

63



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**"CAMPUS ARAGÓN"**

**"APLICACIÓN DE PROCESOS DE METALIZADO A LAS INDUSTRIAS DE MANTENIMIENTO Y MANUFACTURA."**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**VICTOR RUBIO PATIÑO**

**ASESOR: ING. FRANCISCO GARCÍA MORA**

276125

**San Juan de Aragón, Estado de México 2000.**



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.

## **DEDICO ESTE TRABAJO A:**

### **MI MADRE:**

**MARIA D' JESUS PATIÑO**

Por haberme indicado el camino correcto y por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de mi vida y de mi carrera profesional

### **A MI ESPOSA E HIJOS:**

**MARIA ELENA, VÍCTOR Y LESLIE**

Los cuales me han dado todo el apoyo, cariño y motivación necesaria para que pudiera concluir con una etapa muy importante de mi vida y que espero que sirva de motivación a mis hijos en su futuro desarrollo como profesionistas.

### **A MIS HERMANOS:**

**TERE  
JULIO  
BETY  
FERNANDO  
E  
ISRAEL**

Por su cariño y apoyo incondicional gracias.

### **A MI ASESOR:**

**ING. FRANCISCO GARCÍA MORA**

Por todo el apoyo y paciencia que me brindo para poder concluir este trabajo

# INDICE

	PAG.
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE METALIZADO .....	5
2.1 DEFINICIÓN .....	5
2.2 VARIACIONES DEL PROCESO.....	6
2.3 NATURALEZA DE LOS RECUBRIMIENTOS.....	6
2.4 MÉTODOS DE DEPOSICIÓN.....	10
2.4.1 COMBUSTIÓN .....	10
2.4.1.1 ALAMBRE Y BARRA .....	11
2.4.1.2 POLVOS METÁLICOS .....	12
2.4.1.3 PISTOLA DE DETONACIÓN.....	14
2.4.2 CALENTAMIENTO ELÉCTRICO .....	16
2.4.2.1 PROCESOS DE ALAMBRE .....	16
2.4.2.2 PLASMA DE ARCO NO TRANSFERIDO .....	17
2.4.3 ALTA VELOCIDAD DE OXIGENO Y COMBUSTIBLE (H.V.O.F.) .....	19
2.5 SUPERFICIES DE PREPARACIÓN .....	20
2.5.1 LIMPIEZA Y MANEJO DE LOS SUBSTRATOS .....	21
2.5.1.1 DESENGRASAMIENTO POR VAPORIZACIÓN .....	21
2.5.1.2 EXPLOSIÓN DE ABRASIVO CON VAPOR .....	23
2.5.1.3 LIMPIEZA ULTRASÓNICA.....	23
2.5.1.4 UTILIZACIÓN DE MEDIOS ABRASIVOS.....	24
2.5.2 RUGOSIDAD DEL SUBSTRATO .....	25
2.5.3 USO DE ARENA ABRASIVA PARA PROPORCIONAR RUGOSIDAD .....	26
2.5.3.1 MEDIDAS DE LOS MATERIALES ABRASIVOS .....	28
2.5.3.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA LIMPIEZA DE LOS SUBSTRATOS .....	29
2.5.4 PREPARACIÓN DE LOS SUBSTRATOS POR MEDIO DE MECANIZADO Y/O POR MEDIO DEL USO DE RECUBRIMIENTOS ADHERENTES .....	31

## 1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo tiene como objetivo el proporcionar los elementos fundamentales necesarios para poder utilizar los procesos de metalizado en las industrias que están dedicadas al mantenimiento y a la manufactura de elementos de máquinas.

Otro de los objetivos de este trabajo es dar a conocer esta tecnología poco difundida en México a todos los estudiantes universitarios y profesionales que se estén desarrollando en el área metalmeccánica, para brindarles información de otras alternativas de reconstrucción de piezas que formen parte de algún equipo mecánico.

Dentro del desarrollo de este trabajo se plantean los fundamentos principales de estos procesos, los cuales se describen de forma que se entiendan los métodos de deposición existentes hasta este momento, además de explicar cuales son los procesos que se utilizan para la preparación de las piezas antes de ser recubiertas y por consiguiente la descripción de los procesos por los cuales pueden ser terminados estos recubrimientos.

Dentro de los temas tratados se abarcan las propiedades con que cuentan los recubrimientos que son aplicados mediante este tipo de proceso, y al final de este trabajo se da un caso práctico de aplicación en la industria editorial para la solución inmediata de un problema, el análisis de solución demuestra la justificación económica de su utilización y las ventajas que se obtiene de ello, para poder lograr ahorros en tiempo y dinero mediante la utilización de estas técnicas de recuperación en lugar de tratar de fabricar piezas nuevas, lo que daría como resultado un amplio beneficio para gran parte de la industria en México

La expansión del proceso puede extenderse de manera importante en nuestro país en áreas de partes que necesiten ser recuperadas y hasta la esfera del diseño y manufactura. Ya que una amplia variedad de componentes tales como: Cilindros de laminación de acero y componentes de motores de automóvil tienen superficies metálicas aplicadas durante la fabricación original, con la finalidad de que tengan

características que no pueden obtenerse con otro proceso. De manera general las tres áreas de aplicaciones en Ingeniería pueden resumirse como sigue:

### 1. Recuperación de Componentes Desgastados:

El empleo del proceso y todavía el más rápido de todos los medios de recuperación, en donde no es necesario desechar piezas caras, por el contrario, pueden renovarse muy rápidamente y aun costo mínimo con una vida útil mas larga que la del componente original.

### 2. Piezas Mecanizadas Deficientemente:

De la misma manera, toda pieza con mecanizado deficiente, tanto si se trata de un componente caro ó como uno de un lote de unidades de producción de costo bajo, puede recuperarse rápidamente sin gran gasto.

### 3. Superficies Nuevas:

Algunos componentes nuevos cuentan con metalizados de aleación de Acero, Bronce, Molibdeno, Nickel y Aleaciones de Boro y Cromo, dichos materiales son incorporados durante la manufactura del elemento. Esto permite que los materiales de base de poco costo tengan superficies resistentes al desgaste, abrasión, corrosión ó tal vez una combinación de los 4.

## HISTORIA DEL METALIZADO.

La metalización fue inventada y dada a conocer en el año de 1910 en Suiza y fue el primer país en realizar un trabajo de metalizado utilizando como material de aporte polvos metálicos.

Pocos años más tarde fue desarrollada la pistola de alambre la cual fue el prototipo de las pistolas presentes en nuestros días. En esos equipos el metal a ser rociado se alimentaba dentro de la pistola por medio de un mecanismo automático, y se realizaba la fusión del material por medio de una flama producto de la combustión de gas y oxígeno.

Más tarde la tecnología desarrollada de procesos de metalizado se introdujo en Estados Unidos alrededor del año de 1920. El proceso de pulverización de materiales fue introducido a su vez en Dudley (Inglaterra) en el año de 1922 como una nueva forma de protección anticorrosiva. De ahí hasta nuestros días, este proceso ha crecido y forma parte vital de muchas industrias en el extranjero.

El aparato usado para este propósito es una pistola de tamaño y aspecto no muy diferentes a las empleadas para la pulverización de pintura, pero a diferencia de estas las de metalizado utilizan otros equipos especiales necesarios para poder desarrollar este proceso. La materia prima es alimentada automáticamente en forma de alambre, barra o polvo y el calor necesario se puede obtener de una flama de gas oxígeno - combustible, arco eléctrico ó una combinación de estos. Una de las características de este proceso es que los depósitos se aplican en estado de fusión mientras que el material base del sustrato experimenta solo un pequeño cambio de temperatura.

Las aplicaciones en Ingeniería abarcan las actividades de pulverización de metales en la que el metal es depositado en componentes de maquinas para recuperar superficies desgastadas o deficientemente mecanizadas e impartir características deseables tales como resistencia al desgaste y mejor resistencia a la corrosión de componentes nuevos.

## 2. FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE METALIZADO

Los procesos de metalizado son métodos de recuperación de piezas especializados que tienen un amplio rango de utilización en el área de manufactura y mantenimiento.

La naturaleza de los procesos es verdaderamente sinérgico, ya que existen muchos componentes y variables que están envueltos, los cuales cuando trabajan juntos y son propiamente aplicados producen un efecto tan grande que difiere del indicado para cada variable si fuesen considerados de manera aislada .

### 2.1 DEFINICIÓN

Los procesos de metalizado son un grupo de procesos en los cuales el material a ser depositado puede ser metálico ó no metálico que se depositan en forma fundida ó semifundida sobre superficies especialmente preparadas para ser recuperadas.

Los materiales depositados muy posiblemente se encuentren en la forma de polvo, barras, alambre ó cordones, y los equipos que son utilizados para depositar estos materiales generan la temperatura necesaria usando combustibles ó corriente eléctrica.

Cuando el material es calentado se produce un cambio plástico y pasa a un estado semifundido para ser acelerado por un gas comprimido . Al producirse esta aceleración, las partículas son conducidas a la superficie del sustrato y al chocar con la superficie se aplanan y adhieren a la misma, iniciando así la formación de la capa de recubrimiento deseada.

## 2.2 VARIACIONES DEL PROCESO

Las variaciones básicas del proceso de termoroziado ocurren en el material usado en la aplicación, el método de calentamiento, y el método de impulsión del material a la superficie preparada.

Una gran variedad de metales, cerámicas, plásticos y aleaciones pueden ser depositados por uno ó más de los diferentes procesos de metalizado y pueden ser categorizados dentro de 2 grupos básicos acorde al método de generación de calor, tal y como se indica en la siguiente tabla:

TABLA

GRUPO I	GRUPO II
Flama	Plasma (Arco no transferido)
Detonación	Arco eléctrico para metalizar alambre
H.V.O.F. (Alta velocidad de oxígeno y combustible)	

El primer grupo usa gases combustibles como fuente de calor, mientras que el segundo usa como fuente de calor energía eléctrica, excepto el plasma que utiliza una combinación de gas y electricidad.

## 2.3 NATURALEZA DE LOS RECUBRIMIENTOS.

El éxito en el uso de recubrimientos termoroziados radica en el cuidado de los procedimientos del proceso específico para obtener la adherencia sobre el sustrato.

Una regla básica del termorociado es que cualquier desviación de los estándares para una aplicación en particular ó inatención de los detalles producirá resultados indeseables de la adherencia del deposito.

#### A) SUBSTRATOS.

Se le llama sustrato a la pieza ó espécimen en donde será aplicada la capa de recubrimiento que comúnmente incluyen depósitos de metal, óxidos, cerámicas, y algunos plásticos, sin embargo no todos los materiales pueden ser aplicados a los mismos sustratos, ya que la mayoría de las veces requiere de técnicas especiales.

La preparación del sustrato antes de metalizarlo y que es requerida para que haya una buena adherencia del recubrimiento sobre el sustrato básicamente es la misma para cada tipo de proceso de metalizado. 2 Importantes pasos son los siguientes:

- 1.- Limpieza de la superficie para eliminar contaminaciones que puedan inhibir la adhesión del recubrimiento en el sustrato.
- 2.- La rugosidad de la superficie permite que el material se enlace y fije a la superficie del sustrato produciendo así un mejor amarre .

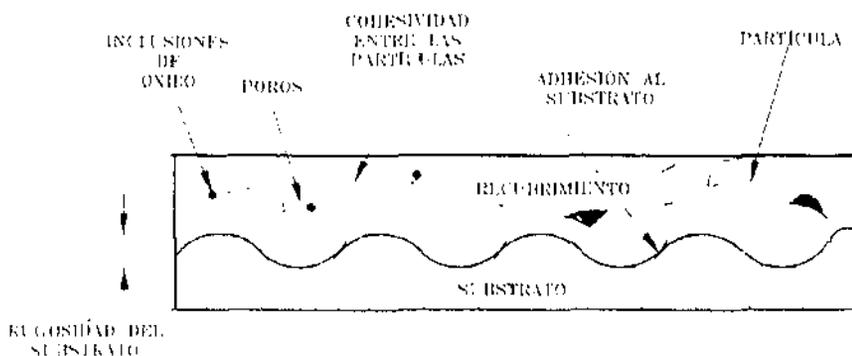
La propia preparación del sustrato antes de realizar la aplicación es el paso más crítico ya que influencia la fuerza de adhesión del recubrimiento al sustrato.

La adherencia entre el recubrimiento y el sustrato puede ser mecánica ó bien metalúrgica, pero es necesario tomar en cuenta factores por los cuales pueda verse influenciada y que son:

- a) Composición química del recubrimiento
- b) Condición del sustrato
- c) Desengrase de la superficie rugosa
- d) Limpieza
- e) Temperatura de la superficie antes, durante y después del metalizado
- f) Velocidad con que es proyectado el recubrimiento.

A continuación se muestra una ilustración de la forma en que las capas se van formando sobre la superficie del sustrato y de cómo la misma estructura de las capas permiten que se queden atrapados algunos óxidos en la estructura del metalizado.

FIGURA



Las diferencias en estructura y composición química son debido al incremento natural del recubrimiento y a la reacción de los gases con la atmósfera que rodea al material mientras esta en el estado fundido. Por ejemplo: Cuando aire y/o oxígeno son usados en el proceso como parte de los gases para generar la combustión, óxidos del material aplicado son formados y pertenecen al recubrimiento.

Es entonces cuando las capas de metal tienden a estar porosas y frágiles y muy posiblemente se tengan diferentes durezas de las que especifica el material originalmente.

La estructura de los metales aplicados son similares en su naturaleza pero exhiben variaciones de sus características, que dependen del tipo de proceso a usar para metalizar, parámetros del proceso, técnica empleada y el material aplicado.

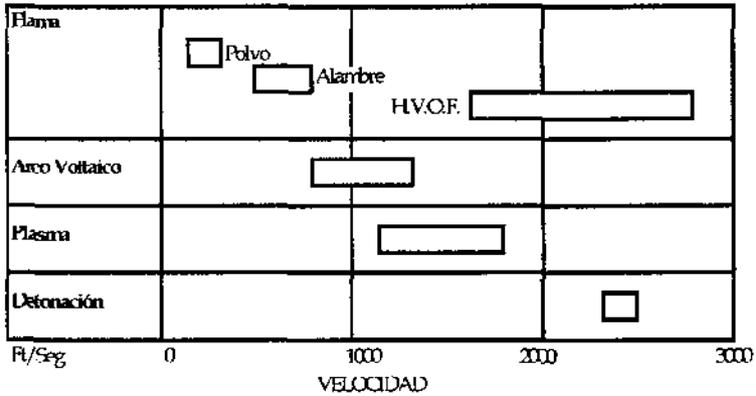
Por esta situación, la proporción de los materiales metalizados variará con la velocidad de la partícula y la temperatura de la fuente de calor utilizada en el proceso de termoroceado.

#### TABLA

Fuente tomada de la referencia bibliográfica No.1 de este trabajo en la pag. No. 391 del libro de Benecki F. Thomas

FUENTES PARA GENERACIÓN DE TEMPERATURA		
Fuente	Temperatura °F	Temperatura °C
Propano, Oxígeno	4785	2640
Gas Natural, Oxígeno	4955	2735
Hidrógeno, Oxígeno	4875	2690
Acetileno, Oxígeno	5625	3100
Arco Voltaico & Plasmas	4000-15000	2200-8300

Velocidad Promedio de Impacto de La Partícula



## 2.4 MÉTODOS DE DEPOSICIÓN

Los equipos de termorociado y el equipo relacionado de uso comercial puede ser dividido en 2 categorías básicas. Combustión y Calentamiento Eléctrico.

### 2.4.1 COMBUSTIÓN:

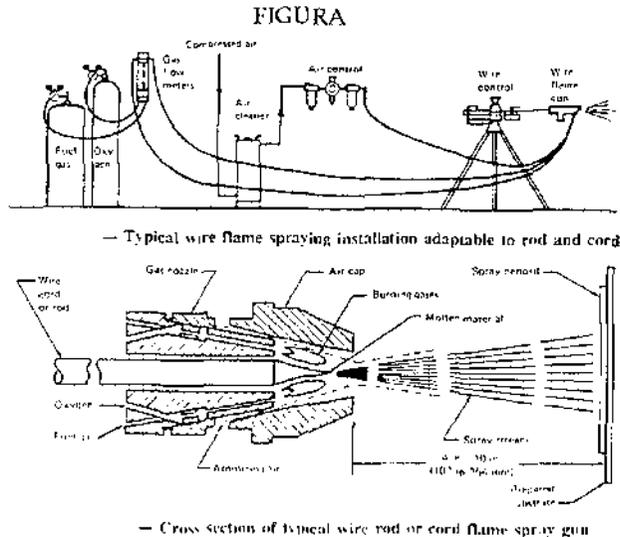
Los procesos de metalizado por combustión, utilizan el calentamiento a través de una reacción producida por la combustión de un gas con otro elemento.

En este tipo de procesos destacan los equipos para depositar alambre y barra, polvos metálicos y la pistola de detonación, de los cuales se habla en las siguientes paginas.

El proceso de alta velocidad de oxígeno y combustible (H.V.O.F.) también cae dentro de esta categoría, pero será tratado en otro apartado de este trabajo por ser un proceso más especial.

### 2.4.1.1 Alambre y Barra.

El equipo que más comúnmente es utilizado para termorociar alambre y barra es similar a la que se muestra en la siguiente figura.



En esta misma figura se puede observar un corte de la boquilla que típicamente es usada para aplicar este tipo de materiales.

La alimentación de este material hacia el interior de la pistola es conducido por dos rodillos que fijan e impulsan el material, dicho movimiento es producido por un motor eléctrico o bien por una turbina de aire.

En este tipo de proceso uno de los siguientes gases muy posiblemente será combinado con oxígeno para poder realizar la combustión: Acetileno, Propano, Hidrogeno o Gas Natural. Sin embargo, el más ampliamente utilizado en equipos de baja velocidad es el acetileno por las altas temperaturas que produce su flama (Ver tabla de gases combustibles para fuentes de generación de temperatura en la pagina No. 9).

Sin embargo, en muchos de los casos temperaturas bajas pueden ser usadas con ventajas económicas, ya que el gas combustible únicamente es usado para lograr fundir el material y no para impulsarlo. Al realizar el rociado la flama es rodeada con aire comprimido usado para atomizar el material fundido y para impulsarlo hacia la superficie a ser reparada.

#### **2.4.1.2 Polvos Metálicos.**

Las pistolas de baja velocidad utilizadas para el metalizado de polvos son ligeras y muy compactas comparadas con las utilizadas para los otros procesos.

Debido a la baja velocidad de las partículas y a las temperaturas obtenidas con los equipos de baja velocidad, los recubrimientos producidos generalmente tienen una baja fuerza de adhesión y presentan una alta porosidad comparada con la que producen otro tipo de equipos tales como el Plasma y los de Alta Velocidad de Oxígeno y Combustible (H.V.O.F.).

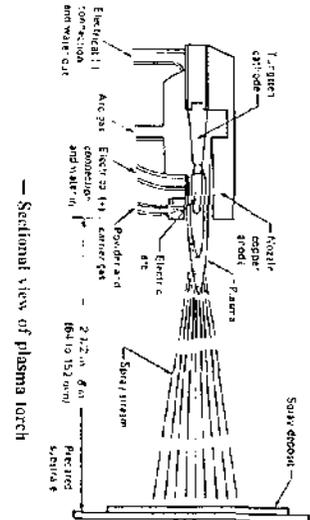
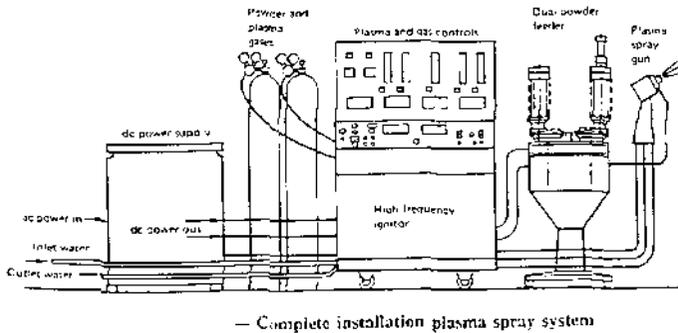
El proceso es generalmente usado para la aplicación de aleaciones de materiales autofundentes. Estos materiales contienen boro y silicón los cuales sirven como agentes fundentes y minimizan la oxidación.

La fusión o adherencia metalúrgica a un substrato es acompañada por un calentamiento del recubrimiento (A temperatura de fusión), estas temperaturas oscilan alrededor de 1900 grados Fahrenheit (1040 grados Celsius)

El material que va a ser depositado se almacena dentro de un recipiente que es parte componente de la misma pistola. Cuando se requiere que el material pase a la zona en la cual va a ser fundido y proyectado, se activa un mecanismo que por gravedad permite el paso del material y al mismo tiempo es impulsado por una pequeña cantidad de gas (Aire ó Nitrógeno a bajas presiones) hacia la zona deseada de fusión y por presión de aire es proyectado sobre la superficie del substrato.

El arreglo general de una instalación de metalizado por polvo es como la que a continuación se muestra en la figura.

FIGURA



De igual manera, en la figura se muestra un corte del tipo de boquilla que es utilizada para atomizar este tipo de polvos metálicos.

Las variaciones en el proceso de termorociado de polvo incluyen:

- Compresión de gas que alimenta el polvo dentro de la flama
- Adicionales dispositivos de aire para acelerar la velocidad de las partículas fundidas.
- El posible uso de algún tipo de alimentador que use como medio de impulsión al área de combustión un gas inerte
- El uso de alimentadores de alta presión que ayudan a obtener mayores velocidades de aporte de las partículas, que dan como resultado menor porosidad y mayor densidad del recubrimiento.

Los recubrimientos que una vez adheridos a la superficie del sustrato tienen la propiedad de poder ser fundidos mediante el uso de algún tipo de flama, son recubrimientos que quedan muy densos y casi libres de porosidad. La aleación compuesta puede resultar con durezas en la escala de Rockwell alcanzando niveles de 50 a 60 Rc, claro esto dependiendo de la aleación del material que haya sido fundido. El espesor del recubrimiento se ve limitado a esos niveles de dureza además de poder ser calentados a temperaturas de fusión sin que se produzcan rajaduras .

Los recubrimientos autofundentes son aplicados donde los efectos de la temperatura y la distorsión pueden ser tolerados.

La capa de recubrimiento puede ser aplicada en múltiples pasos y la superficie recubierta deberá estar libre y limpia de todos los óxidos después de su etapa de fusión.

En los procesos de termorociado la velocidad de alimentación de las partículas de polvo afectan a la estructura y la eficiencia del depósito del recubrimiento.

Si el sustrato en donde va a ser aplicado el polvo no ha sido propiamente calentado, entonces la eficiencia del depósito decrecerá rápidamente y el recubrimiento muy probablemente contendrá partículas sin fundir.

Si la velocidad de la partícula es muy lenta mucho material se volatilizará y resultara que el recubrimiento se deteriora y a costos de operación muy altos.

En estos equipos, el típico mecanismo de alimentación del polvo consiste de un contenedor y una válvula que puede ser automática la cual se regula de acuerdo a la alimentación de polvo deseado.

#### **2.4.1.3 PISTOLA DE DETONACIÓN.**

La pistola de detonación difiere de los otros mecanismos de rociado principalmente en la combustión.

Este utiliza la energía de las explosiones de oxígeno y mezclas de acetileno en donde la firmeza de la flama empuja el polvo en la superficie del sustrato, dando como resultado un recubrimiento extremadamente duro, denso y firmemente adherido. La pistola de detonación consta de un barril en el cual se realiza la mezcla del oxígeno, combustible y el material de polvo introducido. Cuando se da inicio al encendido de la mezcla, la onda de detonación controlada ó la flama frontal, aceleran y calientan las partículas de polvo que se encuentran dentro del barril de este tipo de pistola, la velocidad de salida de las partículas aproximadamente es de 2500 ft/s (760 m/s). Después de cada inyección de polvo descargada un pulso de gas de nitrógeno purga la cámara del barril. Las múltiples detonaciones durante cada intervalo de tiempo construyen la capa de recubrimiento deseada mientras que la pieza esta girando a alta velocidad enfrente de la pistola.

Para este tipo de proceso es utilizado "Dióxido de Carbono" como sistema de enfriamiento ya que la temperatura del sustrato no debe de exceder de 300 grados Fahrenheit (150 Grados Celsius).

Los rangos de espesor de este tipo de recubrimientos que pueden ser aplicados oscilan entre 0.002 pulgadas y 0.020 pulgadas (0.05 mm y 0.50 mm), por otra parte estos procesos producen niveles de ruido en exceso que llegan a alcanzar hasta 150 decibeles y por consiguiente se hace necesario que las áreas en donde esta siendo utilizado estén preparadas para disminuir los niveles de ruido. Es por eso que la operación de este tipo de equipos es de forma completamente automática y a través de control remoto.

Una de las principales ventajas de la utilización de este tipo de equipos, es que dan como resultado un alta fuerza de adhesión y se pueden conseguir excelentes acabados casi nulos de porosidad debido a la alta velocidad con que chocan las partículas sobre el sustrato.

#### **2.4.2 CALENTAMIENTO ELÉCTRICO.**

Este tipo de proceso utiliza como fuente de calentamiento energía eléctrica, que es la que se encarga de producir la fusión del metal que va depositarse sobre la superficie del sustrato y que a continuación se describen.

##### **2.4.2.1 PROCESO DE ALAMBRE POR ARCO ELÉCTRICO.**

En el proceso de alambre por arco eléctrico, dos alambres son los electrodos consumibles que primeramente son aislados uno del otro y son automáticamente alimentados por dos rodillos, el movimiento de estos rodillos se produce por una corriente de aire la cual los impulsa al punto de atomización.

Para producir la fusión del material se aplica una diferencia de potencial con un rango de 18 a 40 Volts, el cual se aplica directamente a través de los alambres, el arco eléctrico producido en la punta de los alambres produce entonces la fusión del material y al mismo tiempo se hace pasar una corriente de aire a presión que divide las partículas en forma de un abanico al momento de ser atomizadas. Las partes fundamentales de las que se compone este tipo de equipos es la siguiente.

a) Pistola de Arco Eléctrico: Este tipo de pistolas incluyen el mecanismo de alimentación, boquillas y guías para direccionar el alambre a la zona de fusión.

b) Fuente de Poder. Es una fuente de corriente directa capaz de proporcionar voltajes de hasta 40 volts, la cual debe de proporcionar un potencial en forma constante.

c) Unidad de Control del Alambre: Consta de 2 rodillos que sostienen y aíslan al alambre uno de otro antes de que lleguen a la zona en donde se produce la fusión.

d) Consola de Control: Esta unidad incorpora todos los interruptores y reguladores necesarios para controlar, monitorear y operar los circuitos de poder de la pistola.

En este proceso la temperatura producida por el arco excede considerablemente el punto de fusión del material que esta siendo depositado en el sustrato . Las temperaturas producidas son tan altas que muy posiblemente se alcance a volatilizar el material, especialmente con materiales como el Babbit, Aluminio y Zinc.

El proceso de arco eléctrico normalmente rocía altas proporciones de metal comparado con otros tipos de procesos, solo que en este caso el factor que controla la proporción de alimentación del alambre es la corriente eléctrica de la fuente de poder.

#### **2.4.2.2 PLASMA DE ARCO NO TRANSFERIDO**

El desarrollo de turbinas y cohetes de propulsión presento condiciones severas para la ingeniería de materiales existentes, por lo que se hizo necesario buscar nuevos métodos de aportación de materiales que cumplieran con las condiciones de operación tan severas a las que se sometía este tipo de equipos, en los que se busco realizar aplicaciones con carburos y óxidos.

Pero para poder realizar este tipo de aplicaciones se tuvieron que desarrollar equipos que produjeran altas temperaturas de fusión, dentro de los cuales se destaca este proceso, el cual puede ser utilizado para aplicar una amplia gama de recubrimientos para uso industrial.

Este proceso usa materiales en forma de polvo y un plasma (Calentamiento de gas ionizado) como fuente de calentamiento. Los generadores de plasma proveen temperaturas controladas muy superiores a las del punto de fusión de muchas substancias.

En el proceso de Plasma, un gas ó una mezcla de gas es pasado directamente en medio de un arco eléctrico y coaxialmente alineado a un cátodo de carburo de tungsteno y a un orificio de cobre.

Al pasar el gas directamente a través del orificio se calienta a temperaturas mucho más altas que las obtenidas con una simple combustión. Es entonces que durante el calentamiento el gas es parcialmente ionizado produciendo de esta manera el plasma.

En este proceso el polvo es introducido dentro del plasma y se funde para ser impulsado sobre la pieza de trabajo a altas velocidades.

El contenido de calentamiento, temperatura y velocidad del plasma son controlados por un tipo de boquilla especial, por la corriente del arco producida, por la mezcla de los gases y por el flujo de alimentación de los gases.

La energía del arco eléctrico es gobernada por una unidad de control central que incluso regula el flujo de gas de plasma y el agua de enfriamiento, esta secuencia de elementos permiten que el proceso sea llevado a cabo con certeza y precisión.

Los gases primarios que son usados para producir el plasma pueden ser Nitrógeno o Argón, y los gases secundarios que se usan para incrementar el contenido de calentamiento y velocidad del plasma pueden ser Hidrógeno o Helio.

#### **2.4.3 ALTA VELOCIDAD DE OXIGENO Y COMBUSTIBLE (H.V.O.F.)**

Este es otro de los procesos de metalizado que actualmente esta siendo utilizado como una de las nuevas tecnologías para la aplicación de materiales en forma de carburos , óxidos de cerámica y las nuevas aleaciones que se han estado generando para cubrir las necesidades de industrias como la petrolera, espacial, textil, etc.

El proceso de metalizado de alta velocidad de oxígeno y combustible (H.V.O.F.) incrementa la presión dentro de la cámara de combustión del equipo, llegando a alcanzar presiones de 100 lb/pulgada cuadrada que impulsan la combustión generada por la mezcla de oxígeno y algún combustible proyectándola hacia el exterior a altas velocidades.

La velocidad de la flama en los equipos H.V.O.F alcanzan picos de hasta 6000 ft/s, la cual es muy alta comparada con la de métodos de combustión convencionales, que alcanzan velocidades de flama de aproximadamente de 1000 ft./ s.

La velocidad con que viajan las partículas hacia el sustrato con este tipo de equipos alcanzan velocidades de 3000 ft/s lo que da como resultado la obtención de capas metalizadas con una alta densidad y una alta fuerza de adhesión.

La fuerza de adherencia que alcanzan los recubrimientos que son rociados con equipos de H.V.O.F. llegan a alcanzar fuerzas de adhesión de hasta 10,000 lb/pulgada cuadrada, la cual comparada con métodos convencionales es muy alta

ya que con los otros procesos se alcanzan a lograr fuerzas de adherencia de entre 2000 a 9000 lb/ pulgada cuadrada.

Este tipo de equipos usan una mezcla de oxígeno y alguno de los combustibles que a continuación se mencionan:

- ◆ Propileno
- ◆ Hidrogeno
- ◆ Propano

El tipo de gas que se quiera utilizar dependerá del tipo de recubrimiento que vaya a ser utilizado, normalmente estos equipos cuentan con alimentadores de polvo automáticos y controladores de flujo de gases, lo cual permite que los procesos estén totalmente controlados mientras se esta desarrollando la aplicación sobre el sustrato que este siendo reparado.

## 2.5 SUPERFICIES DE PREPARACIÓN.

La superficie de preparación es el paso más crítico en la operación de los procesos de metalizado. La calidad de la adhesión del recubrimiento esta directamente relacionada con la limpieza y rugosidad de la superficie del sustrato.

El procedimiento de adherencia aceptado en la preparación de la superficie del sustrato es necesario para asegurar el éxito de la aplicación del recubrimiento durante el metalizado.

El tipo de material del recubrimiento y el tipo de sustrato son los mejores factores o guías que dan la pauta para determinar que tipo de preparación es requerido para asegurar una adherencia consistente.

En partes con alto grado de tensión mecánica se hace necesario realizar una inspección posterior al recubrimiento aplicado para detectar grietas en el metal base. Esto debe ser realizado por ensayos de inspección no destructivos.

Las grietas en la estructura del material podrían producir grietas similares en el recubrimiento aplicado. De esta situación se puede argumentar que las grietas o fracturas en cualquier tipo de sustrato no pueden ser reparados por aplicación de algún proceso de metalizado, por otra parte los recubrimientos aplicados no tienen la suficiente fuerza de adherencia cuando se presentan este tipo de discontinuidades en los materiales que van a ser reparados.

### **2.5.1 LIMPIEZA Y MANEJO DE LOS SUBSTRATOS.**

El primer paso en la preparación del sustrato para metalizar, se enfoca en remover toda la contaminación de la superficie del sustrato, tales como: Aceite, grasa y pintura, ya que el calentamiento producido por el metalizado no removerá los contaminantes y lo más probable es que la contaminación quede atrapada entre la superficie del sustrato y la capa de recubrimiento aplicada, y por lo tanto no habrá adherencia.

Después de que todos los contaminantes han sido removidos, la limpieza de la pieza deberá ser mantenida hasta que el ciclo del proceso de metalizado ha sido concluido. Las piezas deberán ser transportadas por medio del uso de dispositivos para evitar cualquier contacto con los dedos de las manos o cualquier suciedad que pueda provocar que la pieza se contamine y lleve al fracaso la aplicación del recubrimiento.

#### **2.5.1.1 DESENGRASAMIENTO POR VAPORIZACIÓN.**

El desengrasamiento con vapor caliente es muy común, económico y además es un método muy eficiente para remover contaminantes de tipo orgánicos. Primeramente, las partes deberán ser puestas a remojar de 15 a 20 minutos para remover el aceite y partículas extrañas de la superficie de los poros.

Los materiales porosos tales como fundiciones de hierro, acero, etc., deberán ser mantenidos en remojo por periodos de tiempo más prolongados para asegurar que todas o casi todas las impurezas han sido desechadas. Si los objetos a ser reparados son demasiado largos, para desengrasarlos con vaporización, será necesario sumergirlos por partes en soluciones con detergentes calientes, o con limpieza manual usando solventes libres de aceites, para posteriormente remover por mecanizado cierta cantidad de material para dar cabida a la capa de metalizado.

Los solventes desengrasantes utilizados para este uso son:

- a) Perclorohetileno
- b) Triclorohetileno
- c) Triclorohetano

Los solventes mencionados son los más utilizados por 2 razones, una es por cuestiones de salud de los operadores de metalizado, y además porque no necesitan de temperatura para poder realizar la limpieza de los materiales.

Muchos hidrocarburos utilizados como solventes son peligrosos para la salud y los fabricantes de estos materiales recomiendan seguir todas las instrucciones para su uso, recordando la adecuada ventilación de los lugares designados para estas tareas específicas.

Otras alternativas de métodos de limpieza tales como enjuagues o lavados con soluciones alcalinas, presión de vapor , y enjuague con solventes inflamables o todos esos tal vez sean necesarios para algún tipo de sustrato con problemas severos de contaminación.

### 2.5.1.2 EXPLOSIÓN DE ABRASIVO CON VAPOR.

Este método de limpieza utiliza explosión de abrasivo húmedo, dicho abrasivo es diluido en un líquido especialmente preparado para tal efecto, el cual es proyectado por medio de presión de aire sobre la superficie a ser limpiada. Este tipo de limpieza está desarrollada en un entorno cerrado similar a las cabinas utilizadas para la limpieza por explosión de arena (Sand Blast), para este tipo de proceso de limpieza usualmente se utilizan abrasivos como: Óxido de Aluminio y Novaculita ó granos de arena.

Muchos de estos abrasivos caen dentro del rango de medida de 200 a 1200 mesh y son mezclados con agua en una proporción de 5 libras por galón (0.6 Kg/l). Otros aditivos utilizados para diluir el abrasivo incluyen inhibidores y compuestos antisolidificantes, además de cuidar que en esta operación las piezas sean cuidadosamente enjuagadas después de la limpieza.

Las ráfagas o explosiones de vapor pueden ser aplicadas para cualquiera de los siguientes propósitos:

- a) Remoción de pequeñas rebabas.
- b) Remoción de partes corroídas.
- c) Remoción de antiguos recubrimientos o recubrimiento del material.
- d) Proporcionar rugosidad en alguna superficie antes de ser metalizada por cualquiera de los procesos mencionados.

### 2.5.1.3 LIMPIEZA ULTRASÓNICA.

La limpieza ultrasónica puede ser utilizada cuando los contaminantes están alojados en áreas confinadas o muy profundas. El equipo consiste de un tanque fijo para depositar la solución que será utilizada en la limpieza el cual contiene una fuente que produce la vibración ultrasónica que genera la limpieza del sustrato.

La solución utilizada para la limpieza es seleccionada en base al problema encontrado para la preparación del sustrato.

Debido al calor generado, no es recomendable utilizar solventes que puedan ser inflamables o que tengan un alto grado de volatilidad.

Las ondas producidas en la solución del recipiente generan la limpieza de las zonas contaminadas confinadas en áreas difíciles de limpiar por algún otro método, e igual que en las demás preparaciones de limpieza la persona que este manipulando el sustrato a ser metalizado, debe de usar dispositivos especiales para la sujeción de la pieza que se esta preparando para poder asegurar una buena fuerza de adhesión entre el sustrato y el recubrimiento.

#### **2.5.1.4 UTILIZACIÓN DE MÉTODOS ABRASIVOS.**

La explosión de abrasivo seco es un método efectivo para remover depósitos indeseables de óxidos y sarro.

La explosión de abrasivo es acompañada por una ráfaga de aire comprimido que impulsa el abrasivo sobre la superficie del sustrato en forma continua hasta que se logran eliminar los residuos que formaban parte de la pieza que se encuentra en preparación.

Esta operación de explosión de abrasivo se lleva a cabo con un equipo adicional al que será utilizado para metalizar el sustrato. También es importante que el equipo de explosión de abrasivo utilizado debe prevenir la contaminación del abrasivo además de contemplar la medida de grano del abrasivo que será utilizado.

Más adelante en el desarrollo de este trabajo se tratara con mayor detalle lo referente a los abrasivos que pueden ser utilizados para la limpieza del sustrato que desea ser preparado.

La selección del tipo de equipo de explosión de abrasivo dependerá de la forma y dimensiones de la pieza a preparar, por lo que comercialmente podemos encontrar cabinas en diferentes medidas y algunos equipos portátiles para aplicaciones muy localizadas como en el caso de elementos de la industria de la aviación.

Como ya se ha comentado con anterioridad una vez que la pieza ha sido limpiada en forma total, la aplicación del metalizado deberá de ser casi de forma inmediata, para evitar que al pasar del tiempo las condiciones ambientales puedan generar condiciones indeseables que provoquen un fracaso en la fuerza de adhesión esperada.

## 2.5.2 RUGOSIDAD DEL SUBSTRATO.

Después de las primeras etapas de limpieza del sustrato que será metalizado, es necesario utilizar algunos métodos para producir la rugosidad de la superficie, de manera que pueda producirse una buena adhesión mecánica, los principales métodos utilizados son:

- ◆ Explosión de arena abrasiva
- ◆ Macrorugosidad por medio de mecanizado
- ◆ Aplicación de algún recubrimiento adherente.

Algunas veces, la combinación de los tres métodos mencionados se utilizan para asegurar una mejor fuerza de adhesión de las partículas de material sobre la superficie del sustrato.

En los siguientes subincisos se explica con más detalle cada uno de estos tres métodos para proporcionar rugosidad a la superficie.

### 2.5.3 USO DE ARENA ABRASIVA PARA PROPORCIONAR RUGOSIDAD.

La explosión de arena abrasiva es una de las técnicas más comúnmente usadas para proporcionar rugosidad en las superficies que desean ser metalizadas.

Al seleccionar el tipo de arena abrasiva deben considerarse los siguientes factores:

- a) Material que se va a limpiar y la dureza del mismo
- b) Configuración de la parte a limpiar
- c) Dimensiones de la pieza que se va a limpiar
- d) Tipo de recubrimiento que será aplicado y la rugosidad requerida para obtener una buena adhesión.
- e) Requerimiento de servicio del tipo de abrasivo
- f) Requerimiento del índice de producción del tipo de abrasivo
- g) Medida de la partícula del tipo de abrasivo
- h) Dato de la presión a la que puede ser proyectado el abrasivo contra la superficie del sustrato
- i) Medida de la boquilla que será utilizada para la impulsión del abrasivo
- j) Ciclo de vida del abrasivo.

Los efectos de la explosión de arena abrasiva dependen del tipo y medida del abrasivo, por otro lado, la dureza del filo y la angularidad de las partículas proveen mejores resultados, no se deben usar abrasivos esféricos, pues no obtendríamos los resultados de rugosidad deseados. Todos los abrasivos deberán de estar limpios, secos, libres de aceite o cualquier otro tipo de contaminante.

Los tipos de arena abrasiva más comúnmente utilizados son:

- a) Oxido de aluminio
- b) Acero templado
- c) Acero angular
- d) Carburo de silicio

La apropiada selección del tipo de equipo de explosión de abrasivo, depende de la dureza del sustrato que vaya a ser preparado, algunas de las aplicaciones más genéricas se mencionan a continuación:

- a) Los óxidos refractarios son un tipo de abrasivo que se utilizan en aquellos sustratos que son suaves tales como el Aluminio.
- b) El acero templado que se fractura al impactarse en el sustrato es utilizado para la limpieza de los sustratos que tienen durezas menores de 40 - 45 Rc, este abrasivo crea un mayor estrés que el obtenido con el óxido de aluminio, por esta razón no se recomienda su utilización en sustratos suaves como el Aluminio.

A continuación se muestra una tabla que menciona las características más comunes de los abrasivos utilizados en aplicaciones de preparación para procesos de metalizado.

TABLA

Fuente tomada de la referencia bibliográfica No. 10 de este trabajo en la pag. No. 1 y 2 del boletín técnico.

Abrasivo	Natural o Mét'd	Mayor Componente Químico	Forma	% de Rotura	Dureza Rc
Acero Templado	Mét'd	Hierro	Angular	0	100
Hierro Templado	Mét'd	Hierro	Angular	8	97
Oxido de Aluminio Virgen	Mét'd	Aluminio	Cubica	24	76
Granalla	Natural	Hierro-Silica	Cubica	46	54
Abrasivo Mineral	Mét'd	Silica-Aluminio-Hierro	Cubica	61	39
Pedernal Abrasivo	Natural	Silica	Angular	67	33
Arena Silica	Natural	Silica	Cubica	77	23
Arena Silica	Natural	Silica	Angular	90	10
Carburo de Silicio	Mét'd	Carburo de Silicio		57	43
Arena Estándar	Natural	Silica	Angular	84	16

- c) El óxido de aluminio muy probablemente es usado en sustratos duros tales como aceros martensíticos . Cuando este tipo de abrasivo es llegado a usar en sustratos suaves, se hace necesario dar pasadas de ráfagas de aire sobre el mismo para eliminar y remover posibles residuos del abrasivo.
- d) El carburo de silicio tiene tendencia a quebrarse aun más rápido que el óxido de aluminio y eso lo hace poco rentable por su corto periodo de vida, siendo este un factor que le hace estar en desventaja con respecto a los demás tipos de abrasivos.

### 2.5.3.1 MEDIDAS DE LOS MATERIALES ABRASIVOS.

La rugosidad final requerida depende de la medida del material abrasivo, el cual puede ser encontrado en diferentes grados.

Partículas de medidas muy pequeñas permitirán la preparación de más área por hora, de igual forma, partículas más grandes darán como resultado que se pueda cubrir más área en menos tiempo y se removerá una mayor cantidad de suciedad (Contaminación) mucho más rápido del sustrato en preparación, y producirá una buena rugosidad final. En el anexo de este trabajo de tesis, se muestra una tabla con las recomendaciones de los tipos de abrasivos a utilizar para una determinada aplicación .

Por otra parte, es recomendable que se utilicen partículas con medidas que deberán ser de malla 16 o 60 para sustratos de metal y malla 60 a 100 para algunos tipos de plásticos.

Para aplicaciones en donde la capa de recubrimiento será muy delgada se recomienda usar un abrasivo con malla 25 a 120 y para aplicaciones en donde el espesor de la capa de metalizado se encuentra en rangos de 0.010 pulgadas en adelante se recomienda utilizar abrasivo con malla 18 a 25 para obtener buena rugosidad y buena superficie de adherencia.

### 2.5.3.2 PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE LOS SUBSTRATOS.

En adición a la medida y tipo de abrasivo utilizado, otras variables de importancia son consideradas en el proceso de limpieza, tales como:

- a) Presión del aire utilizado para proyectar el abrasivo.
- b) Angulo de proyección de la ráfaga de abrasivo
- c) Tiempo de aplicación de la ráfaga

Todas las áreas del sustrato que no van a ser metalizadas y que pueden ser dañadas por la operación de la ráfaga de abrasivo, deberán protegerse utilizando materiales especialmente diseñados para ese propósito, como son cintas adhesivas protectoras o bien enmascarantes en forma líquida, los cuales al secarse forman una capa de goma, en la cual al impactarse las partículas de abrasivo rebotan sin causar daño al sustrato, además de que este tipo de enmascarantes están especialmente diseñados para soportar altas temperaturas sin llegar a degradarse, con lo que también se protege al sustrato de que no se adhiera metalizado en áreas no deseadas.

Las presiones de aire utilizadas para la operación de la ráfaga de abrasivo están en el rango de 30 a 100 lb/pulgada cuadrada (34 a 88 kg/ cm cuadrado), dependiendo del material del sustrato, de la superficie requerida en el acabado, el flujo, el peso y medida de las partículas abrasivas, tipo de máquina y boquilla usada en la operación.

Bajas presiones de aire y la utilización de abrasivos finos, deberán de ser usados para sustratos tales como el aluminio, aleaciones de cobre, bronce y plástico, esto con el fin de eliminar la posibilidad de que queden atrapadas partículas del abrasivo sobre la superficie preparada. Por otro lado, cuando la presión de aire es alta, puede originar que el abrasivo utilizado se quebre más rápido, reduciendo de manera acelerada la vida útil del mismo, y además puede ocasionar daño a piezas o sustratos de pared delgada.

Con los equipos utilizados para la proyección de la ráfaga de abrasivo, las siguientes presiones deberán ser utilizadas:

- (1) Con óxido de aluminio y carburo de silicio se deben de usar como mínimo 50 lb/pulgada cuadrada y como máximo 60 lb/pulgada cuadrada
- (2) Con arena sílica o abrasivo de acero templado, se deben de usar presiones de 75 lb/pulgada cuadrada.

Las presiones anteriormente mencionadas no son las presiones del tanque de la máquina utilizada para impulsar la ráfaga de abrasivo, pero la medida de la boquilla del equipo se adaptara a las necesidades requeridas por el usuario.

La succión de la ráfaga de abrasivo, máximo deberá de tener una presión en la boquilla de:

- (1) Con óxido de aluminio y carburo de silicio la presión utilizada será de 75 lb/pulgada cuadrada.
- (2) Con arena sílica ó abrasivo de acero templado la presión utilizada será de 90 lb/pulgada cuadrada.

La ráfaga de abrasivo una vez que se este realizando la operación de la limpieza, deberá ser dirigida sobre la superficie del sustrato rociado, tratando de mantener un ángulo aproximado de 75 a 90 grados y moviéndose de un lado a otro de una manera uniforme para asegurar que toda el área esta siendo cubierta.

Durante la operación de limpieza, se debe de mantener la boquilla del equipo de limpieza, a una distancia de 4 pulgadas a 12 pulgadas (102 - 304 mm) con respecto a la superficie del sustrato, claro que esta distancia también estará en función de la medida, tipo de abrasivo utilizado, medida de la abertura de la boquilla y capacidad de limpieza de la máquina de explosión de arena abrasiva.

Durante el proceso de limpieza se requiere realizar inspecciones visuales a diferentes intervalos de tiempo, para asegurarse de que toda el área que va a ser metalizada este perfectamente preparada.

La velocidad de la limpieza del sustrato con la arena abrasiva dependen tanto de la capacidad del equipo de explosión de arena como del diámetro de la boquilla utilizada, sin embargo también esto tiene una limitante que es la cantidad de aire comprimido disponible.

También el tipo y medida del abrasivo influyen las alimentaciones de la ráfaga de abrasivo, sumándose a esto el que en algunas ocasiones el abrasivo no es revisado antes de vaciarse al contenedor del equipo llegando a filtrar partículas de un tamaño mayor al de la medida de la malla solicitada, por lo que es recomendable que antes de vaciar el abrasivo al depósito, se haga pasar a través de una malla de la medida solicitada y de esta manera asegurar que únicamente esta siendo utilizado material del tamaño de malla solicitado y de acuerdo al diámetro de la boquilla del equipo, este tipo de consideración asegurara que el proceso de limpieza se lleve a cabo de manera ininterrumpida disminuyendo tiempo y costo de operación.

Generalmente 15 lb (6.8 Kg) de óxido de aluminio o 25 lb (11.3 Kg) de abrasivo de acero templado son requeridos por pie cuadrado de superficie para la limpieza.

#### **2.5.4. PREPARACIÓN DE LOS SUBSTRATOS POR MEDIO DE MECANIZADO Y/O USO DE RECUBRIMIENTOS ADHERENTES.**

##### USO DE MECANIZADO:

La macrorugosidad es otro de los métodos para la preparación de superficies de los sustratos que van a ser metalizados, usualmente es por maquinado

y desarrollado en algunas ocasiones en conjunto con el uso de explosión de arena abrasiva, o bien el uso de algún recubrimiento adherente.

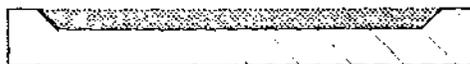
La remoción de material es la operación de maquinarse fuera de la superficie para proveer espacio para el depósito del material que será rociado y para remover parte de los desperfectos que tenga el sustrato a ser reparado, esto es muy común en elementos mecánicos que necesitan ser reconstruidos.

La remoción de material del sustrato incluso se realiza para proveer un espesor uniforme de la capa metalizada al realizar el maquinado de acabado, también a veces es necesario remover el material de la superficie debido a que se endureció por el trabajo a que fue sometido al momento de ocurrir la falla, otras ocasiones es para remover contaminación química, oxidación o bien para quitar capas viejas de metalizados anteriores.

Al removerse el material por medio de mecanizado se reduce el área de la sección transversal del componente, esto en algunas ocasiones pudiera afectar adversamente las fuerzas de tensión del material y la fatiga de la parte, por lo que se debe de seguir una técnica adecuada de maquinado al final de los extremos de la pieza a ser metalizada.

En la mayoría de las partes cilíndricas donde se hace necesario remover material, los extremos de la zona dañada deben de tener un pequeño ángulo de 15 a 20 grados tal como se puede observar en la siguiente ilustración.

PREPARACIÓN CORRECTA



PREPARACIÓN INCORRECTA



Además deberá de tener un radio de 0.015 pulgadas a 0.020 pulgadas (0.38 a 0.50 mm) justo en las esquinas del área del sustrato preparada en donde se removió el material, este mecanizado no deberá de extenderse fuera de los límites de la zona a ser reparada, debido a que los pequeños hombros que quedan al final de cada extremo ayudan a proteger la capa metalizada de posibles daños ocasionados por manejo indebido y que en ocasiones llega a suceder por desconocimiento del proceso.

Cuando se realice la remoción de material, al mismo tiempo se realiza una rosca a lo largo de toda la superficie del sustrato a ser reparado, la cual es desarrollada principalmente por los siguientes propósitos:

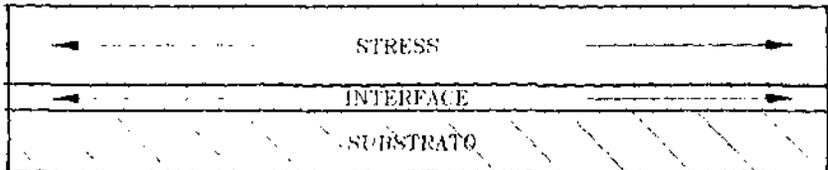
- (1) Incrementar la fuerza de adherencia en el sustrato
- (2) Producir plegamiento en las capas del recubrimiento para limitar las posibles tensiones internas.
- (3) Restringir el esfuerzo por encogimiento o contracción del material

El esfuerzo interno desarrollado en los recubrimientos por la contracción del material aplicado puede en algunas ocasiones hacer que la adherencia falle. Este esfuerzo se va incrementando a medida que se incrementa el espesor del recubrimiento, y es mucho más severo en metales duros y recubrimientos cerámicos. El maquinado de la cuerda es un medio para reducir el esfuerzo por la división de esfuerzos internos dentro de pequeños componentes tal como se observa en la siguiente ilustración.

## SUPERFICIE RUGOSA



## SUPERFICIE LISA



De las ilustraciones mostradas, en una se removió material sin maquinar ninguna cuerda, esta situación provocará que el esfuerzo interno se propague en línea recta a todo lo largo de la superficie metalizada pudiéndose producir por esta situación el desprendimiento de la capa.

Por otro lado se puede observar que en la superficie en donde fue realizada una cuerda, el esfuerzo ha sido dividido dentro de pequeños componentes, a lo largo de cada lado de cada una de las cuerdas, todas las esquinas de la raíz de la cuerda deberán ser en forma de radio para reducir el efecto de corte.

Un segundo método es el uso de herramientas especiales para maquinar ranuras en forma de U, aunque es poco usual debido al tiempo que se invierte en la preparación, por lo que lo más usual es el maquinado de la rasca en

forma de U la cual ayuda a reducir la concentración de esfuerzos en partes de máquinas sometidas a cargas muy pesadas.

El maquinado de la cuerda deberá de ser considerado en las siguientes situaciones:

- (1) Para todos aquellos elementos que serán cubiertos con espesores de 0.050 pulgadas ( 1.27 mm).
- (2) Para recubrimientos con alto grado de contracción y espesores de 0.030 pulgadas (0.76 mm) .
- (3) Para recubrimientos que no tienen límite tal como superficies cilíndricas donde el recubrimiento es continuo, donde existan severas condiciones de servicio o cuando existe el peligro de que el material se quiebre debido al espesor utilizado en la reconstrucción en materiales con alto grado de contracción.

La aplicación de recubrimientos duros en superficies planas representan un tipo de problema especial. Si el sustrato que va a ser reparado es un metal duro o endurecido, se presentarán problemas en la preparación, ya que la fuerza de la ráfaga se reducirá y la fuerza de adhesión del recubrimiento metalizado decrecerá, adicional a esto los recubrimientos duros solo se pueden aplicar en espesores muy delgados.

Para algunos tipos de trabajo donde las ranuras no son prácticas pero se requiere rugosidad en la superficie, entonces se prepara por medio de ráfagas de explosión de abrasivo, que en conjunto o por separado proporcionan una excelente superficie para lograr las fuerzas de adherencia deseadas. Como ya se menciono anteriormente, los métodos explicados para producir rugosidad tienen sus ventajas y desventajas, aunque por cuestiones de costo - beneficio el método más ampliamente usado es el de explosión de abrasivo, debido a la alta producción que se puede obtener con este método, aunque el de remoción por mecanizado muchas de las veces es necesario.

### USO DE RECUBRIMIENTOS ADHERENTES:

El uso de recubrimientos adherentes, es otro método para la preparación de superficies, ciertos materiales se adhieren a superficies limpias y sin rugosidad formando una fuerza de adherencia extraordinaria entre ella y el sustrato. Una delgada capa de material adherente sirve como base para recibir las subsecuentes capas del recubrimiento que será aplicado. Para lograr mejores resultados el sustrato deberá de ser limpiado con arena abrasiva para darle rugosidad y posteriormente aplicar la capa de material adherente o recubrimiento intermedio.

Los recubrimientos adherentes son particularmente usados para sustratos que están muy delgados o demasiado duros para ser preparados por cualquiera de los otros métodos, incluso son utilizados en aquellos casos en que se hace difícil realizar un mecanizado por la misma forma o configuración del sustrato, pero en otras ocasiones es utilizado por los usuarios como un medio para asegurar la adherencia de las capas termocrecidas en el sustrato.

En el uso de recubrimientos adherentes, ciertas reglas generales deberán ser observadas, la decisión del uso de un recubrimiento adherente tendrá que tomar en consideración las condiciones sobre las cuales el recubrimiento será usado, particularmente si el mismo será expuesto a condiciones corrosivas ó de oxidación.

Por ejemplo, el molibdeno tiene una pobre resistencia a la oxidación y no podría ser conveniente para su uso en aire a temperaturas arriba de 316 grados Celsius, otro ejemplo de esto es que los recubrimientos de Nickel-Aluminio son susceptibles a la corrosión en soluciones acuosas salinas, por lo que se debe de tener especial cuidado a la hora de seleccionar el tipo de recubrimiento adherente.

El uso de capas adherentes, algunas de las veces limita el subsecuente espesor aplicado del material con el que se quedará acabado. Si el sustrato en donde será aplicada la capa de material no ha sido previamente preparado, existe la posibilidad de que el recubrimiento adherente por sí solo no sea capaz de absorber los esfuerzos de contracción producidos por la capa de espesor del depósito metálico y especialmente en aquellos que tienen altas durezas.

El material adherente deberá cubrir perfectamente el área de la superficie del sustrato a metalizar aplicando una capa de espesor que usualmente oscila entre 0.003 pulgadas a 0.007 pulgadas ( 0.08 a 0.18 mm). La aplicación de una capa de recubrimiento adherente es una práctica que podría pensarse que es antieconómica, más sin embargo, se utiliza de manera muy frecuente para garantizar una mayor fuerza de adhesión que la que se obtiene por simple mecanizado ó cualquier otro tipo de preparación y es muy usual que siempre se combine con cualquiera de los otros métodos de preparación superficial

Los materiales más ampliamente recomendados para proporcionar adherencia sobre la superficie de los sustratos son los siguientes:

- a) Molibdeno
- b) Aleaciones de Nickel - Aluminio en porcentajes de ( 95 Ni- 5 Al , 80 Ni - 20 Al).
- c) Aleaciones de (80 Ni - 20 Cr , 94 NiCr - 6 Al)

La aleación de Nickel - Aluminio es usada para múltiples aplicaciones porque tiene buenas propiedades a altas temperaturas y su aplicación es muy simple y sencilla para diferentes tipos de sustratos.

Las aleaciones de Nickel - Cromo y Cromo - Aluminio resisten mejor los choques térmicos comparados con otro tipo de materiales adherentes. A continuación se da una breve explicación de en que procesos de metalizado se recomienda hacer uso de recubrimientos adherentes y en donde no es necesario.

(1) Metalizado por Arco Eléctrico: La inherente y alta fuerza de adhesión característica de los equipos de arco eléctrico hacen posible la eliminación de rugosidad para ciertas aplicaciones por el uso de aleaciones de nickel - aluminio como recubrimiento adherente. Esto sin embargo es la excepción de la regla ya que siempre es recomendado realizar un método para proporcionar rugosidad a la superficie del sustrato y además asegurar la adherencia.

(2) Metalizado por Combustión: Con el proceso de combustión, siempre será necesario proporcionar rugosidad por medio de algún mecanizado o por explosión de arena abrasiva antes de aplicar la capa de recubrimiento adherente, esto debido a la baja velocidad y calentamiento de la combustión para fundir las partículas que proyectan estos equipos.

(3) Metalizado por Plasma y/o H.V.O.F.: La superficie de preparación y recubrimientos adherentes requeridos antes de metalizar un sustrato con cualquiera de estos 2 procesos no está tan restringida como en los otros procesos, ya que las altas velocidades de estos equipos prácticamente garantizan la adherencia a la superficie del sustrato sin necesidad de utilizar ningún tipo de recubrimiento adherente, lo cual es muy rentable ya que se elimina uno de los procesos ahorrando tiempo y dinero al no usar ningún tipo de recubrimiento adherente

### **3. CARACTERÍSTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS, SELECCIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA.**

El entendimiento de las características de los depósitos de metalizado, el conocimiento de varios de los procesos de deposición y los combustibles asociados y el material de la pieza a ser trabajada son factores fundamentales para llevar a buen término una aplicación determinada.

En adición a lo anteriormente mencionado, las condiciones de operación asociadas con los procesos de termorociado, y las características del material deberán ser considerados especialmente en aquellos recubrimientos que son en forma de polvo.

La forma de la partícula, medida, densidad y contenido de óxido todos ellos en conjunto contribuyen a la calidad del producto final. Por otra parte las temperaturas de fusión y vaporización del material del recubrimiento son importantes porque ellos son los que restringen el uso del material y dictaminan las condiciones del termorociado. Por ejemplo, el rango de temperatura de la alúmina en la cual pasa a ser momentáneamente líquido es tan estrecho que en condiciones de sobrecalentamiento se puede producir vaporización que provoca una gran pérdida de material y por consiguiente una estructura de recubrimiento no deseada.

El criterio básico, es que la partícula sea completamente fundida sin excesiva vaporización, en compañía de las demás partículas hasta que todas se impregnen sobre la superficie del sustrato.

#### **3.1 FORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS RECUBRIMIENTOS.**

La estructura de una capa metalizada es muy diferente a la que se puede encontrar en metales que han sido fundidos o que han pasado por un proceso diferente. A medida que las pequeñas partículas fundidas en las puntas de las

pistolas de los equipos de metalizado son proyectadas por el chorro de aire comprimido y se impactan en la superficie del sustrato, estas se van achatando y enfriando casi de forma instantánea, es por ello que se forma una estructura microporosa compuesta de pequeñas partículas planas y unidas entre sí que en conjunto dan forma a la capa de recubrimiento.

Este tipo especial de estructura es el resultado de cambios físicos y características del material usado. Por otra parte es importante mencionar que la ductibilidad, estiramiento y resistencia a la tracción de las capas metalizadas son mucho más bajas si las comparamos con los mismos metales en estado sólido. Sin embargo, su resistencia al desgaste es normalmente muy superior a los mismos metales obtenidos en forma de fundición o cualquier otro tipo de proceso.

De manera general, la estructura final de una capa metalizada va a depender de que tan rápido se estén enfriando las partículas al llegar a impactarse sobre el sustrato, es decir, el proceso de solidificación de cada gota individual da lugar a la formación de pequeñas microestructuras de los metales termorociados, es por eso que en un apartado más adelante hago mención de los efectos de calentamiento y enfriamiento que deben de ser controlados durante un proceso de metalizado.

Los procesos de metalizado no deben ser usados en situaciones en donde las capas estarán sujetas a impactos filosos o golpes continuos sobre un mismo lugar. En contraste con la situación anterior es que estos recubrimientos son excelentes para trabajos en piezas que van a estar sujetas a rozamiento y fricción, tales como: Muñones de cigüeñales, zonas de sello de flechas y turbinas, cojinetes, etc.

Debido a sus características únicas, las capas metalizadas son muy durables en ejes y en cualquier otra superficie de desgaste o que este sujeta a rozamiento. Algunas pruebas de laboratorio demuestran que las superficies de un eje metalizado llegan a tener entre 2 y 3 veces mayor vida útil con respecto a otra pieza que no haya sido tratada por medio de uno de estos procesos.

### **3.1.1 FORMA SUPERFICIAL DEL METALIZADO.**

Las observaciones de los recubrimientos de material existentes en los equipos de termorociado, demuestran que una vez que la pieza ha sido metalizada tiende a formar una superficie cónica ó piramidal del recubrimiento, en donde la parte de mayor concentración de material es la zona central de la pieza y disminuye en ambos extremos del área metalizada, esto es importante porque se puede manejar una técnica de rociado especial de manera que toda la superficie tenga casi la misma forma y dimensiones, de lo contrario se podrían tener fracasos en las aplicaciones de metalizado, principalmente en aquellos recubrimientos que tienen un límite de espesor muy bajo y que son propensos a fracturarse en zonas con alta concentración de recubrimiento. Este efecto de formación sucede tanto en piezas cilíndricas como en superficies planas por lo que se recomienda poner especial atención mientras se esta desarrollando la aplicación del proceso.

### **3.1.2 FORMA DE DEPOSICIÓN DE LAS PARTÍCULAS.**

Durante el proceso de termorociado, las partículas son sobrecalentadas e impregnadas sobre la superficie del sustrato a diferentes velocidades. La morfología de los poros generalmente producidos por el metalizado son el resultado del rápido aplanamiento de las partículas sobrecalentadas que se

proyectan en la superficie del sustrato, las cuales son enfriadas casi inmediatamente por un equipo auxiliar que utiliza aire limpio y libre de aceite, este dispositivo ayuda a mantener la temperatura de la pieza de trabajo en un rango permisible para que no ocurra una falla por sobrecalentamiento.

Es por eso que la exactitud de la alimentación de enfriamiento es un factor típico y fundamental de los procesos de metalizado. Algunos de los factores que deben de ser tomados en consideración son: La variación de la medida de las partículas, su localización dentro de la zona de calentamiento y en el caso de partículas metálicas, la formación de óxidos entre capa y capa o bien entre sustrato y capa.

La distancia a utilizar en una aplicación determinada es un factor importante para la correcta deposición de las partículas, ya que cuando la pistola esta mucho muy cerca de la superficie del sustrato, es muy probable que la partícula proyectada no este totalmente fundida ocasionando pérdida de material, sobrecalentamiento de la superficie del metalizado y por consiguiente formación de porosidades en la estructura del recubrimiento. A diferencia de esta situación, cuando la pistola se posiciona demasiado lejos de la superficie del sustrato, entonces se produce pérdida de material, disminución de la fuerza de adhesión de las partículas, y también alto grado de porosidad superficial. Por esta razón es muy importante mantener la distancia especificada en el boletín técnico del material de aporte que será aplicado, sin dejar de pasar por alto las etapas de precalentamiento y enfriamiento de la superficie del sustrato.

### PRECALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DEL SUBSTRATO Y DEL METALIZADO.

Existen dos razones por las cuales se debe de precalentar una superficie a metalizar antes de iniciar el trabajo de termorociado:

(a) Eliminar cualquier posibilidad de humedad en la superficie

(b) Lograr cierta expansión del metal base.

Siempre que se trabaje en un clima húmedo, con elevado porcentaje de humedad atmosférica ó ambiental, siempre existirá el peligro de que se forme una película invisible en la superficie del metal base. Como un ejemplo de lo que sucede, consideremos un eje que esta relativamente frío en la mañana, mientras que de forma gradual empieza a entrar aire caliente dentro del área en la cual se llevara a cabo la aplicación de metalizado, en dicha zona el aire puede estar bien arriba del punto de formación de rocío, sin embargo la masa del eje puede estar debajo de esa temperatura, por lo cual se forma una película de condensación sobre el mismo. Es por eso que siempre será recomendable precalentar la pieza a una temperatura de 40 a 60 grados Celsius para eliminar cualquier posibilidad de humedad. Aunque también se recomienda dar temperaturas de precalentamiento de 80 a 90 grados Celsius ya que esto ayudará a tener un mejor resultado en la adherencia del material, además de que esta temperatura asegura que el producto de vapor de agua producido por la llama oxiacetilénica sea eliminado durante el calentamiento, el cual puede ser realizado directamente con el equipo de metalizado o bien auxiliado por algún tipo de soplete.

Cuando se rocían capas mucho más gruesas, el precalentamiento es un requisito para prevenir cualquier posibilidad de rajadura de la capa metalizada.

Las rajaduras y el levantamiento de las capas metalizadas se produce por la contracción de las mismas, y esto se exagera si la pieza se expande mientras la capa metalizada se contrae, es aquí donde entra en juego la acción del entriamiento por chorro de aire a la pieza mientras esta es metalizada y tratar de mantenerla a una temperatura estable acorde con lo que se especifique para el material aplicado.

Es muy simple controlar la temperatura de la mayoría de las piezas que desean ser metalizadas y para esto es recomendable auxiliarse de un pirometro para estar monitoreando la temperatura de la parte y de la capa metalizada.

El calentamiento del sustrato y el enfriamiento de la capa metalizada debe de ser considerado como una ventaja desde el punto de vista económico, pues se pueden mantener mayores velocidades de aporte sin interrumpirse el proceso haciendo aun más rápida la reparación de cualquier elemento

### **3.2 PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS.**

El presente punto de este trabajo, trata de las propiedades que son características de los recubrimientos que son utilizados para el metalizado de partes, una capa de material aplicada en particular muy posiblemente puede formarse y dar como resultado que el material quedo muy duro o muy suave, o bien puede quedar poroso o muy denso.

Este tipo de versatilidades presentan diferentes dificultades cuando se intentan comparar las propiedades de los recubrimientos y que es necesario conocer para poder entender su subsecuente relación con el resultado esperado.

#### **3.2.1 FUERZA DE TENSIÓN.**

La fuerza de tensión de los depósitos termorociados consiste de la adherencia entre el deposito y el sustrato (Adhesión), y la interacción de las partículas (Cohesión).

La adhesión del recubrimiento al sustrato es la interrelación de la partícula e interacciones de la superficie.

El mecanismo de adherencia cae dentro de 3 categorías que son:

- a) Mecánica
- b) Química – Metalúrgica
- c) Física

Es decir, la adhesión es una combinación de estos 3 mecanismos. Una partícula fundida que choca contra una superficie convenientemente preparada, se aplanara y se conformará al ondulamiento o planitud de la superficie, y mecánicamente adherido por si mismo inmediatamente a la rugosidad del sustrato.

Cuando ocurre alguna difusión, incluyendo la formación de compuestos intermetálicos y soluciones sólidas, el mecanismo de adhesión es químico – metalúrgico. Luego entonces se establece que la adhesión de la partícula al sustrato se produce por un enlace de Van Der Waals o adhesión física de Valente Secundario.

Sin embargo, la adhesión de la partícula al sustrato principalmente será mecánica y se tiene que hacer nuevamente énfasis en la importancia de la propia preparación de la superficie.

Los materiales adherentes como (Molibdeno, Columbio, Tantalio, y aleaciones de Nickel – Aluminio y compuestos de Nickel – Aluminio) exhiben fuerzas de adhesión que alcanzan hasta 2500 lb/pulgada cuadrada . Por esta razón ellos son utilizados como material adherente para soporte de las subsecuentes capas de recubrimiento.

La adhesión de los materiales adherentes ocurre en una fusión localizada y la cohesividad de la adhesión que es de partícula a partícula opera con el mismo principio que gobierna la adhesión de la partícula al sustrato , lo cual ya fue explicado en párrafos anteriores.

### 3.2.2 TENSION RESIDUAL EN LOS RECUBRIMIENTOS.

Como en otro tipo de depósitos, los recubrimientos termorociados contienen tensión residual que es el resultado de la contracción durante el enfriamiento y solidificación.

Estas tensiones pueden causar la rotura del recubrimiento ó bien la separación de la capa con respecto al sustrato. La tensión residual es un estrés que existe también dentro del cuerpo del sustrato que no son necesariamente el producto de alguna fuerza externa, ellas existen ya sea como microfuerzas que actúan dentro de la estructura de los elementos (Estrés Estructural). Ambas formas están frecuentemente interrelacionadas, en donde la magnitud de la tensión depende sobre todo del coeficiente de expansión térmica del material del recubrimiento.

Capas delgadas de recubrimiento algunas veces llegan a causar problemas de tensión residual, pero espesores de recubrimiento que tienen altos coeficientes de expansión térmica muy posiblemente también lleguen a tener problemas si no se tomaran las debidas consideraciones al momento de realizar la aplicación.

Existen algunos métodos que pueden ayudarnos a reducir la extensión de la tensión residual en los recubrimientos, que además contribuyen a reducir el estrés generado por la adhesión al sustrato, y que son los que a continuación se mencionan.

- (1) Hacer que el sustrato se expanda antes de aplicar el termorociado, precalentando la pieza.
- (2) Seleccionar un recubrimiento que tenga bajas propiedades de contracción o encogimiento.
- (3) Proporcionar macrorugosidad al sustrato como ya se explico en el capítulo anterior para poder limitar la tensión.

Cuando es aplicado un metalizado solo de un lado de una superficie plana delgada, la fuerza de expansión del depósito produce una fuerza ó esfuerzo de compresión oculto en el metal muy cerca de las interfaces del metal base y recubrimiento.

Estas fuerzas tenderan a causar una deformación cóncava en la superficie plana, que algunas veces se extenderá en forma de relieves en el depósito, el cual continuara como un esfuerzo constante de extensión.

En este tipo de aplicaciones, ocurren grandes distorsiones en el depósito, cuando los depósitos han sido separados de sus soportes desde el momento en que estos quedan libres, luego entonces, ocurrirán deformaciones en la masa hasta que finalmente se hayan liberado todos los esfuerzos de extensión desarrollados en las capas exteriores.

Los esfuerzos de tensión producidos por la expansión de los recubrimientos ocurren aunque la contracción de cada partícula es individual cuando ellas solidifican en el sustrato. Momentáneamente, las partículas fundidas están íntimamente en contacto con partículas sólidas frías, en donde todas ellas tienden a contraerse en la misma proporción, pero cuando se hacen pausas durante el periodo que dura la aplicación se provoca que la acumulación de esfuerzos crezca, de ahí la importancia de buscar mecanismos para lograr que la pieza se mantenga a una temperatura constante y hacer que la aplicación se mantenga de forma continua hasta lograr el espesor de recubrimiento deseado.

### **3.2.3 DUREZA DE LAS CAPAS METALIZADAS.**

Los recubrimientos termorociados poseen una estructura heterogénea conformada por el contenido de óxidos y vacíos microscópicos resultado de la aplicación del recubrimiento.

Al realizar pruebas de dureza, se deben de tener presentes los espesores de las capas metalizadas. Cuando se emplea un medidor de dureza Rockwell normal, cada vuelta del indicador representa 0.0078 pulgadas de penetración (0.20 mm), por lo que para obtener mediciones correctas, las capas metalizadas deben tener un espesor de aproximadamente 10 veces más con respecto a la profundidad de la penetración. También a veces se produce algo de difusión en la capa metalizada y la cara interna del metal sobre la base del metal que ha sido rociado.

Para fines prácticos, a continuación se indican las escalas Rockwell consideradas como satisfactorias para mediciones en capas termorociadas.

- ◆ Escala A : Usarla para capas metalizadas con espesor de 0.035 pulgadas o más (0.889 mm).
- ◆ Escala B : Usarla para capas metalizadas con un espesor superior a 0.050 pulgadas (1.27 mm).
- ◆ Escala C : Usarla para capas metalizadas con un espesor superior a 0.070 pulgadas (1.778 mm).

Normalmente la escala A se usa exclusivamente cuando se prueban capas metalizadas que fueron realizadas con equipos de bajas velocidades, para capas con espesores inferiores a 0.035 pulgadas (0.889 mm) de espesor, se debe usar un medidor de dureza superficial con cargas de 15N ó 45N.

El medidor de dureza Rockwell y otros comunes, cuando se usan con capas metalizadas son influenciados por la dureza de las partículas metálicas, la adherencia entre las partículas, la porosidad del deposito y su contenido de óxidos.

Es obvio, que las pruebas de dureza no pueden ser comparables a las durezas de los metales sólidos. Por otra parte, las pruebas de dureza pueden ser usadas para verificar la dureza entre una capa metalizada y otra aplicada en la misma condición.

Esta comparación también se realiza con respecto a lo especificado en el boletín técnico del material que vaya a ser utilizado y si las dos durezas son similares, entonces puede asumirse que la porosidad es casi la misma que cuando realizaron las pruebas de aplicación del recubrimiento en sí para poder definir las características descritas en los boletines de aplicación.

También frecuentemente son usadas escalas de dureza (Vickers) para medir microdurezas especialmente en aquellos recubrimientos de carburo de tungsteno en donde se aplican cargas de 300 gramos y los valores son expresados en DHP<sub>300</sub>.

La dureza de los recubrimientos metalizados, es un indicador de que la aplicación fue realizada en condiciones casi óptimas, aunque algunas veces en el caso de recubrimientos metálicos en donde la dureza es muy alta, lo más probable es que exista una gran cantidad de óxidos, lo cual dificultara el proceso de maquinado final.

### 3.2.4 COMPRESIÓN DE LAS CAPAS METALIZADAS.

Los recubrimientos metalizados, poseen fuerzas de compresión mayores que las debidas a esfuerzos de expansión llegando a alcanzar 3 ó 4 veces más esfuerzo que el ya mencionado.

La fuerza de compresión es una propiedad importante cuando se consideran aplicaciones de carga de baleros en flechas, bordes, ó bien diámetros con ranuras. El entorno de operación de recubrimientos que van a estar sujetos a fuerzas de compresión, deberá ser tomado en cuenta especialmente donde existan condiciones de temperatura, ya que altas temperaturas combinadas con cargas excesivas pudieran producir deformación plástica y por lo tanto la fuerza de compresión obligaría a disminuir la dimensión del recubrimiento, produciéndose de esta manera una posible falla de operación no deseada.

Al hablar de que pueden ser usadas las aplicaciones de metalizado en zonas donde se tendrán ajustes de baleros, no deberá ser confundido con el uso de rodamientos que giren directamente sobre la superficie del metalizado, ya que las cargas aplicadas propiciarán que las partículas de metalizado se separen propiciándose así la falla inevitable de la capa.

### 3.2.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS METALES TERMOROCIADOS.

La relación entre resistencia a la tracción y resistencia al desgaste es muy importante cuando se usan capas metalizadas. Aun cuando la resistencia al desgaste esta relacionada a muchas variables tales como el calor, presión, tipo y grado de lubricación, terminación superficial, dureza y solubilidad mutua de las superficies metálicas en contacto, los desgastes se producen de dos maneras. Primero, por la gradual acción de desgaste de las partículas superficiales, que ocurren en superficies bien lubricadas, tales como muñones de cigüeñales, en las cuales muy pocas milésimas de desgaste se produce en un periodo de tiempo muy prolongado. Segundo, al retirar partículas enteras mediante granos abrasivos ó por engranaduras en caso de servicio muy pesado.

Este tipo de desgaste es resistido por la cohesión de las partículas que conforman la capa del muñón, en el caso de capas metalizadas su resistencia a la tracción esta en directa relación a la cohesión de las partículas individuales, lo cual tiene suma importancia. Las pruebas de resistencia a la tracción miden la fuerza de adherencia de la partícula en forma total, y dado que una capa metalizada se contrae cuando es aplicada, es de esperarse que se crearan fuerzas internas desde el principio del trabajo.

Las pruebas de resistencia a la tracción medirán las diferencias entre la fuerza real de adherencia y las tensiones o fuerzas internas generadas.

La posibilidad que tiene un metal para alargarse ó para ceder es también importante, dado que los metales más frágiles no se estiran y además se rajan con mayor facilidad comparados con los que se estiran ó encogen, por ello metales que tienen bajo índice de contracción, gran resistencia a la tracción y un alargamiento relativamente alto son los más seguros.

Cuando se metalizan ejes y en muchas otras aplicaciones, la contracción de la capa metalizada debido a la solidificación y subsecuente enfriamiento crea tensiones en la capa, estas tensiones pueden aumentar en servicio por deformaciones de las piezas o por expansión de la base cuando el calor se hace presente. Por ello es indispensable que la capa metalizada tolere un cierto alargamiento.

La selección de la forma de medir la resistencia a la tracción de los materiales metalizados crea algunos problemas, lo más elemental es formar un bloque de metal termorociando sobre un molde para posteriormente tornearlo hasta lograr una forma normal y dar la forma de una probeta, sin embargo la desventaja de este método es la condición de temperatura utilizada para generar el sólido, adicional a esto se suma el ángulo de inclinación utilizado para la aplicación, el volumen de óxidos y el polvo atrapado en el molde puede afectar adversamente la calidad del metalizado.

Un método más real consiste en metalizar sobre un material de base preparado bajo condiciones de uso similares al real, sobre un centro o núcleo que pueda ser retirado al momento de recibir la carga.

Existe otro método y que es el de mayor uso, que consiste básicamente en preparar un tubo de acero dulce con diámetro de 3/8 pulgada con pared de 1.22 mm derecho e uniforme, el cual debe de estar torneado internamente y con las puntas taponadas.

Una vez obtenido esto, la pieza se hace girar y se le proporciona rugosidad con arena abrasiva, para posteriormente metalizarlo y maquinarlo en el torno para dar la forma de la probeta. El diámetro interno se termina a torno maquinando una cuerda en los extremos que sirven para sujetar la probeta al momento de realizar la carga.

Las pruebas de tracción preliminares en capas metalizadas muestran muchas aparentes inconsistencias y pruebas duplicadas pueden variar hasta en un 25 %. El resultado de estas variaciones se debe principalmente a los siguientes factores:

(1) Calor:

Los metales que se oxidan rápidamente tienen menos fuerza si son metalizados y sobrecalentados, es decir, si el operario no toma las precauciones adecuadas para evitar que se suba la temperatura de la pieza sobre los límites razonables (Una pieza de poco diámetro requiere de más enfriamiento comparada con una de mayor diámetro. Los materiales que se oxidan fácilmente son el cobre y los aceros al carbono, en cambio los metales que no son fáciles de oxidar adquieren más fuerza si la pieza sobre la cual se rocían llega a temperaturas entre 204 y 260 grados Celsius, por ejemplo: los aceros inoxidable, algunos bronce y aleaciones de nickel. En grandes diámetros el sobrecalentamiento de una capa puede terminar en rajaduras y esto ocurre principalmente con los materiales que tienen un alto índice de contracción.

(2) Distancia Entre la Punta de la Pistola y la Pieza a Metalizar:

Las capas termorociadas a una distancia de 3 -1/ 2 pulgadas son generalmente más fuertes que las metalizadas a una distancia de 6 pulgadas. Sin embargo, esto último produce mayor contracción y mayores esfuerzos internos y en las piezas de gran diámetro aumenta el peligro de rajaduras.

(3) Presiones de los Gases y del Aire Comprimido:

Elevando las presiones puede aumentarse la velocidad de proyección de las partículas de metal fundido, esto tiende a mejorar en algo la fuerza, pero en realidad cambios mínimos tienen poco efecto.

### 3.2.6 RESISTENCIA AL DESGASTE.

Los recubrimientos metalizados son usados para incrementar la resistencia al desgaste de sustratos suaves ó desgastados. Los tipos de desgaste que deterioran las superficies incluyen:

- (1) Desgaste por Adhesión: Que incluye ralladura, rozamiento, agarre y arrastre, como resultado del contacto metal contra metal bajo una fuerza de presión.
- (2) Desgaste por Abrasión: Este tipo de desgaste ocurre cuando alguna superficie esta en contacto con algún medio húmedo combinado con arena, roca ó diamante.
- (3) Desgaste por Corrosión: Este tipo de desgastes están presentes cuando reacciones químicas en combinación con abrasión mecánica remueven material de una superficie.
- (4) Desgaste por Erosión y Corrosión: Es el resultado del movimiento entre una superficie y algún líquido abrasivo, el cual muy posiblemente acarrea partículas abrasivas.
- (5) Desgaste por la Combinación de Impacto y Deslizamiento: Este tipo de desgaste es el resultado de partículas en movimiento que chocan contra alguna superficie y que llegan a producir daños tan severos como el efecto producido por la cavitación.

La dureza de los recubrimientos cuando son propiamente seleccionados ofrecen una indicación de resistencia al desgaste, sin embargo habrá que considerar otros factores como son la forma del sustrato, las velocidades de operación, presión, temperatura y lubricación. Otra de las características de los recubrimientos que ayudan a aumentar la resistencia al desgaste, es que la microporosidad natural que presentan ayuda a retener una película de aceite que siempre mantendrá lubricada una superficie que tenga que tener esta característica.

Por otro lado la presencia de óxidos dentro de los recubrimientos metalizados proporciona una mayor resistencia al desgaste, ayudada por la estructura metalúrgica de los depósitos rociados, de ahí que aleaciones de acero con alto contenido de cromo tengan propiedades excelentes de resistencia al desgaste

### 3.2.7 EFICIENCIA DEL DEPÓSITO.

La mayoría de materiales usados en la metalización, tienden a vaporizarse en cierto grado por las altas temperaturas generadas por el equipo durante el proceso de aplicación, además muchos de los finos componentes no paran siempre en la superficie del sustrato, sino que son llevados fuera de él por el chorro de aire comprimido.

En general, podría decirse que las condiciones que nos dan una alta eficiencia de depósito son el resultado de una óptima utilización de todos los factores que rodean al proceso durante una determinada aplicación. Los factores que más afectan el grado de eficiencia del depósito son:

- a) La forma y medida de los componentes
- b) Material base del sustrato y superficie de preparación
- c) Parámetros de rociado.

La eficiencia del depósito se reduce aun más cuando las aplicaciones son sobre sustratos muy pequeños, ya que gran parte del abanico de terrorociado se queda afuera de la zona de aplicación, sin embargo del igual manera cuando son piezas de un tamaño mucho mayor, también se pierde material cuando se esta realizando la aplicación en los extremos de la pieza, otro factor que también afecta es el usar ángulos de rociado diferentes a 90 grados con respecto a la superficie del sustrato.

Una de las formas que ayudan a obtener mejores resultados en cuanto a eficiencia del deposito, es asegurar la propia rugosidad del sustrato y seguir detalladamente todos los parámetros de aplicación del material del recubrimiento, lo cual se reflejara aun más en el ahorro de la materia prima y por lo tanto menores costos de operación.

### **3.3 SELECCIÓN Y APLICACIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS EN LA INDUSTRIA.**

La selección de un material adecuado para una aplicación en particular, envuelve más consideraciones aparte de las propias propiedades del material del recubrimiento en sí. Por lo que en un determinado problema de Ingeniería es muy importante tener en cuenta factores que permitan dar una solución adecuada al problema, y es por eso que se deben de considerar los siguientes factores:

- a) Medio ambiente en donde trabaja el elemento que va a ser recuperado.
- b) La forma y complejidad del sustrato, así como las propiedades físicas y químicas del mismo.

Muchas de las veces, al realizar la selección de algún recubrimiento, por desconocimiento mismo de los principios de metalizado, se busca casi siempre algún material que nos brinde protección contra el desgaste, esto definitivamente es un error pues deberá realizarse un análisis de las condiciones de trabajo del sustrato a ser reparado y lo que ya se mencionó en incisos anteriores, es por eso que en el siguiente punto de este trabajo, se expone información para la realización de una selección adecuada del material del recubrimiento para una aplicación específica.

### 3.3.1 APLICACIONES ELÉCTRICAS.

Los depósitos termorociados son ampliamente usados en la industria eléctrica, principalmente para proporcionar conductividad a elementos que serán utilizados en la industria.

Una de las aplicaciones típicas es en la producción de condensadores, en donde la aplicación es realizada por un equipo automático que principalmente se utiliza para aplicar aluminio sobre una tela metálica, además, se hacen aplicaciones con cobre a resistores de cerámica ó carbón con la finalidad de proveer una alta conductividad.

Las aplicaciones a los elementos eléctricos casi siempre utilizaran capas muy delgadas de recubrimiento y los metales que más ampliamente se usan, son: Cobre, Aluminio, Zinc y Plata, esto ha hecho que la industria eléctrica haya podido desarrollar aplicaciones para elementos como resistores, capacitores e inductores, por ejemplo: La plata se utiliza en las áreas de contacto de las cuchillas para proveer un buen contacto eléctrico. Otros ejemplos de aplicación son las usadas para evitar ó eliminar interferencias por radiofrecuencia, es decir, es usado como un escudo en equipos de monitoreo medico y en equipos de oficina.

En el anexo de este trabajo se da información de los tipos de materiales y aplicaciones para los cuales pueden ser usados algunos recubrimientos, este anexo se hace extensivo para dar mayor detalle de lo que a continuación se expone.

### 3.3.2 APLICACIONES PARA ANTIFRICCIÓN Y DESGASTE.

El desgaste de cualquier tipo de superficie ó elemento, muy posiblemente es porque han sido sometidos a condiciones de fricción, deslizamiento, impacto, abrasión, erosión ó alguna otra condición de servicio, consecuentemente los recubrimientos que son resistentes al desgaste son duros y exhiben resistencia a condiciones de operación en donde exista temperatura ó ataque químico, para este tipo de situaciones generalmente se usan: Carburos, cerámicas ó aleaciones de cobalto y molibdeno, los cuales ofrecen una excelente protección.

A continuación se dan algunos datos de temperatura a la cual es recomendable utilizar este tipo de recubrimientos:

- ♦ A temperaturas menores de 900 °F (480 °C), es recomendable utilizar carburos de tungsteno.
- ♦ A temperaturas entre 900 °F (480 °C) y 1200 °F (650 °C) se recomienda el uso de carburo de titanio y carburo de cromo.
- ♦ A temperaturas arriba de 1200 °F (650 °C) los mejores materiales son los carburos de cromo y las cerámicas.

Al igual que los aceros al alto carbono, molibdeno, aleaciones de nickel – cromo por nombrar algunos, estos materiales dan resistencia y protección contra el desgaste por fricción ó deslizamiento, sin embargo, en cualquier situación donde se requiera protección, la mejor manera de seleccionar el recubrimiento será evaluando las condiciones de servicio y el entorno de trabajo que rodea al sustrato que será recuperado o protegido.

### 3.3.3 APLICACIONES PARA RECUPERACIÓN DE ELEMENTOS.

En cualquier componente en donde sea necesario reconstruir una medida debido al desgaste producido por el servicio y/o errores de manufactura en piezas nuevas, se hacen presentes las ventajas de la aplicación de recubrimientos por medio de metalizado, el cual proveerá la condición de reconstrucción sin la producción de distorsión típica que genera una reconstrucción por medio de soldadura ó la utilización de técnicas de plateado muy costosas.

Aplicaciones típicas de recuperación, incluyen flechas de máquinas, vástagos, flechas reciprocantes, cigüeñales, cojinetes, tambores secadores de la industria papelera, sellos, impulsores, alabes, etc. Para este tipo de trabajos la gama de recubrimientos que puede ser usada es muy amplia, por lo que solo mencionare algunos de los más ampliamente usados y que son: Metal babbit, aluminio, aceros inoxidable, aceros al carbón, aleaciones de níquel - cromo y cerámicas, más información al respecto esta anotada en el anexo ya mencionado.

### 3.3.4 APLICACIONES PARA PROTECCIÓN CONTRA EL ENTORNO DE TRABAJO QUE RODEA AL SUBSTRATO.

Algunos recubrimientos son utilizados como barreras térmicas, los cuales son usualmente aplicados en motores de pistón a diesel, en cámaras de combustión de turbinas de gas y álaves. Los recubrimientos más utilizados para estas condiciones de servicio son: Los materiales cerámicos, aleaciones de níquel - cromo, cobalto, etc.

Los materiales anteriormente mencionados, dan al material base la propiedad de soportar condiciones de operación a excesivas temperaturas, adicional a esto protegen al substrato contra la oxidación y corrosión inherente que pueda estar presente en el entorno de trabajo. De igual manera, estas aplicaciones se pueden extender a muchas ramas de la industria y de esta manera reducir costos por

mantenimiento y/o reemplazo de partes que deseen ser protegidas contra las condiciones del entorno que las rodea.

### **3.4 USO DE SELLADORES EN LAS CAPAS METALIZADAS.**

Después de haber realizado la selección del material y haberlo aplicado, se hace necesario realizar la aplicación de un sellador, ya que los materiales termoro-ciados tienen como característica particular, la porosidad inherente del acabado. Estas porosidades muy posiblemente estarán interconectadas con la superficie del sustrato, y es entonces cuando los selladores son usados como un post-tratamiento para rellenar esos poros. Las razones por las cuales es importante realizar el sellado de los recubrimientos metalizados es para:

- (1) Prevenir y retardar la corrosión en la interface entre el recubrimiento y el sustrato.
- (2) Aumentar la vida útil de la capa de recubrimiento utilizado para prevenir la corrosión, como son el zinc y el aluminio.
- (3) Prevenir la pérdida de presión de algún fluido que sea utilizado como parte de la operación de algún elemento de máquina.
- (4) Prevenir la contaminación o escombros del rectificado realizado en el recubrimiento.

También es importante que los materiales que vayan a ser utilizados como selladores incluyan las siguientes propiedades:

- (1) Que tengan la adecuada penetración.
- (2) Resistencia al ataque de solventes o químicos.
- (3) Resistencia a la acción mecánica del recubrimiento.
- (4) Estabilidad de operación por temperatura.
- (5) No producir degradación del material base del sustrato ó del recubrimiento.
- (6) No debe de ser tóxico (Principalmente en la industria alimenticia)

- (7) Debe ser seguro de aplicar (No causar daños a la salud del personal operativo durante su aplicación).

Los selladores son adelgazados para asegurar la buena penetración y puedan ser aplicados por medio de una pistola de rociado, o bien con el uso de una brocha. Cuando es necesario un nuevo mantenimiento, es posible reaplicar una capa de sellador de tipo vinílico muy fácilmente, la temperatura de servicio de este tipo de sellador es de 150 °F (65 °C).

Algunos selladores Epoxicos - Phenolíticos y resinas de silicón son usados en donde existen ciertas condiciones de corrosión. Para condiciones en donde existe alta temperatura y atmósferas oxidantes los selladores a base de resina de silicón impregnados de aluminio son ampliamente satisfactorios a temperaturas de operación de 900 °F (480 °C), este tipo de selladores son recomendables para usarse en aplicaciones de metalizado llevadas a cabo con materiales de aluminio y aleaciones de nickel - cromo.

Otros tipos de selladores comúnmente empleados son:

- a) Selladores a base de cera para operar a temperaturas de 200 °F (93 °C), este tipo de selladores son resistentes a soluciones salinas, algunos ácidos y líquidos alcalinos, la principal aplicación de estos selladores es en aplicaciones de metalizado utilizados para la industria alimenticia y química.
- b) Selladores de resinas Phenolíticas se utilizan para operar en rangos de temperatura de 300 - 500 °F (150 - 260 °C), estas resinas exhiben buena resistencia al uso de solventes orgánicos y ácidos débiles.

Generalmente los selladores, son aplicados después del termorociado y antes de realizar operaciones de acabado por rectificado o torneado.

Solo en algunos casos el sellador es aplicado después de haber realizado el maquinado, esto es debido a que algunas aplicaciones de metalizado contienen

algunas imperfecciones que no están extendidas hasta la superficie, y dichas imperfecciones muy probablemente aparecerán mientras se este realizando el proceso de maquinado o rectificado, el único inconveniente, es que al realizar la operación de maquinado, la superficie tiende a tener menos porosidad por lo que la medida de penetración del sellador disminuirá significativamente.

#### **4 MÉTODOS PARA EL ACABADO DE PIEZAS METALIZADAS.**

Los depósitos de recubrimientos metalizados pueden ser rectificadas y acabados en muchas formas.

El método a escoger puede ser desde una operación de pulido simplemente echo a mano, o hasta el rectificado con bandas abrasivas y más complejo aun utilizando métodos de rectificado de alta precisión.

Los factores que influyen cual será el método a utilizar para dar el acabado en la pieza, incluyen lo siguiente:

- a) El tipo de material del recubrimiento que será rectificado.
- b) La forma o contorno del sustrato sobre el cual fue realizada la aplicación.
- c) Tipo de acabo requerido y tolerancia requerida en la superficie que será terminada.
- d) El tipo de equipo disponible para realizar la operación de acabado.
- e) La búsqueda de no encarecer el proceso con un método lento para la operación de acabado.

Cuando las aplicaciones de metalizado están echas de una manera uniforme y fina con seguridad se obtendrán acabados superficiales mucho mejores que en aquellos que no tengan estas características, además se debe de considerar que el operador que va a realizar la operación de acabado previamente debe de ser

capacitado para realizar este tipo de maquinados ya que el mismo desconocimiento de las características que envuelven a las capas metalizadas podrían llevarla al fracaso durante el proceso de maquinado, por lo que en los siguientes puntos del tema tratado en este trabajo se describirán las formas en que puede ser terminada una capa metalizada y de cuales deben de ser las precauciones que deben de ser tomadas, ya que no pueden ser maquinadas en las mismas condiciones que las de un material macizo cualquiera.

#### **4.1 RECTIFICADO CON BANDAS ABRASIVAS.**

Los recubrimientos metálicos y cerámicos pueden ser efectivamente acabados por rectificado y pulido por medio del uso de bandas abrasivas. El uso de estas puede ser utilizando cuando ya se realizo un desbaste previo por cualquier otro método pero no necesariamente debe de ser así, ya que pueden ser usadas tanto para el desbaste del material y dar forma al acabado final de la superficie metalizada.

En la actualidad, el desarrollo de materiales de apoyo y diseño de granos abrasivos han permitido la producción de cinturones o bandas impermeabilizadas con la forma y durabilidad deseadas. Las bandas hechas de estos materiales producen excelentes acabados que además nos permiten remover altas cantidades de material. Las bandas abrasivas proveen algunas ventajas sobre otros medios de rectificado, ya que ellas pueden remover material sin producir sobrecalentamiento de la superficie, además de que no es necesario utilizar cubiertas de protección, permitiendo de esta manera realizar cambios de bandas de una manera mucho más rápida cuando ya esta desgastada.

Cuando se va rectificar o pulir con bandas abrasivas, el substrato debe de ser fijado a un torno para que este pueda ser rotado en rangos de velocidad de 25 a 200 SFPM (0.13 a 1.0 m/seg), mientras que la banda abrasiva es revolucionada en rangos de 6000 a 7000 SFPM (30 a 35 m/seg), estas velocidades de rotación

dependerán de factores tales como las dimensiones que tenga el sustrato, el tipo de recubrimiento utilizado y el tipo y medida del abrasivo utilizado.

Una regla general para el uso de bandas abrasivas, es que primero se utilicen bandas de grano grande para dar el desbaste y utilizar bandas de grado fino para dar el acabado final. Si un elemento o sustrato metalizado carece de redondez, entonces se hará necesario primero realizar una remoción de material por algún método alternativo, para posteriormente utilizar las bandas para el acabado fino.

Un ejemplo de aplicación práctica en la industria es su uso en el rectificado de cilindros secadores de papel, este tipo de proceso permite reducir en un tercio de tiempo menos comparado con la rectificación de una piedra de rectificado, el proceso para el rectificado de estos cilindros, se inicia con el uso de una rueda dura en donde se monta una banda de circonio de 3 a 4 pulgadas con grano 36, posteriormente cuando ya se logra obtener una superficie alisada, se procede a utilizar una de grano 50, y así sucesivamente pasando por granos de tamaño 80, 120, 180 y 320 hasta que consigamos obtener la superficie deseada, otra de las características de este tipo de proceso de rectificado, es que no es necesario utilizar ningún tipo de refrigerante, es decir, se lleva a cabo totalmente en seco.

Un factor determinante para lograr obtener los resultados deseados de rectificado, es el uso de las ruedas de contacto, las cuales permiten que se logren obtener terminaciones más finas y uniformes, dado que las ruedas de contacto absorben vibraciones de la maquinaria, eliminando de esta manera las marcas que generalmente se observan en los cilindros después de que han sido rectificadas.

#### **4.1.1 COMO SELECCIONAR LA RUEDA DE CONTACTO PARA LA BANDA.**

La información que se hace necesaria para poder seleccionar el tipo de rueda de contacto adecuada es la siguiente:

- 1) Medida de la rueda a utilizar.
- 2) Tipo de diseño de la cara de la rueda.

- 3) Dureza de la cara del material de la rueda.
- 4) Escala de dureza del material de la rueda a utilizar.
- 5) Angulo del tipo de dentado de la rueda (El ángulo estándar es de 45 grados).
- 6) Sentido del dentado de la rueda.
- 7) Material de la rueda (Caucho o Urhetano rolado con base de acero, base de aluminio o base de hierro).

De lo anteriormente explicado, se desprende que las ruedas más comúnmente usadas son:

- 1) Rueda dentada en sentido antihorario con dureza de 20A - 70D.
- 2) Rueda con dentado rectangular con dureza de 20 A - 70 D.
- 3) Rueda con dentado doble con rango de dureza de 50 A /20 A - 70 D/60 A.
- 4) Rueda sin dentado con estampado doble con rango de dureza de 50 A/20 A - 70 D/60 A.
- 5) Rueda con base de aluminio y dentado de caucho con durezas de 60 A - 90 A.
- 6) Rueda con base de aluminio con rolado de caucho sin dentado con dureza de 60 A - 90 A.
- 7) Rueda de superficie plana con dureza de 20 A - 70 D.

Lo 7 tipos de ruedas mencionadas anteriormente son como las que se ilustran en la siguiente pagina:



## ESCALA DE DUREZA SHORE

MOLE

A

DURO

A

EXTRADURO

RANGO DE DUREZA DE LA ZONA DE TRABAJO

D

20 A

ESCALA "A"

90 A

100 A

0

10 D

ESCALA "D"

70 D

100 D

## 4.2 MAQUINADO CONVENSIONAL DE CAPAS METALIZADAS

El maquinado de recubrimientos metalizados, envuelve técnicas especiales que involucran la relación de los avances y profundidades de corte que pueden ser empleados. Las principales herramientas usadas para el mecanizado de las capas metalizadas son de carburo y deben de contar con el ángulo y filo apropiado para evitar que la capa resulte dañada durante la operación.

Es por eso que en el proceso de maquinado de capas metalizadas, el primer paso deberá ser realizado para desbastar los extremos en donde se produjo una mayor concentración de material, el maquinado de estos extremos siempre deberá de ser realizado de adentro hacia fuera con el fin de evitar el levantamiento de la capa por el esfuerzo inicial producido, este maquinado debe de ser realizado proporcionando revoluciones bajas al sustrato de manera que no se produzca demasiada fricción entre la herramienta y la capa metalizada.

La profundidad de corte que se recomienda utilizar podrá estar en el rango de 0.030 pulgadas (0.76 mm), además la herramienta de corte deberá de tener un radio aproximadamente de 0.005 pulgadas - 0.010 pulgadas ( 0.13 mm - 0.25 mm) esto con el fin de que tenga una buena superficie de apoyo durante las múltiples pasadas de corte, de ahí la importancia de que la herramienta de corte tenga un correcto afilado para evitar que esta tenga desgaste prematuro.

## RECOMENDACIONES DE MAQUINADO CON HERRAMIENTAS DE CARBURO

TIPO DE RECUBRIMIENTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA	VELOCIDAD DE SUPERFICIE (m/s)		ALIMENTACIÓN (mm/Rev.)	
		DESBASTE	ACABADO	DESBASTE	ACABADO
Acero de Bajo Carbono	Mn 0.5, C 0.10, Fe Bal.	0.38 - 0.51	0.38 - 0.51	0.15	0.08
	Mn 0.6, C 0.23, Fe Bal.	0.25 - 0.38	0.25 - 0.38	0.1	0.08
Acero Inoxidable Tipo 420	C 0.35, Mn 0.5, Cr 13, Si 0.5, Fe Bal.	0.15 - 0.20	0.15 - 0.20	0.1	0.08
Acero Inoxidable Tipo 202	C 0.15, Mn 8.5, Ni 5.10, Cr 18, Si 1.0, Fe Bal.	0.51 - 1.5	0.63 - 0.89	0.15	0.08
Acero al Alto Carbono	C 0.80, Mn 0.7, Fe Bal.	0.15 - 0.20	0.15 - 0.20	0.1	0.03
Aluminio	99.0 + Al	1.3 - 1.5	1.5 - 1.8	0.1	0.05
Bronce Aluminio	Al 9.5, Fe 1.0, Cu Bal.	1.3 - 1.5	1.5 - 1.8	0.15	0.08
Cobre	99.0 + Cu	1.3 - 1.5	1.5 - 1.8	0.15	0.08
Latón	Cu 66, Zn 34	1.3 - 1.5	1.5 - 1.8	0.15	0.05
Nickel	Ni 99.5	1.0 - 1.3	1.3 - 1.5	0.1	0.05
Nickel - Cromo Aluminio	Al 6.0, NiCr Bal.	0.15 - 0.20	0.15 - 0.20	0.1	0.03
Aleación	Ni 67, C 0.15, Si 1, Fe 1.5 Mn 1.0, Al 0.1, Cu Bal.	1.0 - 1.3	1.3 - 1.5	0.1	0.05

FUENTE TOMADA DE LA REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No. 10 DE ESTE TRABAJO EN LA PAG. No. 5 DEL BOLETÍN TÉCNICO

Debido a las razones antes expuestas, se recomienda utilizar los siguientes parámetros de corte para asegurar el éxito en el maquinado de la capa metalizada, esta tabla (Ver pagina No. 68) muestra los materiales termorociados que pueden ser maquinados, mostrando los avances y velocidades recomendadas.

Adicionales a las herramientas de carburo, existen otras tales como:

- a) Herramientas de nitruro de boro.
- b) Herramientas de carburo recubiertas con algún material que le da la propiedad de tener mayor resistencia al desgaste (Dióxido de Titanio).
- c) Insertos de material cerámico.
- d) Insertos de diamante.

Estas herramientas pueden ser utilizadas para desbastar y acabar materiales que tienen altas durezas, logrando concebir excelentes acabados, el único requisito para el uso de este tipo de herramientas, es asegurar que la máquina en donde serán utilizadas tenga buenas características de rigidez, para evitar cualquier posibilidad de vibración que ocasione el rompimiento de estas herramientas.

Cuando el maquinado de una pieza metalizada es en una superficie plana, es imperativo tener mucha atención en el uso de la herramienta, especialmente en las áreas de los extremos en donde existe exceso de material, ya que una carga de corte alta en esa zona puede provocar el desprendimiento de la capa de recubrimiento.

Este proceso de mecanizado del cual he estado hablando principalmente es posible aplicarlo en máquinas herramientas convencionales tales como tornos horizontales y verticales, incluyendo a las fresadoras de las cuales no se están dando parámetros de corte recomendados debido a que su aplicación es mínima.

Por otra parte, muchas de las veces el acabado obtenido por medio del torneado no es suficiente por lo que se tiene que recurrir a otro proceso adicional como es el rectificado tema del cual vamos a tratar en el siguiente punto de este trabajo.

#### **4.3 RECTIFICADO DE CAPAS METALIZADAS.**

El acabado y tolerancia requerida en el material del rectificado, son los factores que dictaminan el solo uso práctico del rectificado como proceso de acabado. Dentro de este proceso las máquinas que convencionalmente son utilizadas, son para el rectificado de diámetros interiores y exteriores, así como el de superficies planas.

Cuando se use cualquier medio abrasivo como medio para rectificar ó pulir, es importante asegurar que el material del recubrimiento sea maquinable con el tipo de abrasivo seleccionado, ya que por ejemplo si las ruedas de rectificar usadas tienen excesiva dureza, o si no cortan libremente, entonces tenderán a formarse partículas individuales que pueden empezar a empujar la superficie de la capa de recubrimiento, ó peor que se produzca la total delaminación de la capa produciéndose así una separación total entre la capa de metalizado y el sustrato.

##### **4.3.1 SELECCIÓN DE LA PIEDRA DE RECTIFICADO.**

La selección de la piedra de rectificado envuelve el involucramiento de los siguientes factores:

- a) Dureza y estructura del recubrimiento.
- b) Cantidad de material a remover.
- c) Medida del sustrato a rectificar.
- d) Especificaciones de la superficie de acabado.
- e) El tipo, condición y capacidad de la máquina rectificadora.

Adicionalmente, es necesario seguir las cuatro reglas que a continuación se mencionan en este capítulo.

#### REGLA No 1:

Siempre usar la piedra de manera que este afilada en lo posible, ya que el filo de la piedra permitirá cortar material muy rápidamente sin producir sobrecalentamiento. Sin embargo, lo afilado de la piedra es gobernada por otros factores, alrededor de lo cual esta el tipo y medida del grano abrasivo de que se compone la piedra.

a) Tipo de Grano.- 4 Tipos de grano son utilizados en la manufactura de las ruedas de rectificado, de estas, 2 son las más utilizadas para el rectificado de superficies metalizadas y son: Las que son a base de carburo de silicio y diamante. El carburo de silicio es escogido por la habilidad natural del material de fracturarse durante el proceso de rectificado, esta característica le permite tener nuevos puntos de corte que le permiten mantenerse afilada durante el proceso. Por el contrario, la rueda de diamante es usada por su durabilidad y habilidad de limpiar y cortar aleaciones duras incluyendo los materiales cerámicos. El óxido de aluminio y el nitruro de boro cubico (CBN) se utilizan solo en algunas aleaciones de acero.

b) Medida del Grano.- Es considerada porque superficies pequeñas de área y el filo de las puntas y granos de abrasivo fino permitirán penetrar muy fácilmente en metales duros a comparación de los abrasivos de grano burdo. Las medidas de grano normalmente usadas para rectificar depósitos tenorociados estaran en el rango de 46 - 80 (Equivalente a: 37 - 180  $\mu\text{m}$ ) aunque medidas finas serán utilizadas para generar acabados de recubrimientos más finos.

## REGLA No 2:

Escoger ruedas de rectificado con estructuras y grados, los cuales puedan proveer libertad de acción de corte.

El espaciamiento individual entre cada uno de los granos que conforman a la rueda de rectificado es lo que forma la estructura de la misma, esta característica nos da ciertas pautas de utilización, como por ejemplo: Una rueda con estructura abierta tiende a cortar más libremente, es decir, este espaciamiento adicional entre los granos proveen ciertos beneficios, es por eso que la estructura de las ruedas esta diseñada en forma numérica.

Para materiales que han sido metalizados y que necesitan ser rectificadas, se recomienda el uso de estructuras de granos en el rango de 5 - 8.

a) Grado de la Rueda.- Las ruedas de rectificar pueden ser manufacturadas en varios grados de dureza. Ruedas con durezas altas tendrán un mayor periodo de vida útil, la desventaja es que este tipo de ruedas tienden a cortar más lentamente generando más calor y por consiguiente requerirán más enfriamiento de lo normal que lo requerido en una piedra suave. El grado de dureza de una rueda de rectificado se designa en forma alfabética y se recomienda utilizar grados entre el rango "H" y "L" cuando se trate de rectificado de superficies de materiales metalizados, además de tener en cuenta las siguientes 2 consideraciones:

1.- Grados suaves de ruedas abrasivas deben ser usadas en áreas de contacto largas, o bien cuando se usen ligeras cargas de presión en el rectificado y cuando se tengan que remover grandes cantidades de material.

2.- Grados duros de ruedas abrasivas deberán ser utilizados en áreas de contacto pequeñas, o cuando se usen ruedas mucho muy estrechas, también cuando se usen cargas de presión muy pesadas durante el proceso ó cuando se estén produciendo acabados finos.

### REGLA No 3:

Escoger el tipo de liga que conforma a la piedra que convenga a la operación del equipo.

a) Tipo de Liga Vitrificada.- Este tipo de liga vitrificado se selecciona por su porosidad, rigidez y fuerza de adhesión, que pueden proveer a la rueda abrasiva de la propiedad de poder remover grandes cantidades de material y mantener un buen control en la precisión de las tolerancias. Además, no se ve afectado por el uso de agua, ácidos, aceite o variaciones ordinarias de temperatura. Sin embargo, la mayoría de las ruedas vitrificadas están limitadas en su velocidad de operación por cuestiones de seguridad ya que la máxima velocidad de operación permisible es de 6500 SFPM (33 m/s), y solo deben ser utilizadas después de haberse asegurado y establecido las velocidades de operación de la máquina.

La velocidad de operación de la máquina no debe de exceder de la velocidad de operación de la rueda para seguridad del personal. Este tipo de ruedas son las más ampliamente utilizadas para el rectificado de las superficies metalizadas.

b) Tipo de Liga a Base de Resinas.- Las ruedas construidas con este tipo de liga son diseñadas para operar a velocidades de 9500 SFPM (48 m/s), y las resinas se utilizan para la construcción de ruedas de diamante, las cuales remueven altas cantidades de material muy rápidamente en superficies que son extremadamente duras tales como las cerámicas y los carburos.

Sin embargo, aunque estas resinas permiten trabajar las ruedas de una forma segura a altas velocidades, la maquina nunca deberá de ser operada arriba de la velocidad de operación indicada, por lo que se recomienda que las ruedas abrasivas adheridas con esta resina, no exceda las 6500 SFPM (33 m/s), esto con el fin de obtener mejores eficiencias con el rectificado.

#### REGLA No 4:

Conocer al equipo y rueda de rectificar que será utilizada para el proceso de maquinado.

a) Maquina.- Es muy importante conocer la máquina que será usada para la operación de rectificado en particular, y además se deben de entender las limitaciones de la misma. Es muy difícil generar rectificadores de precisión en equipos o maquinas que no han sido propiamente mantenidas. El chuck de la maquina debe de estar completamente limpio y ser capaz de sostener a la pieza de trabajo exactamente, esta condición incluye que las mordazas y las guías deban de operar suavemente y los husillos de la maquina corran libre y concéntricamente a la cara de la rueda de rectificado con un mínimo de vibración.

b) Rueda de Rectificar.- Es muy importante poner especial atención al montaje de la rueda ya que cualquier irregularidad en la presión durante el rectificado pueden causar impropios acabados, inexactitud en las tolerancias o la destrucción de la pieza de trabajo que fue metalizada. Cuando se monta la piedra, previamente se debe de asegurar que esta ya fue balanceada en el dispositivo de montaje de la rueda, la cual debe de correr libremente, una vez verificado lo anterior se deberán de revisar el dispositivo central de montaje de la rueda y la tuerca de sujeción, asegurándose de que no tengan distorsión que puedan provocar un mal apriete o el mismo rompimiento de la rueda a la hora de que es fijada en su posición de operación. Cuando se usen ruedas de diamante ó de nitruro de boro cubico en forma de copa, se recomienda dejarles montado su centro de fijación, ya que esto facilitara el montaje y remontaje, reduciendo de esta manera la necesidad de emplear mayor tiempo en operaciones subsecuentes.

El instituto nacional de estándares americanos (ANSI) establece en el estándar B 74.13 la forma de marcar para identificar las ruedas de rectificado y otras ligas que conforman a la rueda rectificadora tal y como se muestra en la siguiente tabla.

	1	2	3	4	5	6
Prefijo	Tipo de Abrasivo	Medida del Grano	Grado	Estructura	Tipo de Liga	Récord del Fabricante
51	A	36	I	5	V	23

El significado de cada una de estas y otras marcas es la que a continuación se describe:

(1) Letra del Abrasivo:

La letra del abrasivo (A) es usada para el óxido de aluminio y (C) para carburo de silicio. Los fabricantes algunas ocasiones designaran algún tipo particular de prefijo, ya sea por el uso de la clase ó bien por el uso de un símbolo propio que pudiera ser por ejemplo (51 A), más sin embargo a lo que nosotros nos debe de interesar es la letra.

(2) Medida del Grano:

La medida del grano va a variar de burdo a fino tal como se indica en los siguientes números: 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 36, 46, 54, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, y 220. Las siguientes medidas adicionales se pueden llegar a utilizar de manera ocasional: 240, 280, 320, 400, 500 y 600. También en estos casos algunas de las veces los fabricante de las ruedas llegan a adicionar símbolos para indicar algún tipo de combinación especial.

### (3) Grado:

El grado de una rueda de rectificado estará indicado por letras que van desde la "A" a la "Z" en todos los depósitos e inician desde los más suaves hasta llegar a los más duros.

### (4) Estructura:

El uso del símbolo en la estructura puede ser opcional y esta es indicada por los números del 1 al 16 (O más grande cuando es necesario) con orden progresivo ascendente, es decir, entre más grande sea el número más fina será la rueda de rectificado.

### (5) Tipo de Liga:

El tipo de liga que conforma a la rueda de rectificado se designa por las siguientes letras: V (Vitrificado), S (Silicato), E (Laca elástica), R (Goma), RF (Goma reforzada), B (Resinas sintéticas), BF (Resinas sintéticas reforzadas).

Con respecto a las ruedas de diamante, el siguiente dato es un ejemplo de la forma en que se designan para la composición de estas:

1	2	3	4	5	6	7
Abrasivo	Medida del Grano	Grado	Concentración	Tipo de Liga	Modificación en la Liga	Profundidad de la sección de Diamante
ASD	100	R	100	B	56	1/8

El significado de cada componente de la simbología utilizada es el que se muestra a continuación:

### (1) Tipo de Abrasivo:

La letra D es usada para el diamante natural, SD o MD para el fabricante del diamante, CD para diamante recubierto y ASD para diamante blindado.

### (2) Medida de Grano:

Los granos de las piedras de diamante existen en diferentes medidas en el rango de 24 a 500 (740 a 30  $\mu\text{m}$ ).

### (3) Grado:

La designación del grado es relativo a la dureza y fuerza de adherencia del grano abrasivo entre si. Los símbolos y letras son usadas en orden alfabético para ordenarlas en el orden de grados suaves a grados duros.

Los grados más comúnmente usados para el rectificado de capas metalizadas son: aquellos que contienen depósitos resinoides de la letra H a la R, para depósitos metálicos de la letra L a la R y para deposito vitrificado de la J a la T.

### (4) Concentración:

Los granos individuales de diamante son sostenidos en el depósito del material que conforma a la rueda de rectificado, y la proporción de granos de diamante en términos de la unidad de volumen del conglomerado abrasivo esta en términos de concentración.

Las concentraciones altas designadas como un 100 %, contienen 72 kilates de granos de diamante por pulgada cúbica en el conglomerado que equivale a (164 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>). Otras concentraciones que son utilizadas son de 75, 50 y 25 % (Consideradas como bajas) indicando una reducción de la proporción del contenido de diamante.

### (5) Tipo de Liga:

Las ligas a base de resinas con la designación (B) son usadas, para aplicaciones en donde se necesita una fuerte retención de los granos (Durezas muy altas necesarias), los metálicos se designan con la letra (M) y los vitrificados con la letra (V), las cuales son ligas que proveen un mejor servicio.

### (6) Modificación de la Liga:

Ocasionalmente se seleccionan números individuales por los fabricantes que usan la designación de modificación de ligas de tipo especial.

### (7) Capa de Abrasivo:

El espesor de la capa de abrasivo en la rueda de rectificado, y que conforma el corazón de la rueda se llega también a llamar o conocer como profundidad de impregnación del diamante en la sección de la piedra, la cual es muy probable que varíe dependiendo del tipo de la rueda.

RELACION DEL SISTEMA NORMAL DE MARCADO

Prefijo	Tipo de Abrasivo	Tamaño de Grano				Grado			Estructura		Tipo de Liga	Reg. De Fabrica					
		Grueso	Medio	Fino	Muy Fino	Suave	Medio	Duro	Denso	Abierto							
Símbolo de Fabricante que indique la clase exacta del abrasivo (Opcional)	A-Oxido de Aluminio	10	36	70	220	A	E	I	M	Q	V	1	9	V(Vitrificado)	Marca Privada Para Identificar la Rueda		
		12	46	80	240	B	F	J	N	R	W	2	10	S(Silicato)			
		14	54	90	280	C	G	K	O	S	X	3	11	B(Resino de Reforzado)			
		16	60	100	320	D	H	L	P	T	Y	4	12	R(Hule)			
		20		120	400					U	Z	5	13	RR(Hule Reforzado)			
	24		150	500							6	14	E(Laca)				
		C-Carburo de Silicio			180	600						7	15	etc.		Q(Ox (onuro))	
												8					

Los espesores de sección más comúnmente usados para el rectificado de las capas metalizadas son: 1/32, 1/16, 1/8 y 1/4 de pulgada (0.79, 1.59, 3.17 y 6.35 mm).

De lo anteriormente mencionado se desprende la siguiente información mediante la cual nos permitirá realizar una selección apropiada de cada uno de los puntos anteriormente mencionados en la tabla.

#### Selección del tipo de Abrasivo:

Existen varios abrasivos naturales, como esmeril, coridón, cuarzo, gránate y diamante, en las capas metalizadas que requieran ser rectificadas, los abrasivos más usados para este propósito son: El óxido de aluminio, el carburo de silicio y el diamante.

El óxido de aluminio es más suave que el carburo de silicio y a causa de su fiabilidad y bajo desgaste de frotamiento, se utiliza para rectificar materiales tales como: Aluminio, Magnesio, Titanio, Cobre y Tungsteno. En algunas ocasiones puede ser llegado a utilizar para rectificar materiales muy duros y frágiles como la cerámica y el carburo, aunque esto no es muy común. Los granos de diamante pueden ser empleados para rectificar aquellas superficies metalizadas cuyas capas tienen excesivas durezas.

#### Selección del Tamaño de Grano:

Esta selección va a depender de la cantidad de material que requiera ser removida y del acabado superficial deseado.

Los granos gruesos se deberán seleccionar para una rápida remoción de material, y los grados finos para razones pequeñas de remoción logrando dejar acabados finos, otra diferencia entre estos es que los gruesos se utilizan para materiales dúctiles y los grados finos para materiales que son frágiles.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

### Selección del Grado del Abrasivo:

El grado de una rueda rectificadora, es una medida de la resistencia de su liga, es decir, la fuerza que actúa sobre el grano en el rectificado depende de las variables del proceso (Como velocidades y profundidad de corte) y la resistencia del material ó sustrato que se este trabajando. Así una fuerza mayor sobre el grano aumentará la posibilidad de desalojamiento del material, pero si la liga es demasiado fuerte entonces el grano tenderá a desafilarse y si es demasiado débil el desgaste de la rueda será mucho más rápido de lo esperado aumentando de esta manera los costos de operación en el proceso de rectificado de la capa metalizada.

### Selección del Tipo de Liga:

Los tipos de liga se dividen en orgánicos e inorgánicos, en donde los ligadores orgánicos son materiales tales como las resinas, el hule, la laca y otros agentes similares, y los materiales inorgánicos son el vidrio, la arcilla, la porcelana, el silicato de sodio y el oxiclورو de magnesio.

Sin embargo, el tipo más común es la liga vitrificada que se compone de arcilla, vidrio, porcelana o materiales cerámicos relacionados entre sí para conformar el producto. Este tipo de liga es quebradiza y produce ruedas rígidas, porosas y resistentes al agua y al aceite. La liga más flexible es a base de hule y es la que se utiliza para la manufactura de ruedas abrasivas flexibles muy delgadas.

En este tipo de ligas, el término reforzado se aplica a las ruedas con el fin de indicar que son del tipo orgánico que contienen sus tejidos o filamentos como la fibra de vidrio.

El refuerzo de fibra de vidrio y de filamento aumenta la capacidad de las ruedas para soportar fuerzas de operación evitando la posibilidad de rotura.

### Selección de la Estructura:

La estructura de una rueda de rectificado es importante por los siguientes 2 aspectos que se deben de considerar al momento de realizar la selección:

- a) Suministra un claro para la salida de la viruta que se genera durante el corte.
- b) Determina el número de puntos de corte de una rueda.

Adicional a lo antes mencionado, las ruedas para rectificar se fabrican en una gran variedad de formas y dimensiones las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- (1) Ruedas rectas tipo 1.
- (2) Ruedas de lado cónico tipo 4.
- (3) Ruedas de plato tipo 12.

### Relación de Rectificado:

Otro factor que debe de ser considerado en la selección, es la relación de rectificado, la cual se define como la relación entre el volumen de material removido respecto del volumen de desgaste de la rueda, la cual depende de los siguientes factores:

- (1) Tipo de rueda.
- (2) Velocidad de trabajo.
- (3) Velocidad de la rueda.
- (4) Alimentación transversal.
- (5) Profundidad de corte.
- (6) Refrigerante usado para el rectificado.
- (7) Rigidez de la máquina de rectificar.
- (8) Tipo de recubrimiento que se este rectificando.

### Velocidad de la Rueda:

Este punto ya fue tratado en un inciso anterior en donde se dan las relaciones de velocidad a las que puede ser operada una rueda de rectificado, por lo que no abundare más en este tema.

### Alimentación Transversal:

Esta depende enteramente del ancho de la rueda. Para esto, cuando se realizan trabajos de desbaste, la superficie que se este trabajando, debe de avanzar en una proporción de  $3/4$  a  $7/8$  de pulgada del ancho de la rueda por cada revolución de trabajo, lo cual producirá un movimiento helicoidal entre la rueda y el substrato de rectificado. Cuando ya se este realizando la operación de acabado generalmente se debe de utilizar un avance de  $1/10$  a  $1/4$  de pulgada del ancho de la rueda por cada revolución de la pieza que se este rectificando.

### Profundidad de Corte:

En la operación de desbaste, la profundidad de corte debe ser todo lo que la rueda soporte sin apretar o generar mucha presión, y esta condición variara dependiendo de la dureza del material y el diámetro de trabajo, esta condición también va a depender de que tanta experiencia tenga el operador en cuestiones de rectificado para obtener los mayores beneficios de operación.

En la operación de acabado, la profundidad de corte siempre es mucho más ligera,  $0.013$  mm a  $0.025$  mm ( $0.0005$  a  $0.001$  pulgadas). También se pueden obtener excelentes acabados dejando trabajar la rueda varias veces sobre el área que se este rectificando sin dar alimentación transversal.

### Sobre Espesores Para Rectificado:

En la práctica común del proceso de rectificado se remueven espesores de 0.13 mm a 1.0 mm (0.005 a 0.040 pulgadas) del diámetro en la etapa de desbaste en una máquina de rectificar del tipo cilíndrica.

Para el acabado, lo común es de 0.05 mm a 0.25 mm (0.002 a 0.010 pulgadas) de espesor y es posible terminar un sustrato hasta con una tolerancia de 0.005 mm (0.0002 pulgadas) y una irregularidad de superficie de  $50 \mu\text{m}$  rms (0.0012 mm).

Cuando el rectificado deja esfuerzos residuales de superficie no favorables, puede emplearse la técnica de rectificado suave ó de bajo esfuerzo, esto generalmente consiste en quitar una capa de unos 0.25 mm (0.010 pulgadas) a profundidades de corte de 0.005 a 0.013 mm (0.0002 a 0.0005 pulgadas). Con velocidades de rueda que son más bajas que las tradicionales de 5500 a 6500 SFPM.

### Aderezado de la Rueda de Rectificar:

La cara de la rueda siempre debe de estar aguda, es decir, debe presentar cristales nuevamente fracturados en la cara, para poder actuar como herramienta de corte. Para realizar el aderezado de la rueda y darle la característica antes mencionada, se hace uso de un diamante soportado en el extremo de una varilla de acero suave, sostenida rígidamente en la máquina y entonces se hace pasar la rueda dos ó tres veces sobre la punta para quitar material suficiente hasta que la rueda recupere su verdadera forma geométrica.

### Aspectos de Seguridad en el Uso de las Ruedas Abrasivas:

Los aspectos más importantes en el uso de ruedas de rectificar pueden enumerarse como sigue:

- a) Las ruedas se deben de manejar y almacenar con cuidado extremo.
- b) Nunca se debe de usar una rueda que se haya caído.
- c) Antes de ser montada en la máquina debe de inspeccionarse visualmente respecto de posibles roturas.
- d) La rueda se debe de montar apropiadamente con los dispositivos y bridas requeridas.
- e) Se deben de leer cuidadosamente los datos de máxima velocidad de operación de la rueda, dichos datos se encuentran en la etiqueta colocada en uno de los extremos de la rueda.
- f) Siempre se debe de utilizar el dispositivo apropiado de resguardo con la máquina, el cual puede ser portátil o estacionario.
- g) Las nuevas ruedas que por primera vez han sido montadas previamente deben de ser trabajadas sin carga con la velocidad de operación por lo menos un minuto antes de iniciar el proceso de rectificación.
- h) El operador siempre deberá de usar sus anteojos de seguridad y no situarse enfrente de la rueda cuando comience a funcionar la máquina rectificadora.
- i) Si esta haciéndose uso de algún fluido durante el proceso de rectificado y se desea parar la rueda, se deberá de cerrar primero el flujo de fluido para evitar que se cree una condición fuera de equilibrio.
- j) Por último, el operador deberá de asegurarse de haber seleccionado la rueda adecuada para la ejecución del proceso de rectificado.

De todo lo anteriormente mencionado para controlar el proceso de rectificado de una capa de metalizado, se derivan los siguientes lineamientos generales para lograr obtener los resultados de acabado deseado, que incluyen el control de las tolerancias y del acabado superficial.

- 1.- Usar ruedas de rectificar suaves para dar libertad de corte.
- 2.- Mantener la cara de la rueda limpia y en condiciones optimas de afilado.
- 3.- Utilizar una técnica apropiada de refrigeración.
- 4.- Usar ruedas de granos abrasivos gruesos para remover cantidades de material y granos finos de abrasivo para operaciones de acabado.

Evitar en lo posible el tratar de dar acabados con ruedas de grano grueso, pues de otra manera existirá el riesgo de que el metalizado solo se abrillante en zonas aisladas, ó bien pueden producirse pequeños desgarres ó definitivamente el estropeado total del recubrimiento de metalizado.

- 5.- Usar cargas de corte ligeras, debido a que los materiales metalizados se aplican en capas delgadas, por lo que excesivas presiones en el rectificado pueden ocasionar la delaminación de la capa, ó bien arrancar partículas de la superficie del metal.
- 6.- Siempre que sea posible, utilizar un refrigerante en el proceso de rectificado para evitar el sobrecalentamiento de la superficie metalizada.
- 7.- Usar ruedas de grano fino duras para penetrar y producir acción de corte en los recubrimientos metalizados.
- 8.- Utilizar ruedas estrechas en aquellas maquinas con baja potencia y para poder remover más rápidamente el sobrematerial de recubrimientos duros.
- 9.- Siempre mantener al recubrimiento bajo carga de corte en dirección opuesta al giro de la rueda de rectificar, para evitar que se produzca delaminación y arranque del material.
- 10.- Debido a que las capas metalizadas difieren de aquellos materiales sólidos, es necesario poner especial atención en la selección de la rueda y seguir las recomendaciones anteriormente dadas en todo lo referente a proceso de rectificado para recubrimientos metálicos.

Para concluir con esta parte del tema del maquinado de capas metalizadas por medio de ruedas de rectificado, se anexa la siguiente tabla para seleccionar el tipo de rueda que deberá ser empleada para una aplicación específica .

## RUEDAS RECOMENDADAS PARA EL RECTIFICADO DE CAPAS METALIZADAS

Material del Recubrimiento	Especificaciones de la Rueda	APLICACIONES		
		Diam. Ext.	Diam. Int.	Sup. Plana
Alúmina Boro Dióxido de Cromo Óxido de Cromo Cobalto Carburo de Cromo Nickel Óxido de Nickel Silicio Óxido de Titanio Carburo de Tungsteno Óxido de Circonio Circonio	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C (Verde) 80 (180 µm) G Vitrificado	C (Verde) 80 (180 µm) J Vitrificado	C (Verde) 80 (180 µm) F Vitrificado
	Tipo Diamante  Medida de Grano  Grado Concentración Tipo de Liga	Mfd Ni Revestido 120 (125 µm) R 75 Resinoide	Mfd Ni Revestido 150/180 (100/83 µm) R/N 100 Resinoide	Mfd Ni Revestido 120 (125 µm) R 75 Resinoide
Cromo Cobalto Nickel	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C/A 60 (250 µm) J Vitrificado	C/A 80 (180 µm) L Vitrificado	C/A 46 (340 µm) H Vitrificado
Hierro	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C (Negro) 46 (340 µm) J Vitrificado	C (Negro) 60 (250 µm) M Vitrificado	C (Negro) 46 (340 µm) K Vitrificado
Zirconato de Magnesio	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C (Verde) 80 (180 µm) G Vitrificado	C (Verde) 80 (180 µm) L Vitrificado	C (Verde) 80 (180 µm) F Vitrificado
	Tipo Diamante  Medida de Grano  Grado Concentración Tipo de Liga	Mfg Ni Revestido 120 (125 µm) R 75 Resinoide	Mfg Ni Revestido 150/180 (100/83 µm) R/N 100 Resinoide	Mfg Ni Revestido 120 (125 µm) R 75 Resinoide
Molibdeno	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C (Negro) 80 (250 µm) J Vitrificado	C (Negro) 80 (180 µm) N Vitrificado	C (Negro) 80 (180 µm) H Vitrificado
Acero inoxidable Serie (A00)	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	A 60 (250 µm) J Vitrificado	A 80 (180 µm) L Vitrificado	A 46 (140 µm) H Vitrificado
Aleaciones de Nickel y Acero inoxidable Serie (B00)	Tipo de Abrasivo Medida de Grano  Grado Tipo de Liga	C/A 80 (250 µm) J Vitrificado	C/A 80 (180 µm) J/L Vitrificado	C/A 46 (140 µm) H Vitrificado

FUENTE TOMADA DE LA REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No. 10 DE ESTE TRABAJO EN LA PAG. No. 4 DEL BOLETÍN TÉCNICO.

#### **4.4 SUPER ACABADOS.**

Existen en el mercado actual otros equipos que son usados para mejorar la terminación superficial de las piezas que han pasado previamente por una operación de rectificado, tanto en materiales sólidos como en capas metalizadas.

Este es un tipo de proceso industrial utilizado para producir partes con terminación superficial extremadamente fina y de geometría exacta. Trabajan a baja velocidad con poca temperatura y permite retirar material a un promedio de 1 micrón = 0.000040 de pulgada usando abrasivos extremadamente finos.

El motivo principal de producir piezas super terminadas, es que se puedan obtener elementos mecánicos que van a generar menos fricción y la energía que normalmente se perdería en fricción se convierte en HP's de potencia útil, permitiendo además el producir piezas con geometría de alta precisión, esto nos permite obtener reducción dimensional en elementos mecánicos tales como los motores de automóviles.

Este proceso se puede llevar a cabo en aquellos recubrimientos duros, pero no esta restringido a este tipo particular de material, se usa además para cualquier otro tipo de aplicación, cuando la terminación superficial, la geometría de las piezas y las tolerancias finales son cruciales para una mejor realización de un determinado sustrato.

Cuando una pieza es rectificadas a dimensiones y tolerancias de millonésima de pulgada, podría pensarse que esto es más que suficiente. Más sin embargo, por más reducido que se tenga el tamaño de grano del abrasivo utilizado en las tareas de rectificación, siempre estarán presentes picos y valles microscópicos y es muy probable que durante el servicio puedan producirse desprendimientos de material, por excesos de carga y esto va en detrimento de partes tales como las áreas en donde trabajan cojinetes y la misma superficie de trabajo.

Con el proceso de super acabado la pieza es terminada con una tolerancia optima y se cumple después de la rectificación, retirando de esta manera, los picos y las zonas de desprendimiento dejadas durante el rectificado.

Dado que las presiones de operación y la temperatura de trabajo son más bajas, no se producen desprendimientos de la capa metalizada, y tampoco se produce endurecimiento ni alteraciones en la microestructura del material.

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CASOS PRÁCTICOS

El objetivo principal de este capítulo es proporcionar los medios para determinar la forma del cálculo para costear una aplicación por algún proceso de metalizado en la industria del mantenimiento y de la manufactura, incluyendo la aplicación de un caso real que puede ser llevado a cabo en este tipo de industrias, lo cual nos daría como resultado una amplia reducción de costos por paro de maquinaria y equipo obteniendo altos beneficios económicos necesarios en nuestros días para la industria Mexicana.

### 5.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

En cada una de las aplicaciones de los procesos de metalizado, alguno ó todos estos pasos deberán ser considerados cuando se realice la estimación del costo.

#### (1) Preparación:

En esto se debe de incluir las etapas de limpieza química, uso de explosión de arena abrasiva, maquinado y el uso de los enmascarantes utilizados durante el proceso.

#### (2) Equipo de Metalizado:

Para este punto se considera el tipo de equipo de proceso, las refacciones del equipo, el respaldo del equipo, el operador y el equipo de seguridad empleado.

#### (3) Consumibles:

En este rubro se debe de incluir si el material que será utilizado es polvo ó alambre, el uso de aire comprimido, los gases utilizados, abrasivo para la limpieza, filtros, enmascarantes, selladores y electricidad.

#### (4) Labor:

En esta etapa se debe de incluir la preparación, metalizado y procedimiento utilizado para el acabado.

(5) Maquinaria de Acabado:

Considerar la herramienta de corte y las ruedas de rectificado que serán empleadas para dar el acabado.

(6) Equipo Para Control del Medio Ambiente:

La consideración de este costo se refiere cuando se está preparando el proyecto para la ubicación de la planta de metalizado, que incluye el control de polvos, disposición del polvo, limpiadores de aire y el control del nivel de ruido.

Muchos de los procedimientos de costeo son comunes a otras operaciones y no están restringidas específicamente a los procesos de metalizado, como es el caso de los maquinados y el acabado.

La salud del personal ó seguridad para su salud y regulaciones ambientales se deben de llenar enteramente y su impacto en el costo inicial deberá ser considerado.

Este costo se desenvuelve primeramente alrededor del control del nivel de ruido, protección del operador, y las áreas adyacentes de trabajo se consideran dentro de este punto. Todo lo anteriormente mencionado, involucra que se tenga disponible un espacio con aislamiento para disminuir el nivel de ruido, incluso deberá de contar con algún extractor de humos que cumpla con las regulaciones del área geográfica en donde se encuentre instalada la unidad de metalización.

Si las instalaciones que se tienen para realizar las operaciones del proceso no son propiamente diseñadas para que el operador se mantenga a resguardo en áreas limpias y libres de polvo y humo, será muy difícil mantener un equipo de trabajo de alta calidad, debido a que constantemente se estaría rotando a nuevo personal sin experiencia. Por otra parte, esta contaminación puede afectar el resultado de la adherencia de la capa sobre el sustrato, situación que podría elevar los costos por trabajos de remetalización, costos por mantenimiento del equipo y por consiguiente se acortaría la vida útil del equipo de trabajo.

## CAPITAL Y COSTOS DE OPERACIÓN.

### A) Costo del equipo:

El costo de un equipo de metalizado para la utilización en determinada área de la industria actualmente tiene el siguiente costo, el cual es indicado en la siguiente tabla, y que para fines prácticos de este trabajo se dieron en cifras redondeadas.

TIPO DE EQUIPO	COSTO DEL EQUIPO (U.S.)
Equipo de Combustión para metalizar alambre.	25,000.00
Equipo de Arco Eléctrico para metalizar alambre.	40,000.00
Equipo de Plasma para metalizar polvos.	80,000.00
Equipo de Combustión para metalizar polvos.	20,000.00
Equipo de Alta Velocidad de Oxígeno y Combustible (H.V.O.F)	60,000.00

### B) Costo del Gas y la Energía Utilizada.

Este tipo de costo es muy significativo en la operación de los dispositivos utilizados para el proceso de metalizado. El consumo de estos materiales (Gas y Energía) se calcula siempre estimando que se va a tener un consumo mayor al teóricamente calculado. A continuación se anexa una tabla y la secuencia de cálculo empleada para la determinación de los costos que implica el uso de estos materiales en cada proceso específico de metalizado.

COSTOS ESTIMADOS POR HORA DE OPERACIÓN EN DOLARES			
TIPO DE EQUIPO	AIRE Y GAS	ELECTRICIDAD	TOTAL/Hr
Equipo de Combustión para metalizar alambre.	\$ 7.60 DLS.		\$ 7.60 DLS.
Equipo de Arco Eléctrico para metalizar alambre.	\$ 0.315 DLS.	\$ 0.494 DLS.	\$ 0.809 DLS.
Equipo de Plasma para metalizar polvos.	\$ 21.52 DLS.	\$ 5.64 DLS.	\$ 27.16 DLS.
Equipo de Combustión para metalizar polvos.	\$ 11.63 DLS.		\$ 11.63 DLS.
Equipo de Alta Velocidad de Oxígeno y Combustible (H.V.O.F)	\$ 21.87 DLS.		\$ 21.87 DLS.

Los valores dados en la tabla anterior se calcularon para cada proceso de metalizado en base a lo siguiente:

**(1) Equipo de combustión para metalizar alambre:**

Con este tipo de equipo se pueden aportar 10 lb/hr de material sobre la superficie del sustrato y tiene los siguientes consumos de gases y aire:

Concepto	Consumo	Costo en Dólares	Total en Dólares
Oxígeno	90 ft <sup>3</sup> /hr = 2.547 m <sup>3</sup> /hr	\$ 0.896/m <sup>3</sup>	\$ 2.282/hr
Acetileno	32 ft <sup>3</sup> /hr = 0.907 m <sup>3</sup> /hr	\$ 5.52/m <sup>3</sup>	\$ 5.006/hr
Aire	35 ft <sup>3</sup> /min (60 min/hr)	\$ 0.15/1000 ft <sup>3</sup>	\$ 0.315/hr
			<b>\$ 7.60/hr</b>

**(2) Equipo de arco eléctrico para metalizar alambre:**

Con este tipo de equipo se pueden aportar 10 lb/hr de material sobre la superficie del sustrato y tiene los siguientes consumos de aire y electricidad:

Concepto	Consumo	Costo en Dólares	Total en Dólares
Electricidad	3.5 Kw/h	\$ 0.141/Kw	\$ 0.494/hr
Aire	35 ft <sup>3</sup> /min (60 min/hr)	\$ 0.15/1000 ft <sup>3</sup>	\$ 0.315/hr
			\$ 0.809/hr

**(3) Equipo de plasma para metalizar polvos:**

Con este tipo de equipo se pueden aportar 7 lb/hr de material sobre la superficie del sustrato y tiene los siguientes consumos de gas y electricidad:

Concepto	Consumo	Costo en Dólares	Total en Dólares
Electricidad	40 Kw/h	\$ 0.141/Kw	\$ 5.64/hr
Argón	75 ft <sup>3</sup> /hr = 2.122 m <sup>3</sup> /hr	\$ 6.29/m <sup>3</sup>	\$ 13.35/hr
Hidrogeno	48 ft <sup>3</sup> /hr = 1.36 m <sup>3</sup> /hr	\$ 3.60/m <sup>3</sup>	\$ 4.89/hr
Nitrógeno	55 ft <sup>3</sup> /hr = 1.56 m <sup>3</sup> /hr	\$ 2.10/m <sup>3</sup>	\$ 3.28/hr
Agua de Enfriamiento	59 ft <sup>3</sup> /hr=1.67 m <sup>3</sup> /hr	\$ 1.42/m <sup>3</sup>	\$ 2.37/hr
			\$ 29.53/hr

**(4) Equipo de combustión para metalizar polvos:**

Con este tipo de equipo se pueden aportar 5 lb/hr de material sobre la superficie del sustrato y tiene los siguientes consumos de gases:

Concepto	Consumo	Costo en Dólares	Total en Dólares
Oxígeno	95 ft <sup>3</sup> /hr = 2.69 m <sup>3</sup> /hr	\$ 0.896/m <sup>3</sup>	\$ 2.41/hr
Acetileno	59 ft <sup>3</sup> /hr = 1.67m <sup>3</sup> /hr	\$ 5.52/m <sup>3</sup>	\$ 9.22/hr
			\$ 11.63/hr

**(5) Equipo de alta velocidad de oxígeno y combustible (H.V.O.F):**

Con este tipo de equipo se pueden aportar 5 lb/hr de material sobre la superficie del sustrato y tiene los siguientes consumos de gases y aire:

Concepto	Consumo	Costo en Dólares	Total en Dólares
Oxígeno	43 ft <sup>3</sup> /hr = 1.22 m <sup>3</sup> /hr	\$ 0.896/m <sup>3</sup>	\$ 1.093/hr
Propileno	38 ft <sup>3</sup> /hr = 1.075 m <sup>3</sup> /hr	\$ 15.86/m <sup>3</sup>	\$ 17.05/hr
Nitrógeno	55 ft <sup>3</sup> /hr = 1.56 m <sup>3</sup> /hr	\$ 2.10/m <sup>3</sup>	\$ 3.28/hr
Aire	50 ft <sup>3</sup> /min (60min/hr)	\$ 0.15/1000 ft <sup>3</sup>	\$ 0.45/hr
			\$ 21.87/hr

**C) Proyección del costo.**

El marco principal para la proyección del costo se basa en que no siempre están disponibles las refacciones requeridas para realizar un reemplazo de algún elemento. Bajo esta consideración, el proceso de metalizado es muy atractivo cuando se compara con el valor de la pérdida en producción y los efectos en tiempo de entrega cuando se daña algún equipo importante, como es el caso de la industria Cementera, Azucarera y Papelera por mencionar algunos.

En aplicaciones corrientes, un recubrimiento en específico puede permitir el uso de un sustrato más barato ó costoso, ya que el recubrimiento le da propiedades

superficiales al producto, las cuales no pueden ser conseguidas por otras técnicas de manufactura.

La decisión del uso de alguno de estos procesos puede producir grandes ahorros en aplicaciones de reparación, ya que el tiempo empleado en la reparación y el costo de los materiales empleados son insignificantes comparados con la reposición de un nuevo elemento.

#### D) Forma de cálculo de la cantidad de material que será requerido:

Para calcular el costo del material que será aplicado se deberá previamente de conocer lo siguiente:

1. Área de la superficie que será recubierta.
2. Espesor del recubrimiento necesario para corregir el daño o para dar la protección deseada.
3. La eficiencia del depósito del material, dicho valor se toma del boletín técnico de aplicación del recubrimiento, el cual queda resumido en la siguiente tabla:

PESO DE LA CAPA DE METALIZADO REQUERIDA				
lb/ft <sup>2</sup> * 0.001 in				
MATERIAL	Eficiencia del Depósito en %			
	40	60	80	100
Aluminio	0.033	0.022	0.016	0.013
Bronce-Aluminio	0.083	0.055	0.042	0.033
Alumina (0.2% Titanio)	0.043	0.028	0.021	0.017
Zirconato de Calcio	0.053	0.035	0.026	0.021
Oxido de Cromo	0.065	0.043	0.033	0.026
Cobre	0.098	0.065	0.044	0.039
Moñideno	0.115	0.077	0.058	0.046
Nickel	0.098	0.065	0.044	0.039
Aleación de Nickel-Cromo (20%)	0.095	0.063	0.048	0.038
Aleación de Nickel-Cromo (16%)	0.098	0.065	0.044	0.039
Acero Inoxidable	0.088	0.058	0.044	0.035
Acero	0.090	0.060	0.045	0.036
Titanio	0.053	0.035	0.026	0.021
Tungsteno	0.220	0.147	0.110	0.088
Carburo de Tungsteno (12% de Cobalto)	0.160	0.107	0.080	0.064
Carburo de Tungsteno (12% de Cobalto)	0.143	0.095	0.071	0.057
Carburo de Tungsteno (46% de Nickel)	0.108	0.072	0.054	0.043
(35% Tungsteno/Cobalto)				
(11% Cromo)				
Carburo de Tungsteno (33% de Nickel)	0.120	0.080	0.06	0.048
(50% Tungsteno/Cobalto)				
(9% Cromo)				
Zinc	0.098	0.065	0.044	0.039

1 kg/m<sup>2</sup> \* 0.025 mm = 4.88 lb/ft<sup>2</sup> \* 0.001 in

Los números dados en la tabla anterior pueden ser utilizados para calcular el material requerido para una aplicación en específico. De esta manera se tiene que la forma de obtener la cantidad de material requerida es a través de la aplicación de la siguiente formula .

$$\text{CANTIDAD DE MATERIAL REQUERIDO} = (\text{Área de la Superficie}) \times (\text{Espesor del Recubrimiento}) \times (\text{Peso de la Capa})$$

En donde:

- ◆ El área de la superficie esta dada en ft<sup>2</sup>
- ◆ El espesor del recubrimiento esta dado en pulgadas
- ◆ El peso de la capa se toma de la tabla anterior y esta dado en (lb/ft<sup>2</sup> \* 0.001 in)
- ◆ La corrección por pérdida de material en hoyos o en los extremos del sustrato se estima en % con un valor constante del 10 %.
- ◆ La eficiencia del depósito se expresa en % y se toma de la tabla dada anteriormente para cada tipo de material de aporte en específico.

### E) Cálculo del tiempo empleado en el metalizado:

Este cálculo se determinara en base a la siguiente formula:

$$\text{TIEMPO EMPLEADO EN EL METALIZADO} = \frac{\text{Cantidad de Material Requerido}}{\text{Velocidad de Aporte del Material}}$$

En donde:

- ◆ La cantidad de material estará dado en libras (lb)
- ◆ El índice de aporte del material estará dado en (lb/hr)

### F) Calculo del área que será metalizada:

Para calcular el área de la superficie que será metalizada se deberá de aplicar la fórmula que corresponda a la geometría de la pieza.

Área de un Circulo =  $3.1416 r^2$

Área de un Cilindro =  $3.1416 d l$

Área de una Esfera =  $3.1416 d^2$

Área de un Triángulo =  $b h / 2$

Área de un Paralelogramo =  $b h$

En donde:

b = Base

d = Diámetro

h = Altura

r = Radio

l = Longitud

### G) Calculo del costo de operación del equipo:

Para la determinación de estos costos será necesario hacer uso de las siguientes formulas por tipo de proceso:

#### (1) Equipo de combustión para metalizar polvo y alambre

$$E = \frac{\text{Costo del Aire}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Combustible}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Oxígeno}}{\text{hr}}$$

Donde:

- ♦ Costo de Aire p/Hora = Aire Usado X Costo del Aire.
- ♦ Costo del Gas Combustible p/Hora = Gas Usado X Costo del Gas.
- ♦ Costo del Oxígeno p/Hora = Oxígeno Usado X Costo del Oxígeno.

**(2) Equipo de arco eléctrico para metalizar alambre:**

$$E = \frac{\text{Costo del Aire}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Consumo de Energía Eléctrica}}{\text{hr}}$$

Donde:

- ◆ Costo del Aire p/Hora = Aire Usado X Costo del Aire
- ◆ Costo del Consumo de Energía Eléctrica p/Hora = Energía Usada (Kw) X Costo de la Energía.

**(3) Equipo de plasma para metalizar polvos:**

$$E = \frac{\text{Costo del Aire}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Consumo de Energía Eléctrica}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Agua}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Gas de Acarreo}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Gas Primario}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Gas Secundario}}{\text{hr}}$$

- ◆ Costo del Aire p/Hora = Aire Usado X Costo del Aire
- ◆ Costo del Consumo de Energía Eléctrica p/Hora = Energía Usada (Kw) X Costo de la Energía.
- ◆ Costo del Gas Primario p/Hora = Gas Usado X Costo del Gas.
- ◆ Costo del Gas Secundario p/Hora = Gas Usado X Costo del Gas.
- ◆ Costo del Gas de Acarreo p/Hora = Gas Usado X Costo del Gas.
- ◆ Costo del Agua de Enfriamiento p/Hora = Agua Consumida X Costo del Agua.

## H) Cálculo total del costo del metalizado del recubrimiento:

$$\text{Costo Total del Metalizado} = \text{Costo del Material de Aporte} + \text{Costo de Operación del Equipo} + \text{Costo de la Labor}$$

Donde:

- ◆ Costo del Material de Aporte = Peso Usado X Costo del Material.
- ◆ Costo de Operación del Equipo = Valor Calculado en el Inciso (G) X Tiempo Requerido.
- ◆ Costo de la Labor = Costo del Trabajo p/Hora X Tiempo Requerido.

El costo de la labor incluye los siguientes conceptos:

- 1.- Preparación de la superficie antes de ser metalizada.
- 2.- Costo del uso de selladores y enmascarantes
- 3.- Costo del maquinado de acabado.

## 5.2 PLANTEAMIENTO PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE APLICACIÓN INMEDIATA.

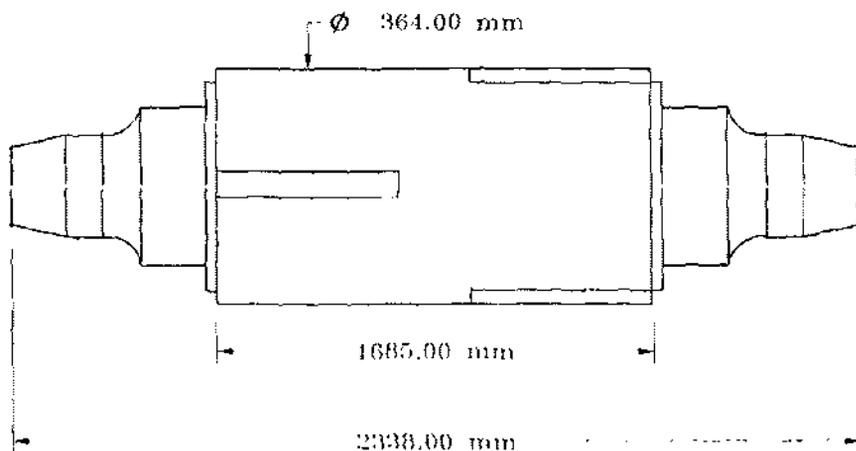
En la industria Editorial Mexicana, se tienen que realizar grandes inversiones de dinero para reponer unos elementos rotativos denominados "Tambores de Impresión", los cuales se dañan por la mala operación o descuido de los operadores de las rotativas, este tipo de daños ocasionan ralladuras e indentaciones profundas que producen defectos de impresión y paros de máquinas.

El costo de una nueva para el caso de estudio que se expone, es de \$ 35,000.00 Dólares mas gastos de importación y el tiempo de entrega es de aproximadamente de 2 a 4 meses después de colocado el pedido en Suiza, esta situación a obligado a estas industrias a mantener como refacción de 3 a 4 Tambores de impresión a un costo mucho muy alto para la empresa editorial.

De lo expuesto anteriormente se presenta un caso de estudio en relación a la reparación de uno de estos "Tambores de Impresión" con el objetivo de demostrar que la opción de recuperación por medio de metalizado es rentable para la industria nacional , lo que les ayudaría a disminuir costos por almacenaje y reposición de equipo costoso con tiempos de entrega mucho más cortos y a menor costo.

### " CASO DE ESTUDIO "

Tambor de impresión de una maquina rotativa marca Harris Modelo 1657, el cual tiene la siguiente configuración.



#### DATOS DEL TAMBOR:

Dureza del Material = 35 Rc

Tipo de Material de Construcción = Acero 9840 T

El área del tambor que necesita ser recuperada es la que tiene los siguientes datos:

Diámetro de la Zona Dañada = 364.00 mm

Longitud de la Zona Dañada = 1685.00 mm

Esta área en específico tiene ralladuras y golpes con una profundidad aproximada de 3.0 mm y se planteará la reparación acorde con lo recomendado en capítulos anteriores para el uso de equipos de metalizado en función del tipo de trabajo

a) Equipo de metalizado de arco eléctrico para la aplicación de alambre.

Previo a la aplicación del material de aporte se aplicará la capa del material de anclaje a base de Nickel (95 %) y Aluminio (5 %).

El tipo de material recomendado para esta reparación es una aleación a base de:

Carbón = 0.30

Manganeso = 1.0

Nickel = 1.0

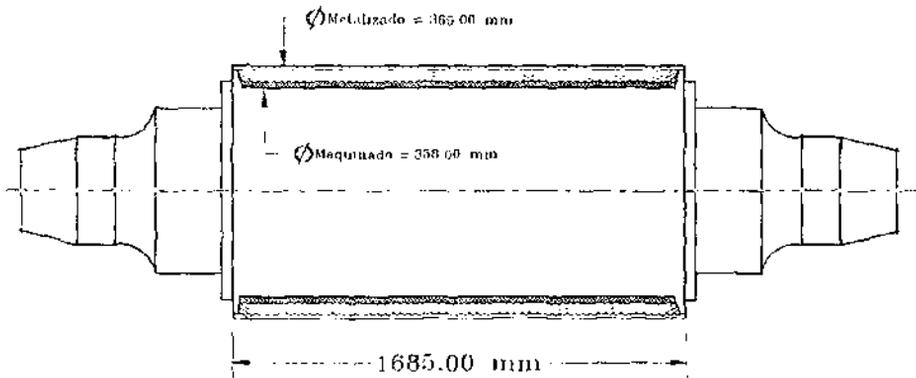
Cromo = 12/14

Silicio = 0.08

Hierro = Balance

Esta aleación tiene una dureza de 40 a 48 Rc.

La siguiente ilustración muestra el diámetro a que deberá ser maquinado el tambor para dar cabida a la capa de recubrimiento y el diámetro del metalizado concluido con el sobrematerial necesario para poder dar el maquinado de acabado y obtener la dimensión original requerida para esta pieza.



### Calculo de las áreas de superficie:

Del dibujo mostrado arriba se tiene el diámetro de maquinado, pero una vez que se aplique la capa de espesor del material de anclaje se va a generar otro diámetro, por lo cual se van a calcular 2 áreas, una para el espesor del material de anclaje (Material Adherente) y otra para la capa del material de aporte.

Por otra parte, por cuestiones de compensación por pérdida de material cuando el equipo este rociando material en los extremos del tambor, se maneja como práctica común de cálculo el sumar 1 pulgada adicional del total de la longitud que será recubierta.

DATOS.

Diámetro 1 = 358.00 mm (1 in/25.4 mm) = 14.094 in

Diámetro 2 = 358.40 mm (1 in/25.4 mm) = 14.110 in

Longitud = 1685.00 mm (1 in/25.4 mm) = 66.34 in + 1 in = 67.34 in

Se tiene entonces que:

$$A = 3.1416 \times \text{Diámetro} \times \text{Longitud}$$

$$A1 = 3.1416 (14.094 \text{ in}) (67.34 \text{ in}) = 2981.66 \text{ in}^2 (1 \text{ ft}^2/144 \text{ in}^2) = 20.705 \text{ ft}^2$$

$$A2 = 3.1416 (14.110 \text{ in}) (67.34 \text{ in}) = 2985.04 \text{ in}^2 (1 \text{ ft}^2/144 \text{ in}^2) = 20.729 \text{ ft}^2$$

De acuerdo con lo expuesto en paginas anteriores se define necesario los siguientes espesores de material para el cálculo del material requerido:

♦ Espesor de material requerido para la capa de anclaje (Material Adherente) = 0.20 mm = 0.008 in

♦ Espesor de material requerido para la capa de aporte = 3.30 mm = 0.129 in

### Calculo del material de anclaje requerido:

Por cuestiones prácticas de cálculo se denominará por M1 la cantidad de material de anclaje requerido para la aplicación.

$$M1 = (20.705 \text{ ft}^2) (0.008 \text{ in}) (0.049 \text{ lb/ft}^2 * 0.001 \text{ in}) = 8.116 \text{ lb}$$

El material de anclaje (Recubrimiento Adherente) que será utilizado tiene una eficiencia de deposito del 80%, por lo que entonces al valor calculado de material se le tendrá que sumar el 20 % adicional.

$$M1 = (8.116 \text{ lb}) + 20\% = (8.116 \text{ lb}) + (1.623 \text{ lb}) = 9.739 \text{ lb}$$

Por lo tanto M1 = 9.739 lb

### Calculo del material de aporte requerido:

Por cuestiones prácticas de calculo se denominará por M2 la cantidad de material de aporte requerido para la aplicación.

$$M2 = (20.729 \text{ ft}^2) (0.129 \text{ in}) (0.035 \text{ lb/ft}^2 * 0.001 \text{ in}) = 93.59 \text{ lb}$$

El material de aporte (Recubrimiento Final) que será utilizado tiene una eficiencia de deposito del 60%, por lo que entonces al valor calculado de material se le tendrá que sumar el 40 % adicional.

$$M2 = (93.59 \text{ lb}) + 40\% = (93.59 \text{ lb}) + (37.44 \text{ lb}) = 131.03 \text{ lb}$$

Por lo tanto M2 = 131.03 lb

**Calculo del tiempo empleado en el metalizado:**

Por cuestiones prácticas de calculo se denominara por T1 el tiempo empleado para el material de anclaje y T2 para el material de aporte.

$$T1 = (9.739 \text{ lb}) / (10 \text{ lb/hr}) = 0.973 \text{ hr} \quad \text{por lo tanto} \quad \underline{T1 = 0.973 \text{ hr}}$$

$$T2 = (131.03 \text{ lb}) / (10 \text{ lb/hr}) = 13.10 \text{ hr} \quad \text{por lo tanto} \quad \underline{T2 = 13.10 \text{ hrs}}$$

$$\text{Por lo tanto el Tiempo Total de Operación} = T1 + T2 = 0.973 \text{ hr} + 13.10 \text{ hr} = 14.07 \text{ hrs}$$

$$\underline{T_T = 14.07 \text{ hrs}}$$

**Calculo del costo de operación del equipo de arco eléctrico:**

$$E = \frac{\text{Costo del Aire}}{\text{hr}} + \frac{\text{Costo del Consumo de Energía Eléctrica}}{\text{hr}}$$

De la tabla de costos estimados por hora de operación se tiene que:

$$1 \text{ hr de consumo de aire} = \$0.315 \text{ Dólares}$$

Se tiene entonces que el consumo de aire va a ser igual a:

$$(14.07 \text{ hr}) (\$0.315/\text{hr}) = \underline{\$4.43 \text{ Dólares.}}$$

$$1 \text{ hr de consumo de energía eléctrica} = \$0.494 \text{ Dólares}$$

Consumo de energía eléctrica va ser igual a:

$$(14.07 \text{ hr}) (\$0.494/\text{hr}) = \underline{\$6.950 \text{ Dólares.}}$$

Se tiene entonces que el costo de operación del equipo va a ser igual a:

$$E = \$4.43 \text{ Dólares} + \$6.950 \text{ Dólares} = \$11.38 \text{ Dólares}$$

$$\text{Por lo tanto } \underline{E = \$11.38 \text{ Dólares.}}$$

### Calculo del costo de la labor:

Para la determinación de este costo se tomaron los datos reales de la compañía TASAMA S.A. DE C.V., en la cual fue realizado el estudio para la reparación.

CONCEPTO	COSTO DE OPERACION P/HORA EN DÓLARES
Torno Vertical marca IOZ	\$ 30.76
Rectificadora Montable	\$ 8.20
Rectificadora de Bandas	\$ 6.15
Operador de Metalizado	\$ 2.56
Operador de Torno	\$ 2.05

### Calculo del tiempo de torneado de preparación:

Para la determinación de este calculo se aplicará la siguiente formula:

$$T = \frac{L \cdot i}{S \cdot N}$$

$$N = \frac{1000 \cdot Vc}{3.1416 \cdot d}$$

En donde:

T = Tiempo de duración de la pasada de corte en minutos.

L = Longitud de corte en mm.

N = Número de revoluciones por minuto de la pieza.

S = Avance en mm/revolución.

i = Número de pasadas.

Vc = Velocidad de corte en m/minuto.

d = Diámetro en mm.

Para el problema que se esta analizando, se tiene que la  $V_c = 240 \text{ m/min}$  y  $S = 0.35 \text{ mm/rev}$  (Fuente: Guía de Aplicación de Herramientas Sandvik Pag. No. 23).

Entonces:

$$N = (1000) (240 \text{ m/min}) / (3.1416) (364 \text{ mm}) = 209.87 \text{ rev/min.}$$

Por lo tanto  $N = 209.87 \text{ rev/min.}$

Calculando para el torneado de desbaste de preparación de la superficie se tiene:

$$\text{Torno de Desbaste} = \frac{(1685.00 \text{ mm})(1)}{(0.35 \text{ mm/rev})(209.87 \text{ rev/min})} = 22.94 \text{ min}$$

Durante la pasada de desbaste de preparación se tendrían que remover 2.5 mm de material por lado, por lo que para el maquinado de la cuerda (24 Hilos/ pulgada) de anclaje se tendrían que remover 0.5 mm por lado.

Para el problema que se esta analizando, se tiene que la  $V_c = 125 \text{ m/min}$  y  $S = 1.058 \text{ mm/rev}$  para el maquinado de la cuerda (Fuente: Guía de Aplicación de Herramientas Sandvik Pag. No. 88).

Entonces:

$$N = (1000) (125 \text{ m/min}) / (3.1416) (359 \text{ mm}) = 110.83 \text{ rev/min.}$$

Por lo tanto  $N = 110.83 \text{ rev/min.}$

$$\text{Torneado de Cuerda} = \frac{(1685.00 \text{ mm})(3)}{(1.058 \text{ mm/rev})(110.83 \text{ rev/min})} = 43.11 \text{ min}$$

Por lo tanto tenemos que el tiempo total de torneado de preparación de la superficie va a ser igual a:

$$T = 22.94 \text{ min} + 43.11 \text{ min} = 66.05 \text{ min} (1 \text{ hr}/60 \text{ min}) = 1.100 \text{ hr}$$

Por lo tanto  $T = 1.100 \text{ hr.}$  (Torneado de Preparación)

### Calculo del tiempo de torneado de acabado de la capa metalizada:

Para la determinación de este calculo se aplicara la misma formula empleada para el cálculo del torneado de preparación.

Para el problema que se esta analizando, se tomaran los datos de la tabla de la pagina No. 68 de este trabajo.

$V_c = 90 \text{ m/min}$  para el desbaste.

$V_c = 78 \text{ m/min}$  para el acabado.

$S = 0.10 \text{ mm/rev}$  para el desbaste.

$S = 0.05 \text{ mm/rev}$  para el acabado.

Entonces se tiene para el desbaste:

$$N = (1000) (90 \text{ m/min}) / (3.1416) (365 \text{ mm}) = 78.49 \text{ rev/min.}$$

Por lo tanto  $N = 78.49 \text{ rev/min.}$

Y para el acabado:

$$N = (1000) (78 \text{ m/min}) / (3.1416) (365 \text{ mm}) = 68.02 \text{ rev/min.}$$

Por lo tanto  $N = 68.02 \text{ rev/min.}$

Durante la pasada de desbaste de acabado se tendrían que remover 0.35 mm de material por lado, por lo que para el torneado de acabado se tendrían que remover 0.10 mm por lado.

Para el problema que se esta analizando, se tomaran los datos de la tabla de la pagina No. 68 de este trabajo.

Entonces se tiene que:

$$\text{Torneado de Desbaste} = \frac{(1685.00 \text{ mm})(2)}{(0.10 \text{ mm/rev})(78.49 \text{ rev/min})} = 429.35 \text{ min}$$

$$\text{Torneado de Acabado} = \frac{(1685.00 \text{ mm})(1)}{(0.05 \text{ mm/rev})(68.02 \text{ rev/min})} = 495.11 \text{ min}$$

Por lo tanto tenemos que el tiempo total de torneado de la capa metalizada va a ser igual a:

$$T = 429.35 \text{ min} + 495.44 \text{ min} = 924.79 \text{ min} (1 \text{ hr}/60 \text{ min}) = 15.413 \text{ hr}$$

Por lo tanto T = 15.413 hr. (Torneado de Acabado)

### Calculo del tiempo de rectificado de acabado de la capa metalizada:

Para la determinación de este calculo se aplicara la siguiente formula:

$$T = \frac{L * i}{S * N_w}$$

$$N = \frac{1000 * V_w}{3.1416 * d}$$

$i$  = Exceso Para el Rectificado  
Profundidad de la Pasada

En donde:

T = Tiempo de duración de la pasada de corte en minutos.

L = Longitud de corte en mm.

Nw = Número de rev/ min de la pieza.

S = Avance en mm/ rev se toma de tablas (Ver tabla anexa de rectificado).

i = Número de pasadas.

Vw = Velocidad Periférica de la Pieza en m/min se toma de tablas (Ver tabla anexa de rectificado).

d = Diámetro en mm.

**VELOCIDAD PERIFÉRICA DE LA PIEZA EN m/min.**

		Rectificado Exterior		Rectificado Interior	
Material	Tipo de Mecanizado	Velocidad	Grano/	Velocidad	Grano/
		Periférica	Dureza	Periférica	Dureza
Acero Blando	Desbaste	12 - 15	46 L - M	16 - 21	45 - 50
	Afinado	9 - 12			J - O
Acero Templado	Desbaste	14 - 16	46 K	18 - 23	46K-60H
	Afinado	9 - 12			
Fundición Gris	Desbaste	12 - 15	46 K	18 - 23	40 - 46
	Afinado	9 - 12			K - M
Latón	Desbaste	18 - 20	36K - 46J	25 - 30	36K-46J
	Afinado	14 - 16			
Aluminio	Desbaste	40 - 50	30K - 40J	32 - 35	30 H
	Afinado	28 - 35			

Fuente tomada de la referencia bibliográfica No. 5 de este trabajo en la pag. No. 173

**AVANCE LATERAL POR REVOLUCIÓN DE LA PIEZA EN FRACCIONES DE LA ANCHURA DE LA RUEDA DE RECTIFICADO.**

Material	Rectificado Exterior		Rectificado Interior	
	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado
Aleaciones de Acero	2/3 - 3/4	1/4 - 1/3	1/2 - 3/4	1/5 - 1/4
Fundición Gris	3/4 - 5/6	1/3 - 1/2	2/3 - 3/4	1/4 - 1/3

Fuente tomada de la referencia bibliográfica No. 5 de este trabajo en la pag. No. 173

Para el problema que se esta analizando ahora tenemos los siguientes datos en los cuales se aplicaran las formulas correspondientes para la determinación del tiempo de rectificado.

Datos:

Diámetro del Tambor a Rectificar = 364.20 mm

Longitud a Rectificar = 1685.00 mm

Ancho de la Rueda de Rectificado = 40 mm

Profundidad de Corte por Pasada = 0.01 mm

$N_w = 14$  m/min

Por el tipo de material del recubrimiento, por cada revolución de la pieza se utilizara 1/ 4 del ancho total de la rueda de rectificado

Calculando se tiene:

$i = 0.10 \text{ mm} / 0.01 \text{ mm} = 10$  Pasadas

$S = (40 \text{ mm}) (0.25 \text{ del ancho de la rueda}) = 10 \text{ mm/rev.}$

$$N_w = \frac{(14.0 \text{ m/min})(1000)}{(3.1416)(364.20 \text{ mm})} = 12.24 \text{ rev/min}$$

$$\text{Tiempo de Rectificado} = \frac{(1685.00 \text{ mm})(10)}{(10.0 \text{ mm/rev})(12.24 \text{ rev/min})} = 137.66 \text{ min}$$

Entonces por lo tanto se tiene que:

Tiempo de Rectificado = (137.66 min) (1 hr/60 min) = 2.29 hr

Por lo tanto: Tiempo de Rectificado = 2.29 hr.

### Calculo del consumo de sellador:

La mayoría de los selladores de capas metalizadas cubren 400 ft<sup>2</sup>/Galón , por lo que entonces se tiene que:

$$(400 \text{ ft}^2/\text{Galón}) (1 \text{ Galón}/3.785 \text{ lt}) (0.09289 \text{ m}^2/1 \text{ ft}^2) = 9.8166 \text{ m}^2/\text{lt}$$

calculando para el área que tenemos que recubrir:

$$A = (3.1416) (0.364 \text{ m}) ( 1.685 \text{ m}) = \underline{1.927 \text{ m}^2}$$

$$\text{Cantidad de Sellador Requerido} = (1.927 \text{ m}^2) / (9.8166 \text{ m}^2/\text{lt}) = \underline{0.196 \text{ litros.}}$$

### Calculo del consumo de enmascarantes:

La mayoría de los enmascarantes utilizados para la protección de las zonas que no deberán ser recubiertas cubren 250 ft<sup>2</sup>/Galón , por lo que entonces se tiene que:

$$(250 \text{ ft}^2/\text{Galón}) (1 \text{ Galón}/3.785 \text{ lt}) (0.09289 \text{ m}^2/1 \text{ ft}^2) = 6.135 \text{ m}^2/\text{lt}$$

calculando para el área que tenemos que recubrir:

$$A = (3.1416) (0.364 \text{ m}) ( 1.685 \text{ m}) = \underline{1.927 \text{ m}^2}$$

$$\text{Cantidad de Sellador Requerido} = (1.927 \text{ m}^2) / (6.135 \text{ m}^2/\text{lt}) = \underline{0.314 \text{ litros.}}$$

Con los datos anteriormente calculados ya podemos determinar el “Costo Total del Metalizado”, dicha información se anexa en las siguientes tablas para mayor facilidad de interpretación.

### COSTO DE MATERIALES

Concepto	Cantidad Requerida	Costo en Dólares	Total en Dólares
Material De Anclaje	4.416 Kg	\$ 112.00/Kg	\$ 494.59
Material de Aporte	59.43 Kg	\$ 105.00/ Kg	\$ 6240.15
Uso de Sellador	0.196 lt	\$ 243.82/lt	\$ 47.79
Uso de Enmascarante	0.314 lt	\$34.16/lt	\$ 10.73
			\$ 6793.26

### COSTO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE ARCO ELÉCTRICO

Concepto	Tiempo de Operación	Costo en Dólares	Total en Dólares
Electricidad	14.07 hr	\$ 0.494/hr	\$ 6.95
Aire	14.07 hr	\$ 0.315/hr	\$ 4.43
			\$ 11.38

### COSTO DE LA LABOR

Concepto	Tiempo de Operación	Costo en Dólares	Total en Dólares
Torneado de Preparación	1.10 hr	\$ 30.76/hr	\$ 33.84
Torneado de Desbaste del Metalizado	7.16 hr	\$ 30.76/hr	\$ 220.24
Torneado de Acabado del Metalizado	8.26 hr	\$ 30.76/hr	\$ 254.08
Uso de Torno en el Rectificado	2.29 hr	\$ 30.76/hr	\$ 70.44
Uso de Torno el Metalizado	14.07 hr	\$ 30.76/hr	\$ 432.79
Uso de Rectificadora en el Acabado del Metalizado	2.29 hr	\$ 38.96/hr	\$ 89.22
Labor del Metalizador	15.17 hr	\$ 2.56/hr	\$ 38.83
Labor del Tornero.	32.88 hr	\$ 2.05/ hr	\$ 67.40
			\$ 1206.84

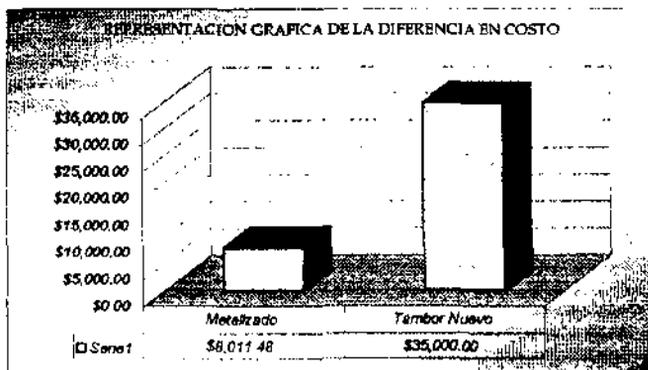
Realizando la suma de los costos totales de cada uno de los conceptos, se obtiene el costo total del metalizado.

Costo Total del Metalizado = \$ 6793.26 dls + \$ 11.38 dls + \$ 1206.84 dls = \$ 8011.48 Dólares.

**COSTO TOTAL DEL METALIZADO = \$ 8011.48 Dólares**

**TABLA COMPARATIVA**

ALTERNATIVA	COSTO EN DOLARES	UNIDADES REQUERIDAS AL AÑO	AHORRO ANUAL EN DOLARES
Metalizado	\$8,011.48	Ninguna	\$107,954.08
Tambor Nuevo	\$35,000.00	4	Ninguno



Del caso de aplicación y estudio aquí analizado, se presento como una alternativa de solución a la compañía Editora de Periódicos el Universal, en la cual se realizó este tipo de operación con resultado positivo.

## CONCLUSIONES:

Al concluir este trabajo, he logrado ampliar mi criterio acerca de lo extenso y versátil que es el campo de la Ingeniería en la industria; la conjunción que debe de existir entre la teoría y la aplicación de conocimientos en cualquier aspecto de la vida, ya que una es complemento de la otra.

Este trabajo, ha sido elaborado para proveer una herramienta adicional a la Industria o Institución que lo requiera como una alternativa para reducir costos por mantenimiento y manufactura de elementos que requieran algún tipo de superficie en especial.

Se han planteado los elementos indispensables y necesarios para poder entender los procesos de metalizado desde el inicio de su preparación hasta el culmino del mismo, abarcando los conceptos teóricos y prácticos de esta área de la Ingeniería.

El caso de análisis y estudio presentado en el último capítulo es solo una de las muchas alternativas de aplicación de estos procesos, que puede hacerse tan extensiva como se quiera. Sin embargo, como muchas otras situaciones en la vida del ser humano es indispensable tratar de romper con nuestras restricciones, ya que el desconocimiento de la aplicación de estos procesos promueve la oposición a que sean utilizadas en muchas de las industrias de nuestro país por personas que no quieren cambiar sus restricciones.

Con esto seguimos dando la oportunidad a que empresas extranjeras realicen lo que en México se puede hacer bien y un costo bajo, por eso me interesa que lo expuesto en este trabajo se difunda de manera que las nuevas generaciones de ingenieros se proyecten y conozcan el alcance de esta realidad.

## ANEXO

### APLICACIONES PARA RESTAURACION DE PARTES DE MAQUINAS

NOMBRE DE LA PARTE	MATERIAL DE APORTE	EQUIPO QUE PUEDE SER UTILIZADO
Ejes de Motores eléctricos Cigüeñales Cojinetes Tambores Secadores de la Industria Papelería Ejes de Turbinas Flex has en General	a) Acero Inoxidable Tipo 420 (C 0.35, P 0.02, S 0.02, Mn 0.5, Cr 13.0, Si 0.5, Fe Bal)  b) Aleación de Acero (C 0.80, P 0.04, S 0.04, Mn 0.7, Fe Bal.)  c) Aleación (Mo 15.0, C 3.0, Mn 2.5, Fe Bal.)	a) Metalizado con alambre o - polvo por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico c) Metalizado con equipo de Plasma d) Metalizado con H.V.O.F
Embolos de Bombas Anillos Hidráulicos Impulsores Flex has de Bombas Camisas de Bombas Ejes de Engranajes de Baja Velocidad Rotores de Turbinas Carcasas de Bombas Camisas de Compresores Levas	a) Acero Inoxidable Tipo 420 (C 0.35, P 0.02, S 0.02, Mn 0.5, Cr 13.0, Si 0.5, Fe Bal)  b) Aleación de Acero Inoxidable (Cr 8.5, Al 7.5, Mn 5.0, Si 2.0, Fe 2.0, B 2.0, Ni Bal.)  c) Aleación de Nickel-Cromo y Aluminio (Cr 9.5, Si 2.5, B 1.5, Al 0.5, Ni Bal.)	a) Metalizado con alambre o - polvo por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico c) Metalizado con equipo de Plasma d) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Superficies de Rodillos de Impresión Conductores Eléctricos	Cobre (Cu 99.0 +)	a) Metalizado con alambre o - polvo por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico

## APLICACIONES PARA ANTIFRICCIÓN Y DESGASTE

NOMBRE DE LA PARTE	MATERIAL DE APORTE	EQUIPO QUE PUEDE SER UTILIZADO
Aspas de Ventiladores	Carburo de Tungsteno a) Co 12,C 4,Fe 1,WC Bal.	a) Metalizado con equipo de Plasma
Alabes de Compresor	b) Co 12,WC Bal. c) Co 17,WC Bal.	b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Sellos Mecánicos	Cerámica Óxido de Cromo a) Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 95,Ti O <sub>2</sub> 5 Carburo de Tungsteno a) Co 12,C 4,Fe 1,WC Bal.	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Frenos	Aleaciones de Nickel - Cobre a) Ni 38,Cu Bal. b) Ni 36 5,Cu Bal. Carburos de Tungsteno a) Co 12,WC Bal	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Poleas de Helicóptero	Acero al alto carbono a) C 0 80,P 0 04,S 0 04,Mn 0 7, Fe Bal.	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Sellos de Estator	Aleación de carburo de Cromo + Aleación de Nickel-Cromo (Cr <sub>3</sub> C <sub>7</sub> 75,Ni 20,Cr 5)	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Camisas para Bombas	Cerámica (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 98 0)	a) Metalizado con equipo de Plasma
Cabezas de Pistones de Motores Diesel	Oxido de Cromo (ZrO <sub>2</sub> 93 0,Ca O 5,Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0 5, Si O <sub>2</sub> 0 4	a) Metalizado con equipo de Plasma
Válvulas		b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Escapes de Motores		
Rodillos de Arrastre de la Industria Textil	Cerámica Óxido de Cromo a) Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 95,Ti O <sub>2</sub> 5	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.
Rodillos Separadores de la Industria Textil		
Cilindros Ranurados para la Industria Textil.		
Paletas de Agitadores Extrasores	Cerámica Óxido de Cromo a) Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 95,Ti O <sub>2</sub> 5	a) Metalizado con equipo de Plasma b) Metalizado con equipo de H.V.O.F.

## APLICACIONES GENERALES

NOMBRE DE LA PARTE	MATERIAL DE APORTE	EQUIPO QUE PUEDE SER UTILIZADO
Rodillos Secadores Yankee de la Industria Papelera	a) Acero Inoxidable Tipo 420 (C 0.35, P 0.02, S 0.02, Mn 0.5, Cr 13.0, Si 0.5, Fe Bal)	a) Metalizado con alambre o polvo por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico c) Metalizado con equipo de Plasma
Tubos de Calderas	Material a Base de Nickel y Cromo Cr 9.0, Al 7.0, Mo 5.5, Fe 5.0, Ni Bal.	a) Metalizado con alambre por arco eléctrico b) Metalizado con equipo de Plasma
Protección Anti corrosiva en Puentes Antenas Parabólicas Tuberías	Zinc Zn 99.9+	a) Metalizado con alambre por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico
Dados de Extrusión de Plásticos Vástagos de Pistón	Aleación de: Cr 20.0, Mo 9.0, B 0.8, Fe 0.4, Ni Bal.	a) Metalizado con equipo de H.V.O.F. b) Metalizado con equipo de Plasma
Alabes de Turbinas Hidráulicas	Acero Inoxidable AISI 304 ó AISI 420	a) Metalizado con alambre por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico
Chumaceras de Cementeras Chumaceras de Tipo Axial Chumaceras de Tipo Radial Segmentos de Cojinete Pernos de Incrementadores de Velocidad	Metal Babbit	a) Metalizado con alambre por combustión b) Metalizado con alambre por arco eléctrico

## RECOMENDACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS ABRASIVOS PARA LA LIMPIEZA DE LOS SUBSTRATOS

SERVICIO RECOMENDADO	Oxido de Aluminio	Silica Abrasiva	Arena	Escoria	Pedernal Abrasivo	Abrasivo Natural Mineral	Abrasivo Sintético	Abrasivos Especiales	Abrasivos Vegetales	Vidrio Abrasivo	Granalla de Hierro	Granalla de Acero
Limpieza general por explosión de arena abrasiva que puede ser reciclado y reusado.	C	C	C	C	C	C	P		C		P	
Limpieza general por explosión de arena abrasiva que no puede ser reciclado y reusado.		P	C	C	C							
Limpieza previa a un proceso de metalizado	P	C	C		P	C	C				P	C
Limpieza en donde las tolerancias del sustrato no pueden ser cambiadas.								C	P			
Limpieza en cuartos y cabinas	P	C	C	C	C	C	P	C	C	C	P	
Limpieza en donde es requerido mantener alimentos no contaminados.									P			
Limpieza para obtener alto brillo bronce y aluminio								C	C	P		

**NOTAS:**

- 1.- C = Abrasivos comúnmente usados
- 2.- P = Usar preferentemente para aplicaciones de metalizado

- 1.- BENECKI F. THOMAS  
THERMAL SPRAY COATINGS: PROPERTIES, PROCESSES AND APPLICATIONS  
ASM INTERNATIONAL  
PITTSBURGH, PENNSYLVANIA, USA, (1991)  
PAG. (179, 389- 394)
- 2.- BENECKI F. THOMAS  
THERMAL SPRAY RESEARCH AND APLICATIONS  
ASM INTERNATIONAL  
CINCINNATI, OHIO, USA, (1988)  
PAG. (351-355, 681-685)
- 3.- EDWARD W. ERNEST  
TOOL ENGINEERS HANDBOOK  
MC GRAW HILL BOOK COMPANY, INC.  
4ª EDICIÓN, NEW YORK  
PAG. (10-16)
- 4.- HOUCK L. DAVID  
THERMAL SPRAY TECHNOLOGY: NEW IDEAS AND PROCESSES  
ASM INTERNATIONAL  
CINCINNATI, OHIO, USA, (1988)  
PAG. (331-336, 375-383)
- 5.- HEINRICH GERLING  
ALREDEDOR DE LAS MAQUINAS - HERRAMIENTAS  
REVERTE  
2ª EDICIÓN, BARCELONA ESPAÑA, (1975)  
PAG. (163-181)

- 6.- H. S. INGHAM AND A. P. SHEPARD  
FLAME SPRAY HANDBOOK VOLUME I  
METCO INC.  
8ª EDICION, WESTBURY, LONG ISLAND, NEW YORK, (1964)  
PAG. (A9-A35, A175-A189)
- 7.- H. S. INGHAM AND A. P. SHEPARD  
FLAME SPRAY HANDBOOK VOLUME II  
METCO INC.  
2ª EDICION, WESTBURY, LONG ISLAND, NEW YORK, (1964)  
PAG. (25-29, 57-77)
- 8.- K. N. MATTISON  
SUPERFINISHING  
NORTON COMPANY, BOLETÍN TÉCNICO  
NEW YORK, (1984)  
PAG. (1-2)
- 9.- M. L. THORPE  
SOLUTIONS FOR JOINING AND SURFACING MATERIAL  
HOBARTA T AFA TECHNOLOGIES, BOLETÍN TÉCNICO  
CONCORD, N. H., (1984)  
PAG. (1-5)
- 10.- MERCADO JOSE  
PREPARACIÓN Y ACABADO DE SUPERFICIES METALIZADAS  
INTER AMERICAN EXPORT CO. BOLETÍN TÉCNICO  
GREAT NECK, NEW YORK, (1991)  
PAG. (1-6)

- 11.- M. L. THORPE  
ECONOMICS CALCULATIONS  
HOBART TAFA TECHNOLOGIES, BOLETÍN TÉCNICO  
CONCORD N. H., (1990)  
PAG. (22.1 - 22.12, 1-3)
- 12.- MARVIN RUBINSTEIN  
ELECTROCHEMICAL METALIZING: PRINCIPLES AND PRACTICE  
VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY  
NEW YORK, (1987)  
PAG. (31-36)
- 13.- PELAYO RIERA  
LA PROYECCIÓN TÉRMICA Y SUS MÉTODOS DE APORTACIÓN  
QUINTO CURSO - SEMINARIO INTERNACIONAL DE TURBOMAQUINARIA  
HOTEL HOLIDAY INN, QUERETARO, (1996)  
PAG. (1-8)
- 14.- SANDVIK COROMANT  
GUÍA DE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS  
SANDVIK  
3ª EDICIÓN, MÉXICO, (1997)  
PAG. (22-23, 88-89)
- 15.- THEODORE BAUMEISTER, EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTER,  
MARKS, MANUAL DEL INGENIERO MECANICO VOLÚMEN III  
MC GRAW HILL  
8ª EDICIÓN, MÉXICO, (1988)  
PAG. (13-69 A I.A 13-73)

- 16.- VÍCTOR YESSAYIAN AND ED D' YOUNG  
MANUAL DE CAPACITACIÓN PHASE III  
KENNAMETAL  
1ª EDICIÓN, MÉXICO, (1995)  
PAG. (23-30)
- 17.- MEMBERS OF THE ASM HANDBOOK COMMITTEE  
METALS HANDBOOK VOLUME 5, SURFACE CLEANING, FINISHING AND  
COATING.  
ASM INTERNATIONAL  
CINCINNATI, OHIO, USA (1982)  
PAG. (3-15, 361-374)