Panel de control
- Diez lámparas de tres tubos fluorescentes de 36 W c/u . Iluminación de 800 Lux.
- Filtros de entrada y salida de fibra de vidrio con eficiencia de retención de sólidos 90%.
- Area de filtros de entrada de 3.8 x 2.5 m.

Precio:

USD \$ 24,200.00 (Veinticuatro mil doscientos dólares 00/100) + IVA  
Precio FOB (puestos en fábrica).

Forma de pago:

Al momento de ordenar 50 %  
Saldo restante contra entrega, instalación y puesta en marcha del equipo.

Tiempo de entrega:

De 45 a 60 días a partir de la orden de compra.

Garantía:

Un año en todo el equipo a partir de la fecha de entrega, únicamente contra defectos de fabricación. Se excluyen los daños causados por problemas eléctricos de la instalación, mal manejo, inundación, incendio y casos fortuitos.

Capacitación:

Soporte técnico y capacitación al personal sin cargo extra.

Las anteriores cotizaciones, fueron recabadas de las cuatro empresas más importantes y reconocidas dentro del área metropolitana por la industria del repintado automotriz. Estas proveen todo tipo de maquinaria y accesorios como son: pistolas para pulverizar, rampas neumáticas, equipo de enderezado de carrocerías, así como todas las refacciones para cabinas de pintura. Cabe mencionar que fueron las únicas que proporcionaron, en sus cotizaciones, la información completa y necesaria, para poder llevar a cabo la correcta evaluación y comparación de las alternativas.

A continuación se desarrollará el análisis técnico. Se evaluarán las características de cada cabina de acuerdo a ciertos criterios de selección y a los problemas detectados en la empresa. Por medio de una matriz de decisión se definirá cuál o cuáles son las mejores opciones.

### 3.3 Análisis técnico.

El análisis técnico consta de la evaluación de las cabinas presentadas en el estudio de mercado, con el fin de clasificarlas de acuerdo a los criterios de selección presentados a continuación. Por medio de esta clasificación se identificará cuál o cuáles son las que mejor se adaptan y responden a los requerimientos y problemas existentes en esta empresa.

#### Los criterios de selección son:

- ☞ que su operación sea de fácil manejo.
- ☞ que su mantenimiento y limpieza se logre de manera rápida y sencilla.
- ☞ que cuente con respaldo técnico para su operación y mantenimiento.
- ☞ que cumpla con las funciones básicas para cabinas de repintado automotriz.
- ☞ que cumpla con las normas nacionales e internacionales de seguridad para la protección a los trabajadores.
- ☞ que sea de flujo vertical y de presión positiva.
- ☞ que sea una cabina que reduzca al mínimo las bolsas de aire y la turbulencia que pudiera generarse en el interior.
- ☞ que garantice al máximo un ambiente libre de impurezas a través de una correcta filtración del aire.
- ☞ que cuente con sistema de calentamiento (horno de gas) o que tenga la posibilidad de instalarlo posteriormente.

La evaluación se realizará a través de una matriz de decisión comparando las características o especificaciones más importantes de las cabinas. Es así, como se han seleccionado siete factores que se consideran como relevantes para el análisis técnico. A cada factor se le ha asignado un determinado peso de acuerdo a su importancia en función del proceso productivo y las necesidades de la empresa, el cual depende en primer lugar de los criterios de selección establecidos, pero también de los conocimientos adquiridos sobre pinturas automotrices, características y funcionamiento de las cabinas.

**Los factores relevantes para la matriz de decisión son los siguientes :**

1. El gasto volumétrico de aire óptimo será de 310 m<sup>3</sup>/min. Es decir, que la cabina que alcance o supere este nivel obtendrá la mayor calificación.
2. El número de Reynolds es un parámetro adimensional que sirve para determinar que tan turbulento es el flujo de aire dentro de la cabina. La cabina que tenga el menor número de Reynolds será la que genere menor turbulencia, reduciendo al mínimo las bolsas de aire muerto. Este parámetro se obtendrá de la siguiente forma:

$Re = VD / \nu$  donde V = velocidad promedio del aire dentro de la cabina en m/s.

D = diámetro hidráulico del área de los filtros de entrada.

$\nu$  = viscosidad cinemática del aire a 20°C en m<sup>2</sup>/seg.  
= 1.488 x 10<sup>-5</sup>

La cabina que resulte con el menor número de Reynolds obtendrá mejor calificación.

3. El área de los filtros de entrada será la mayor posible, aumentando la capacidad de filtrado de aire, elevando la vida útil de los filtros y contribuyendo a un mayor gasto volumétrico.
4. Los filtros deberán ser los de mayor eficiencia en porcentaje de retención de sólidos.
5. El nivel de iluminación mínimo a alcanzar será de 600 luxes.
6. La cabina que cuenta con un horno de gas obtendrá la mayor calificación, la que ofrezca la posibilidad de instalarlo posteriormente una calificación regular.

En la tabla # 2 se presenta un resumen con las especificaciones más importantes de cada cabina, de acuerdo a los factores relevantes que se utilizarán en la matriz de decisión tabla # 3. El modelo Flex Built de DeVilbiss se excluyó de la matriz de decisión ya que es una cabina de flujo horizontal de presión negativa y que no cuenta con horno. Por lo tanto no cumple con los criterios de selección establecidos.

Especificaciones de cada cabina de acuerdo a los datos de los proveedores.

		RECS			Grupo TRI			MEC
De Vibiss		CA-7C	SA-7C	SA-7F	Blowtherm con horno	Blowtherm sin horno	Nova Verta	
Expert System								
Gasto volumétrico de aire (flujo) en m <sup>3</sup> /min	340	341	341	341	350	350	255	
Número de Reynolds	26881	26209	26209	26209	28602	28602	22681	
Area de filtros de entrada en m <sup>2</sup>	11.25	10.5	10.5	10.5	10	10	9.5	
Eficiencia de filtros en % de retención de sólidos	92	92	92	92	98	98	95	
Nivel de iluminación en Luxes	1200	600	600	600	745	745	800	
Cuenta con horno de gas	si	si	si	no	si	no	si	
Posibilidad de instalar el horno posteriormente	-	-	-	si	-	si	-	

Tabla # 2

**MATRIZ DE DECISION**

		RECS						Grupo TRT			MEC			
De Vilbiss								Blowtherm con horno			Nova Verta			
Expert System		CA-7C	SA-7C	SA-7F	Blowtherm sin horno									
Factores relevantes	Peso asignado	C	C.P.	C	C.P.	C	C	C.P.	C	C.P.	C	C.P.	C	C.P.
		Gasto volumétrico de aire	.20	9	1.8	9	1.8	9	10	2	10	2	10	2
Número de Reynolds	.15	8	1.2	8	1.2	8	7	1.05	7	1.05	7	1.05	10	1.5
Area de filtros de entrada	.15	10	1.5	9	1.35	9	8	1.2	8	1.2	8	1.2	7	1.05
Eficiencia de los filtros	.15	8	1.2	8	1.2	8	10	1.5	10	1.5	10	1.5	9	1.35
Nivel de iluminación	.15	10	1.5	6	.9	6	8	1.2	8	1.2	8	1.2	9	1.35
Cuenta con horno de gas Posibilidad de instalar el horno posteriormente	.20	10	2	10	2	10	5	1	10	2	5	1	10	2
SUMA de puntos obtenidos	1.00		9.2		8.45			8.45		8.95		7.95		8.45

C = calificación  
C.P. = calificación ponderada

Tabla # 3.

Los resultados de la matriz de decisión arrojaron los siguientes resultados:

Marca	Modelo	Puntos
DeVilbiss	Expert System	9.2
RECS	CA-7C	8.45
RECS	SA-7C	8.45
RECS	SA-7F	7.45
Grupo TRT	Blowtherm con horno	8.95
Grupo TRT	Blowtherm sin horno	7.95
MEC	Nova Verta	8.45

De acuerdo a la calificación obtenida por cada modelo de cabina, se obtuvo que las dos mejores fueron la Expert System con 9.2 puntos y la Blowtherm con horno con 8.95 puntos. Técnicamente éstas cabinas son las que ofrecen mayores ventajas, ya que son las que cuentan con el mayor gasto volumétrico de aire, cumplen con las normas ANSI respecto a la velocidad del aire, cuentan con horno de gas y satisfacen los criterios de selección establecidos. Sin embargo, hay que realizar el estudio económico de todas las alternativas para determinar cuál opción es la más rentable para la empresa; analizando precios, costos de mantenimiento, valor de recuperación, garantía etc. De esta forma se completará la evaluación del proyecto y se tendrán las bases para proponer la mejor alternativa de compra para la empresa.

### 3.4 Análisis económico.

Cuando se requieren inversiones de capital para equipos, materiales y mano de obra, las técnicas de la ingeniería económica pueden utilizarse para ayudar a determinar cuál es la mejor de la diversas alternativas involucradas. Durante el análisis de ingeniería económica, los valores monetarios al igual que los datos que se usan en la evaluación son solamente estimativos futuros de lo que se espera suceda si una u otra alternativa se llevara a cabo. Por consiguiente, cuanto más precisos sean estos estimativos en el momento de hacer el análisis, mejor será la decisión cuando se escoja una de las alternativas.

Las relaciones matemáticas usadas en la ingeniería económica emplea los siguientes símbolos y factores para realizar los cálculos económicos:

#### Símbolos:

$P =$	valor o suma de dinero en un tiempo denominado presente; dólares, pesos, etc.
$F =$	valor o suma de dinero en algún tiempo futuro; dólares pesos, etc.
$A =$	serie consecutiva, igual de dinero al final de cada periodo; dólares por mes, etc.
$n =$	número de periodos; meses, años, etc.
$i =$	tasa de interés o tasa mínima requerida por periodo; porcentaje por mes, porcentaje por año, etc.

La tasa de retorno mínima o interés, es una medida del incremento entre la suma originalmente invertida y la cantidad final acumulada. Así, si se invierte dinero, el interés será la cantidad acumulada menos la inversión original. Cada inversionista o empresa fija su tasa de interés de acuerdo al costo del capital invertido y a su política de administración. En otras palabras, si la tasa de interés del banco para una inversión fuera del 10 % anual, cualquier empresa fijaría su tasa por encima de ésta, tomando en cuenta el riesgo que implica la inversión.

**Factores:**

Nombre	Notación estándar	Fórmula
Valor presente pago único (FVPPU)	$(P/F, i\%, n)$	$P = F [1/(1+i)^n]$
Cantidad compuesta pago único (FCCPU)	$(F/P, i\%, n)$	$F = P (1+i)^n$
Valor presente serie uniforme (FVPSU)	$(P/A, i\%, n)$	$P = A [(1+i)^n - 1 / i(1+i)^n]$
Recuperación de capital (FCR)	$(A/P, i\%, n)$	$A = P [i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$
Fondo de amortización (FFA)	$(A/F, i\%, n)$	$A = F [i / (1+i)^n - 1]$
Cantidad compuesta serie uniforme (FCCSU)	$(F/A, i\%, n)$	$F = A [(1+i)^n - 1 / i]$

Hay tres métodos básicos utilizados para ejecutar un análisis económico: valor presente (VP), costo anual uniforme equivalente (CAUE) y tasa de retorno (TR). Los tres métodos llevan a idénticas decisiones para la selección de alternativas cuando se aplica al mismo conjunto costos e ingresos estimados y cuando las comparaciones se conducen correctamente.

En el presente análisis se utilizará el método del costo anual uniforme equivalente (CAUE). En este método todos los ingresos y desembolsos (irregulares o uniformes) se convierten en una cantidad anual uniforme equivalente. La principal ventaja de este método sobre los otros es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo de años cuando las alternativas tienen vidas útiles diferentes. Es decir, el CAUE de una alternativa debe calcularse para un ciclo de vida solamente. Si el proyecto continuara durante más de un ciclo, el costo anual equivalente para el próximo ciclo y subsiguientes, será exactamente igual que para el primero, suponiendo que todos los flujos de caja fueran los mismos para cada ciclo. La comparación y selección de alternativas se hace, escogiendo la alternativa que tenga el menor costo, es decir, el más bajo CAUE. En otras palabras, la selección se hará sobre la alternativa por la cual la empresa tenga que pagar la menor cantidad de dinero expresada anualmente.

Dado que las alternativas tienen un valor final de salvamento (VS), el CAUE se calculará por el método de la recuperación de capital más intereses. La ecuación general para este método es:

$$\text{CAUE} = (P - VS) (A/P, i\%, n) + VS (i)$$

Al restar el valor de salvamento del costo de inversión, antes de multiplicar por el factor  $A/P$ , se está reconociendo que se recuperará el valor de salvamento. Sin embargo, el hecho de que el valor de salvamento no se recupere durante  $n$  años debe tenerse en cuenta añadiendo el interés (VSI) perdido durante la vida útil del activo. Si se olvidara incluir este término sería lo mismo que suponer que el valor de salvamento se obtuvo en el año 0 en lugar del año  $n$ . Los pasos a seguir para la aplicación de este método son los siguientes:

1. Restar el valor de salvamento del costo inicial.
2. Anualizar la diferencia resultante mediante el factor  $A/P$ .
3. Multiplicar el valor de salvamento por la tasa de interés.
4. Sumar los valores obtenidos en los pasos 2 y 3.
5. Sumar los costos anuales uniformes al resultado del paso 4.
6. Sumar todas las otras cantidades uniformes para flujos de caja adicionales.

Para que los proveedores de cada cabina puedan estimar los costos de operación y mantenimiento de sus equipos en función del nivel de producción de cualquier empresa, tienen que considerar los siguientes datos: la cantidad de vehículos que se pintan y el sistema de pintura que se emplea. Para esta empresa, el número de vehículos pintados es de 16 al mes, utilizando sistemas bicapa de laca acrílica y esmalte de poliuretano. Los costos se estimaron calculado una producción de 20 unidades por mes. Estos son:

Costo anual de mantenimiento, que comprende:

- cambio de filtros de salida (piso).
- cambio de filtros de entrada y limpieza del plenum.
- limpieza de rejillas y charolas.
- limpieza de la fosa.
- limpieza de paneles, interior y exterior.
- calibración de presión dentro de la cabina.
- revisión de voltajes.
- ajuste y lubricación de puertas.

- verificación de hermeticidad en el equipo.
- limpieza de los ventiladores.
- revisión de los motores y cambio de bandas.
- limpieza del quemador.
- revisión de presión de gas en línea de suministro.
- revisión de línea de aire.

Costo anual de operación que comprende:

- gasto de combustible (gas) para el horno.
- gasto de energía eléctrica consumida directamente por la cabina en el sistema de iluminación y en los motores eléctricos.

Valor de salvamento:

- valor estimativo de venta del equipo al término de la vida útil.

En la tabla # 4 se muestran las cifras estimadas por los proveedores para cada modelo de cabina. Con ellas se procederá al cálculo del CAUE.

Costos estimados para cada modelo de cabina.

Proveedores:

De Vibbiss	RECS			Grupo TRT		MEC
------------	------	--	--	-----------	--	-----

Modelos:

Expert System	CA-7C	SA-7C	SA-7F	Blowtherm con horno	Blowtherm sin horno	Nova Verta
---------------	-------	-------	-------	---------------------	---------------------	------------

Costo inicial, en pesos.	\$ 450,984.-	\$ 349,160.-	\$ 235,898.-	\$ 171,570.-	\$ 372,638.-	\$ 297,474.-	\$ 239,338.-
Costo anual de mantenimiento, en pesos.	\$ 22,000.-	\$ 22,500.-	\$ 21,000.-	\$ 15,000.-	\$ 20,500.-	\$ 18,000.-	\$ 18,500.-
Costo anual de operación, en pesos.	\$ 15,000.-	\$ 15,000.-	\$ 15,000.-	\$ 10,000.-	\$ 15,000.-	\$ 11,000.-	\$ 12,500.-
Valor de salvamento en pesos.	\$ 172,000.-	\$ 137,600.-	\$ 94,600.-	\$ 60,200.-	\$ 137,600.-	\$ 103,200.-	\$ 71,810.-
Vida útil, en años	20	18	18	18	20	20	15
Garantía, en años	5 en estructura y 1 en el resto del equipo	5 en todo el equipo	5 en todo el equipo	5 en todo el equipo	5 en estructura y 1 en el resto del equipo	5 en estructura y 1 en el resto del equipo	1 en todo el equipo

Tipo de cambio del dolar al 22/04/98 -- \$ 8.60

Tabla # 4.

Los cálculos para determinar el CAUE de las siete alternativas son los siguientes:

*La tasa de retorno mínima requerida por la empresa es de 25 % anual.*

Cabina Nova Verta de MEC.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (239,338 - 71,810) (A/P, 25\%, 15) + 71,810(0.25) + 31,000 \\ &= (167,528) (0.25912) + 48,952 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 92,361.-**

Cabina Blowtherm con horno de Grupo TRT.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (372,638 - 137,600) (A/P, 25\%, 20) + 137,600(0.25) + 36,500 \\ &= (235,038) (0.25292) + 70,900 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 130,345.-**

Cabina Blowtherm sin horno de Grupo TRT.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (297,474 - 103,200) (A/P, 25\%, 20) + 103,200(0.25) + 29,000 \\ &= (194,274) (0.25292) + 54,800 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 103,935.-**

Cabina SA-7F de RECS.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (171,570 - 60,200) (A/P, 25\%, 18) + 60,200(0.25) + 25,000 \\ &= (111,370) (0.25459) + 40,050 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 68,403.-**

Cabina SA-7C de RECS.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (235,898 - 94,600) (A/P, 25\%, 18) + 94,600(0.25) + 36,000 \\ &= (141,298) (0.25459) + 59,650 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 95,623.-**

Cabina CA-7C de RECS.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (349,160 - 137,600) (A/P, 25\%, 18) + 137,600(0.25) + 37,500 \\ &= (211,560) (0.25459) + 71,900 \end{aligned}$$

**CAUE = \$ 125,761.-**

Cabina Expert System de DeVilbiss.

$$\begin{aligned} \text{CAUE} &= (450,984 - 172,000) (A/P, 25\%, 20) + 172,000(0.25) + 37,000 \\ &= (278,984) (0.25292) + 80,000 \end{aligned}$$

$$\text{CAUE} = \$ 150,560.-$$

Marca	Modelo	Puntos	Posición respecto al análisis técnico	CAUE	Posición respecto al análisis económico
DeVilbiss	Expert System	9.2	1	\$ 150,560	7
RECS	CA-7C	8.45	3	\$ 125,761	5
RECS	SA-7C	8.45	3	\$ 95,623	3
RECS	SA-7F	7.45	5	\$ 68,403	1
Grupo TRT	Blowtherm con horno	8.95	2	\$ 130,370	6
Grupo TRT	Blowtherm sin horno	7.95	4	\$ 103,935	4
MEC	Nova Verta	8.45	3	\$ 92,361	2
<b>Promedio</b>		<b>8.41</b>		<b>\$ 109,573</b>	

Tabla # 5

Con los resultados obtenidos tanto del análisis técnico como del económico, se realizará una ponderación con base en el promedio de puntos obtenidos del análisis técnico y el CAUE de todas las alternativas. De esta forma, la cabina que ofrezca mayores ventajas técnicas al menor costo posible será la mejor alternativa de selección.

Analizando la tabla # 5, se deduce que los modelos *Expert System*, *Blowtherm con horno* y *CA-7C* rebasan por mucho el promedio del costo anual que implicaría para la empresa su adquisición. Por otro lado, los modelos *SA-7F* y *Blowtherm sin horno*, tienen la peor posición en cuanto las características técnicas analizadas.

Para tomar una decisión entre las dos opciones restantes, es decir, los modelos *SA-7C* y *Nova Verta* las cuales cuentan con la misma puntuación en sus características técnicas a la vez que sus costos anuales son casi iguales, se tomará en cuenta un factor importante: la garantía que ofrecen los proveedores. En el primer caso el proveedor ofrece una garantía de 5 años en todo el equipo, mientras que para el segundo es de sólo un año.

De manera que la alternativa de selección más viable de acuerdo a las necesidades de la empresa, los criterios de selección establecidos en el análisis técnico y los costos obtenidos del análisis económico es el **modelo SA-7C** de la **empresa RECS**. Se recomienda a esta empresa la adquisición de dicha cabina, ya que cuenta con horno, cumple con las especificaciones marcadas por las Normas Oficiales y satisface sus necesidades a un costo anual que no representa una inversión tan grande, como en las otras alternativas.

Debe quedar claro, que la decisión final sobre la compra de cualquier equipo, la tomará la empresa analizando la presente evaluación para dar solución a sus necesidades.

# CONCLUSIONES

## Primera

El desarrollo de esta tesis ha permitido encontrar, si no la solución definitiva al problema de esta empresa en particular, sí una posible alternativa a través de un análisis objetivo. Toda la información proporcionada junto con el resultado obtenido, son elementos de gran importancia en la toma de la decisión final. Cabe mencionar que otra posible solución pudo haber sido, que la empresa desarrollara y construyera su propia cabina-horno. Sin embargo, a través de la búsqueda de información y el desarrollo de la presente tesis, se encontró que esta alternativa resultaría poco conveniente, debido a que la empresa no dispone del tiempo ni de los medios suficientes para construirla. Es decir, resultaría más costoso diseñar y construir una cabina que cumpla con las Normas Oficiales y se adapte a necesidades específicas, que adquirir una ya hecha, aprobada y con garantía. De igual forma, el dejar de invertir en una cabina-horno resultaría perjudicial para los propósitos de la empresa de incrementar la calidad de sus acabados, reducir el tiempo de aplicación de las pinturas y hacer más eficiente el proceso de pintado. Por eso es válido afirmar que la presente evaluación, cumple con el objetivo planteado de encontrar la mejor solución en una cabina que posea las mejores características técnicas con el mínimo de inversión monetaria.

Sin lugar a dudas éste no es un objetivo único de esta empresa. En todo proceso de fabricación que tenga como fin proporcionar ganancias para el inversionista, se buscará siempre mayor eficiencia, asignando recursos a la alternativa que demuestre ser la mejor. El encontrar esta respuesta es una actividad fundamental para todo ingeniero.

## Segunda

Es un hecho que la industria de las pinturas automotrices tiende a producir o desarrollar sistemas de pintura que sean cada vez más durables y resistentes, y que al aplicarlas causen el menor daño posible al medio ambiente. Una de las características de estas pinturas, es que tienen que ser aplicadas y horneadas bajo las condiciones controladas que proporciona una cabina-horno. Este desarrollo que por ahora se está dando en las plantas armadoras de vehículos, es decir, como pintura original, se impondrá también a todas las empresas y talleres de repintado automotriz.

Los vehículos que hoy en día salen de planta con pintura de esmalte de poliuretano bicapa y esmalte de poliuretano bicapa base agua, tendrán que ser reparados en un futuro con el mismo sistema, si se quieren obtener acabados de buena calidad. Por tanto, la inversión en una cabina-horno se vuelve una inversión necesaria.

Hay que recordar que para obtener óptimos resultados en el acabado de un vehículo, influyen varios factores que la empresa tendrá que cuidar: los materiales utilizados, la mano de obra y el equipo con que se trabaja. Si uno de estos factores falla, la calidad del acabado no será la deseada. En otras palabras, la adquisición de una cabina de repintado automotriz no garantizará acabados perfectos, sin embargo, es seguro que ofrecerá condiciones favorables y más seguras.

### Tercera

En mi opinión, es importante y necesario realizar las operaciones de pulverizado de pintura dentro de una cabina-horno. Como se ha visto, esto no sólo ayuda a eliminar fallas en los acabados, haciendo más eficiente el proceso; también se reduce en gran medida el riesgo de accidentes para los trabajadores y la contaminación ambiental. Por ahora las normas oficiales sólo regulan las operaciones de pulverizado en planta (Norma 121-ECOL), estableciendo niveles máximos permisibles de emisión de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. Pero no tardará mucho tiempo en que las autoridades apliquen también esas normas para actividades de repintado automotriz. Por eso es importante recordar, que la cabina-horno que se propone, es un equipo que cumple con las normas al respecto.

# BIBLIOGRAFIA

- \* MANUAL DE REPARACION Y REPINTADO DE CARROCERIAS AUTOMOTRICES , Tomo 3 Quinta Edición, A.G. DEROCHE; Prentice-Hall. ( Biblioteca del edificio principal de la F.I.)
- \* APUNTES DEL PROGRAMA MASTER EN TECNOLOGIA DE PINTURAS , UNIVERSIDAD DE BARCELONA, ESPAÑA; Director: P. Molera Sola; Noviembre de 1994.
- \* NORMATIVIDAD PARA LOS TRABAJOS ESCRITOS , UNIVERSIDAD ANAHUAC DEL SUR.
- \* BASF PINTURAS, S.A. DE C.V. DIVISION R-M Curso de capacitación en pinturas impartido por el Sr. Julio Ortiz, Septiembre de 1997 .
- \* TESIS: ANALISIS DE UN SISTEMA PARA APLICACION DE PINTURA EN UNA PLANTA DE ENSAMBLE AUTOMOTRIZ , Director: Ing. Salvador González González, 1981 F.I. Universidad Nacional Autónoma de México.
- \* TESIS: FACTORES FISICO-QUIMICOS EN LA APLICACION DE PINTURAS AUTOMOTRICES, JOSE LUIS GONZALES RODRIGUEZ; Universidad La Salle, 1991.
- \* NORMAS OFICIALES MEXICANAS. Secretaria del trabajo y Previsión Social. NOM-025-1994, NOM-022-1993, NOM-016-1993, NOM-002-1993 y NOM-001-1993.
- \* NORMA OFICIAL MEXICANA. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. NOM-121-ECOL-1997.
- \* NORMAS ANSI / NFPA 33-1995. / NFPA 86-1995. / NFPA 91-1995. / NFPA 101-1994. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- \* MANUAL DEL INGENIERO MECANICO. E.AVALLONE y T.BAUMEISTER; 9ª edición; Tomo 1 y 2 Editorial McGraw-Hill.
- \* PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS , NASSIR SAPAG CHAIN Y REINALDO SAPAG CHAIN; Segunda edición 1993; Edit. McGraw-Hill.
- \* EVALUACION DE PROYECTOS. ANALISIS Y ADMINISTRACION DEL RIESGO , G. BACA URBINA; Segunda edición, 1990; Edit. McGraw-Hill.
- \* INGENIERIA ECONOMICA , GEORGE A. TAYLOR; Segunda edición, 1986; Edit. Limusa.
- \* INGENIERIA ECONOMICA , T. BLANK y J. TARQUIN; Tercera edición, 1991; Edit. McGraw-Hill.
- \* DINAMICA DE FLUIDOS , James W. Daily y R.F. Harteman; Segunda edición, 1971; Edit. Trillas.
- \* MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA , Ranald V. Giles; Segunda edición, Serie Schaum; Edit. McGraw-Hill.

\* DeVILBISS RANSBURG DE MEXICO, S.A. DE C.V. Equipos Industriales de Recubrimiento. Cotizaciones de sus modelos de cabinas para repintado automotriz. Información del departamento de ventas.

\* GRUPO T.R.T., S.A. DE C.V. Distribuidores Blowtherm en México. Cotizaciones de sus modelos de cabinas para repintado automotriz.

\* RECS S.A. DE C.V. Cotizaciones de sus modelos de cabinas para repintado automotriz.

\* MEC S.A. DE C.V. Cotizaciones de sus modelos de cabinas para repintado automotriz.