

6  
24



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

RECUPERACION DE ELEMENTOS MECANICOS METALICOS SOMETIDOS A DESGASTE

T E S I S

Que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico Electricista  
p r e s e n t a

Víctor Manuel Álvarez Trueba



Asesor de Tesis:  
Ing. Armando Ortiz Prado

México, D. F.

1989

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

1	INTRODUCCION	Problemática e Importancia del desgaste.	4
2	DESGASTE		
	2.1	Conceptos Generales.	6
	2.2	Desgaste por Impacto.	6
	2.3	Desgaste Adhesivo Metálico.	6
	2.4	Desgaste Abrasivo.	8
	2.5	Desgaste por Erosión.	9
	2.6	Desgaste por Corrosión.	10
3	PRODUCCION DE POLVO METALICO.		11
	3.1	Métodos Físicos.	11
	3.2	Métodos Químicos.	14
	3.3	Métodos Mecánicos.	15
	3.4	Métodos particulares de fabricación de polvo	16
	3.4.1	Polvos de Hierro.	16
	3.4.2	Polvos de Acero Inoxidable.	22
	3.4.3	Polvos de Cobre.	23
	3.4.4	Polvos de Níquel	24
	3.4.5	Polvos de Aleación de Magnesio.	26
	3.4.6	Polvos de Tungsteno.	26
	3.4.7	Carburo de Tungsteno, Carburo de Titanio, Carburo de Tantalio	27
	3.5	Proceso de Atomización Especial.	28
4	CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE POLVO.		29
	4.1	Muestras de Polvo.	29
	4.2	Pruebas Químicas.	29

5	TAMAÑO, DISTRIBUCION DEL TAMAÑO, FORMA Y ESTRUCTURA DE LA PARTICULA	31
	5.1 Tamaño de la Particula.	32
	5.2 Distribución del Tamaño de la Particula.	33
	5.3 Forma y Estructura de la Particula.	33
	5.4 Superficie Especifica.	38
6	RECUPERACION POR MEDIO DE RECUBRIMIENTOS METALICOS.	42
	6.1 Su Objeto. Aparatos y Equipo.	42
	6.2 Preparación y Técnica de Aplicación.	45
	6.3 Limpieza.	48
	6.4 Técnica de Refuerzo.	48
	6.5 Preparación de Ejes y Piezas de Revolución.	49
	6.6 Piezas con superficie Planas.	51
	6.7 Técnica de Rociado.	52
	6.8 Procedimiento de Recubrimiento Metálico.	58
	6.9 Recubrimientos Especiales de Carburo de Tungsteno	58
	6.10 Evaluación de las Condiciones de Servicio	58
	6.11 Casos Prácticos.	68
7	CONCLUSIONES	78
	BIBLIOGRAFIA.	79

## 1 INTRODUCCION

En la última década se ha incrementado la práctica de la Reconstrucción de Maquinaria por los beneficios que esta actividad representa, desde el punto de vista económico.

Existe el desarrollo Tecnológico suficiente para llevar a cabo la reconstrucción integral de los diversos equipos utilizados en la industria pero el aspecto que no debe descuidarse, es el aspecto económico, puesto que el porcentaje de ahorro obtenido en la reconstrucción respecto al costo de adquisición, representa ganancias para invertir en otros equipos.

Para conocer el periodo ideal entre servicios de mantenimiento a la maquinaria es necesario conocer la vida útil de los elementos que constituyen un mecanismo de aquellas, basando estos conocimientos en la determinación de los esfuerzos o las condiciones de operación a que están sujetas. Todo elemento de un mecanismo debido a que tiene desplazamiento relativo respecto a otros a la vez que soportan determinadas cargas, tendrá desgastes y/o fatiga del material que lo constituye.

Las piezas desgastadas pueden repararse y volverse a poner en servicio. Los revestimientos protectores aplicados a las piezas nuevas ayudan a mantenerlas en servicio mucho más tiempo.

Hay cinco tipos básicos de desgaste: Impacto, adhesivo, abrasivo, erosión y corrosión. Con gran frecuencia ocurren en tandem.

El desgaste por impacto tiene por causa cargas súbitas de choque en la que dos piezas se golpean con tal fuerza que resulta en una presión metálica localizada, deformación, rajadura, desescamado o fatiga. Este tipo de desgaste se encuentra en martillos pulverizadores, rebordes de paletas, dientes de cucharones y matrices de forjadura.

Quando dos metales hacen contacto entre si produce fricción y cuando la fricción es excesiva, se produce un desgaste adhesivo. Los cojinetes, eje y muñones son apenas tres ejemplos de piezas en que es prevalectente el desgaste adhesivo. El peor resultado de la fricción es agarramiento de la pieza.

El desgaste Abrasivo resulta en pérdida de metal por actuar un material duro extraño, en la pieza debido a movimiento o bajo carga. Los arañazos, amoladura y muescado son todos tipos de abrasión que pueden sufrir las piezas en servicio.

La erosión ocurre cuando abrasivos finos a alta velocidad cortan la superficie metálica. Este tipo de desgaste se encuentra en ventiladores, bombas, válvulas y codos de tuberías que muestran problemas de desgaste, tales como pulimentación superficial, redondeado de los bordes, esculpido, facetado y contorneado.

Cuando el líquido o gas ataca una superficie metálica y hace que se deteriore, resulta corrosión. No hay manera de evitarlo. Eventualmente, casi todas las partes metálicas se corroerán si no fallan antes por cualquier otra causa. Influyen en la corrosión la concentración de material corrosivo. La presencia de impurezas, la temperatura, el acceso al oxígeno y la velocidad del flujo corrosivo.

Hay muchos materiales y métodos disponibles para proteger contra el desgaste. La selección de un material y proceso específico requiere un análisis concienzudo de las condiciones reales de servicio, un conocimiento de la aplicabilidad y limitaciones del material y procesos particulares y datos referentes al costo implicado.

Varias técnicas para proporcionar protección a la superficie contra el deterioro son:

Electrodeposición.

Anodizado.

Difusión.

Metalizado.

Revestimiento Duro.

Tratamiento térmico Selectivo.

El propósito de este estudio es el planteamiento de una solución a este problema que sea económica y mecánicamente factible en nuestro país por medio de recubrimientos con polvos metálicos, esperando sea de utilidad para los interesados en el tema.

## 2 DESGASTE.

2.1 El desgaste se define como el deterioro no intencional resultante de la remoción de material como respuesta a la acción mecánica. Puede considerarse esencialmente como un fenómeno de superficie.

Tiene su origen en la fricción Rodante o Deslizante ocasionada cuando las superficies se mueven una con respecto de otra.

La separación y el desplazamiento de partículas de una superficie puede producirse por varios mecanismos.

- Desgaste por Impacto.
- Desgaste adhesivo.
- Desgaste Abrasivo.
- Desgaste por Erosión.
- Desgaste por Corrosión.

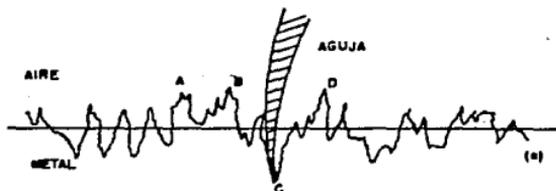
Generalmente no solo se presenta un tipo, al empezar uno, se genera otro, comunmente se presenta desgaste abrasivo y adhesivo casi simultaneamente.

2.2 El desgaste por impacto tiene por causa cargas súbitas de choque en la que dos piezas se golpean con tal fuerza que resulta en una presión metálica localizada, deformación, rajadura, descamado o fatiga. Este tipo de desgaste se encuentra en martillos pulverizadores, rebordes de palas, dientes de cucharones y matrices de forjadura.

2.3 Desgaste Adhesivo. También es llamado rayado, erosión prendimiento y ludimiento de las superficies, Ocure cuando dos superficies en contacto tienen movimiento relativo periódico entre si estando sometidas a cargas de compresión que provocan soldadura en frío.

El mecanismo por medio del cual se lleve a cabo el desgaste adhesivo es el siguiente; el contacto entre las superficies se efectua entre pequeñisimas salientes cuales producen fricción por interferencia mecánica, estas pequeñas protuberancias se encuentran distribuidas en las superficies, ya que no existen superficies perfectamente lisas, sino que siempre se presentaran, rugosidades por muy pulidas que se encuentren.

La siguiente figura nos da una idea de como son estas alientes observandolas con un microscopia de alto poder.



La interacción de los puntos encontrados se puede llevar a cabo según las siguientes formas:

- a) Interpenetración sin adhesión de empuje, la cual causa deformación.
- b) Interpenetración seguida de corte de las protuberancias. Si las partículas son de material frágil, pueden arrancarse.
- c) Contacto con adhesión.
- d) Contacto con adhesión y corte en el plano original.

Pueden ocurrir todas las posibilidades ya que no existen leyes que gobiernen el Desgaste por adhesión.

La adhesión es un fenómeno de desgaste que se presenta debido a la acción de fuerzas tangenciales a las superficies en contacto y depende básicamente de la carga aplicada entre estas, y en un segundo término, pero no menos importante al acabado superficial de las piezas en contacto.

El área en contacto, en cuanto a su tamaño, no tiene una influencia importante.

Existen diversos mecanismos que ocasionan el desgaste por adhesión, pero se considera, en términos generales básicamente el deslizamiento por corte y al deslizamiento después de fusión de los

puntos en contacto. En el primero la fuerza de fricción ocasiona el desprendimiento de las partículas del metal base, ya que esta fuerza es mayor que la fuerza de corte que pueden soportar determinadas bandas de deslizamiento. En el segundo, el desprendimiento ocurre después de que los puntos en contacto alcanzan su temperatura de fusión y se sueldan, estos se separan debido a la fuerza aplicada en virtud del movimiento relativo entre las partes en contacto.

Estas partículas que se desprenden, si no son retiradas ocasionan el desgaste por abrasión.

Si se sospecha la posibilidad de fusión de los puntos en contacto hay que evitar que se alcance esta temperatura, la cual depende de las cargas aplicadas, de una buena lubricación, refrigeración etc.

2.4 Desgaste Abrasivo. Este se presenta por la abrasión cuando se introducen partículas extrañas, no solo de metal sino también de polvo tierra etc., entre las superficies en contacto y existe movimiento relativo.

Estas partículas pueden ser del mismo metal, producidas por el mecanismo de desgaste antes mencionado o han sido introducidos por unos agentes externos.

Este fenómeno de desgaste por abrasión es semejante a la remoción de material por mecanizado como el rectificado.

Quando existen diferencia de dureza entre las superficies en contacto, la superficie más suave se desgasta en proporción directa a su dureza y en proporción inversa a la carga sobre las superficies y la distancia de desplazamiento.

Este fenómeno de desgaste tiene la característica de ser uniforme en el tiempo y es de naturaleza dinámica.

El desgaste por este método, puede explicarse describiendo los fenómenos que ocurren en el rectificado, es decir como entran las superficies en contacto.

Se puede simular el fenómeno de arranque considerando una sola partícula en contacto con la pieza de trabajo.

El primer aspecto a considerar será establecer la forma de la partícula que interactúa con la superficie sometida al desgaste.

La forma de la viruta que proponen los investigadores del "Materials Research Laboratories", del Departamento de Defensa Australiano, es la pirámide o forma de cuña en la cual los ángulos de la partícula piramidal se definen de manera similar a los que se han definido para las herramientas de un solo filo, se ha establecido que ángulo de inclinación determina junto con la profundidad, longitud de corte el volumen de material que arrancará.

2.5 Desgaste por Erosión . Este mecanismo se debe a que en ocasiones partículas de metal son arrastradas por el aceite lubricante e introducidas entre las dos superficies en contacto, ocasionando remoción de material. La densidad y forma de las partículas, determina la severidad del ataque.

Otro mecanismo de desgaste es el que resulta del movimiento de deslizamiento alternativo entre las partes adyacentes. La corrosión por erosión, generalmente esta acompañada por una oxidación rápida de las superficies. La "raspadura" es usada para denominar tipos de desgaste como el rayado, el cual produce polvo bajo reacción química. Este mecanismo de desgaste ocurre comunmente en pasadores fijos, ensambles forzados y otras superficies sujetas a cargas, a vibraciones o movimientos mecánicos. En general se trata de pequeños desplazamientos, los cuales remueven pequeñas partículas de las superficies de los materiales en contacto, formadas por oxidación del metal base. Los puntos de contacto o de las superficies se deforman plásticamente, soldándose y desprendiéndose repetidas veces durante el movimiento, debido a las cargas que soportan.

Las características de este mecanismo de desgaste por raspadura se ven afectados por la cantidad de movimiento, presión, dureza superficial, temperatura, frecuencia, número de ciclos, lubricación coeficiente de fricción, humedad y otras condiciones ambientales tales como atmósfera inerte o vacío. La geometría de las superficies pueden causar diferentes efectos. o superficies rugosas pueden producir salientes de gran elasticidad o formar cavidades para el escape del polvo que cause el deterioro rápido de las superficies. Cada variables de máxima importancia y debe considerarse por separado.

Una de las mejores soluciones donde el desgaste es un problema es precisamente evitar el movimiento y/o la vibración, que es la causa de éste, haciendo diseños más rígidos o por otro lado, haciendo el movimiento elástico.

2.6 Desgaste por Corrosión . La corrosión puede definirse como "la destrucción de un material por interacción química, electroquímica o Metalúrgica entre el medio y el material".

El desgaste por corrosión es el que se presenta cuando se remueve la capa de óxido que cubre una superficie, renovando el fenómeno con subsecuentes movimientos de aquel, provocando así el desgaste de la pieza.

Cuando no se permite la salida de este producto de la oxidación, se combina el desgaste por corrosión con el desgaste por abrasión. La corrosión es esencialmente un proceso electroquímico razón por la cual se presenta un flujo de corriente entre ciertas áreas de la superficie de un metal a través de un electrolito, el cual es cualquier solución que contiene iones. Los iones son átomos electricamente cargados. El electrolito puede ser agua pura, agua salada, soluciones ácidas o alcalinas de cualquier concentración. Para completar el circuito eléctrico debe haber dos electrodos, un ánodo y un cátodo mismos que deben conectarse.

Los electrodos pueden ser dos diferentes clases de metales o distintas áreas sobre la misma pieza de metal. En la corrosión la conexión entre ánodo y cátodo se lleva a cabo por contacto. Para que fluya la electricidad, debe haber diferencia de potencial entre los electrodos.

Una variedad de reacciones pueden liberar electrones en el cátodo.

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| a) Galvanoplastia de Metales | $(M \text{ divalente}) M_2 + 2e \rightarrow 2M$ |
| b) Generación de Hidrógeno   | $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$                     |
| c) Descomposición de agua    | $H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$             |
| d) Formación de Hidróxidos   | $O_2 + 2H_2 + 4e \rightarrow 4OH^-$             |
| e) Formación de agua         | $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$             |

### 3 PRODUCCION DE POLVO METALICO.

En este capitulo se tratan los métodos para producir polvos metálicos. Se hace énfasis sobre los métodos para aquellos tipos de polvos metálicos que son comercialmente importantes en la pulvimetalurgia. Los polvos metálicos no solo se emplean en la obtención de diversas piezas sino que también son útiles como agentes químicos, para la fabricación de explosivos, en pinturas, tintas y barnices, y metalizado. Aún con ciertas restricciones la lista de métodos de producción de polvos es muy extensa e incluye diferentes logros para hacer polvos metálicos, de hecho en el caso de hierro y el cobre, los polvos hechos por diferentes métodos compiten unos con otros para el mismo tipo de aplicaciones en la metalurgia del polvo.

Los métodos de producción de polvos se pueden clasificar como sigue :

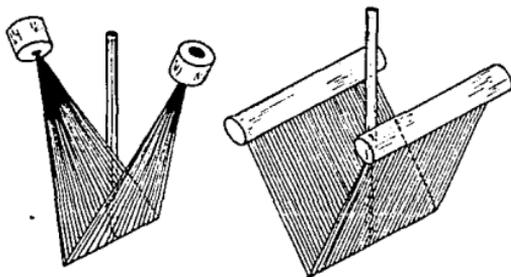
- a. Métodos físicos.
- b. Métodos Químicos.
- c. Métodos Mecánicos.

3.1 METOS FISICOS. El mas importante empleado en la producción de polvos es el de atomización. En este una corriente de metal fundido es desintegrada en partículas que se solidifican posteriormente formando así la masa pulvurulenta. En la mayor parte de los procesos de atomización una corriente de liquido, usualmente agua, o gas incide la corriente de metal liquido para romperla en partículas. La producción del polvo por atomización es ineficiente desde el punto de vista de la utilización de la energía, ya que solamente un pequeño porcentaje de la energía, que la corriente de medio de la atomización imparte al metal fundido, se usa para crear las nuevas superficies de las partículas de polvo. Por lo anterior es muy complejo el analisis de la atomización desde el punto de vista de dinámica del fluido.

La mayor parte de los procesos de atomización para polvos metálicos han sido desarrollados más o menos empíricamente. El lado práctico de la atomización de polvos metálicos ha sido revisado por J. F. Watkinson y P. Ulf Gummerson, y en el caso de atomización con gases por Elkar y WM Shafer.

Los primeros métodos para producir polvos metálicos por atomización fueron aquellos que se hicieron para los metales con un bajo punto de fusión. El metal fundido es sostenido en el estado líquido en un tanque y se eleva por la succión producida por el medio de atomización, comúnmente aire caliente, a través de una pipa hacia una tobera de atomización.

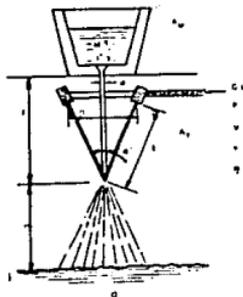
Para los metales y aleaciones de un punto de fusión más alto, por ejemplo, aleaciones con base de níquel, hierro y cobre, una corriente de metal fundido que sale de un orificio en la parte baja de un recipiente es desintegrada por una corriente del fluido de atomización, la cual puede ser agua, aire, vapor o gas inerte. Como un ejemplo, aplicable a la atomización con agua o gas, el proceso con una corriente plana de flujo en V es ilustrada en la figura.



Las siguientes propiedades de los polvos:

- a. Tamaño de la partícula.
- b. Distribución del tamaño de la partícula.
- c. Forma de la partícula.

Así como la química y la estructura de la partícula son controlados por variables mayores en el proceso de atomización, las cuales son ilustradas en la figura.



<b>ATMOSFERA</b>	Durante el fundido (A) En el tanque atomizador (A <sub>M</sub> )
<b>METAL FUNDIDO</b>	Química (M) Viscosidad (n) Tensión superficial (r) Rango de temperatura del fundido (A) Sobrecalentado (A <sub>1</sub> ) Velocidad del metal (V) Diámetro de la tobera (d)
<b>AGENTE ATOMIZADOR</b>	Gas o líquido (G/L) Presión (P) Volumen del fluido usado (V) Velocidad (v) Viscosidad (n)
<b>GEOMETRIA DEL CHORRO</b>	Extension (D) Largo(E) Largo de la corriente (F) Angulo del chorro (α)
<b>PARAMETROS DEL TANQUE</b>	Trayectoria de vuelo (H) Medio de amortiguado (M)

Un tamaño pequeño de partícula es favorecido por:

- Baja viscosidad superficial.
- Baja tensión superficial.
- Sobre-calentamiento de este.
- Pequeño diámetro de la tobera.
- Alta presión de atomización.
- Baja corriente del metal.
- Distancia de la tobera a la corriente del metal.

Las presiones usadas en la atomización con agua son : 3.5-20 Mpa. (500-3000 psi), los que se refieren a la atomización con gas son generalmente mas bajos en el rango de 0.7-2.8 Mpa (100-400 psi).

La distribución del tamaño de la partícula de los polvos producidos por la atomización es comunmente muy uniforme.

El control de las formas de las partículas es de mayor importancia cuando se producen polvos metálicos por atomización. Cuando las partículas de metal líquido se enfrían se forman partículas en forma esférica o de lagrima.

Los polvos esféricos atomizados se necesitan cuando estos van a sinterizarse libremente o cuando van a consolidarse en calor, más bien que prensados en frío. Los polvos con forma irregular por otra parte, se requieren para usos de la metalurgia de polvo en los cuales un polvo es prensado en frío convertido en un compacto. Excepto para polvos suaves tales como el estaño y el aluminio, los compactos de polvo con formas esféricas tienen baja resistencia en verde. Obtener partículas de polvo irregular depende de las condiciones de atomización. Es generalmente más fácil producir tales partículas por atomización de agua que por atomización de gas. Altas presiones de agua, así como velocidades más altas, dan como resultado formas de partículas más irregulares debidas a fuerzas de impacto más grandes y a un rápido enfriamiento. Debe evitarse el sobrecalentamiento de metal líquido que conduce a la esferodización. La forma de la partícula también está influenciada por la tensión superficial del metal líquido. Pequeñas adiciones de desoxidantes, tales como el fósforo, incrementan la tensión superficial del cobre y aleaciones de base de cobre y conduce a la forma del polvo esférica. La existencia de capas delgadas de óxido sólido como el Zn actúan en forma opuesta y explican porque el polvo de latón irregular puede ser fácilmente producido por atomización de aire. Cuando al principio fueron producidos los polvos de acero inoxidable austenítico, fue necesario añadir silicio a la mezcla para producir polvos de forma irregular esto en la actualidad no es necesario.

Recientemente se ha desarrollado un número de procesos de atomización especial para polvos esféricos de materiales de aleaciones muy complejas, los cuales difieren significativamente de los procesos de atomización tradicionales.

**3.2 METODOS QUIMICOS.** Son aquellos en los cuales un polvo metálico se produce por descomposición química de un compuesto de metal. Esto incluye el grupo de las reacciones de reducción. Los óxidos en la forma de polvo sólido dividido, finalmente puede ser reducido, como

en la reducción de óxido de Tungsteno a polvos de tungsteno y el óxido de cobre con hidrógeno o el óxido de hierro como monóxido de carbono. Una solución acuosa de un compuesto metálico puede ser reducida tal como una solución de aminosulfato de níquel a polvo de níquel con hidrógeno o una solución acidificada de sulfato de cobre a cobre cementado con hierro de desecho. La reducción de aluros metálicos gaseosos o líquidos es menos común.

La deposición de metal por una corriente eléctrica a partir de un electrólito que contiene una sal metálica, puede ser tratada como una clase especial de proceso de reducción. La electro-deposición del polvo de cobre a partir de una solución de sulfato de cobre acuosa es un ejemplo.

Los polvos metálicos pueden ser también producidos por descomposición térmica de ciertos compuestos de metal. Los ejemplos son: la descomposición de hidruro de Titanio en polvos de Titanio, a hidrógeno, o a la descomposición del carbonilo de níquel en polvo de níquel y monóxido de carbono.

3.3 METODOS MECANICOS. Ciertos polvos pueden ser producidos por procesos de trituración mecánica, generalmente usados para materiales frágiles tales como los minerales. La trituración juega un papel menor en la producción de los polvos metálicos o aleaciones porque los polvos frágiles triturados no pueden ser compactados en frío como tales. Ellos pueden, sin embargo, ser usados como constituyentes menores en las mezclas de polvos, ejemplo; aleaciones de aluminio y hierro usados en mezclas para producir componentes magnéticos y polvos ferro-fosforosos en mezclas para fabricar partes estructurales.

Los metales o aleaciones pueden hacerse frágiles para que puedan ser titurados mecánicamente. Esto puede ser hecho por un tratamiento térmico como en el caso de los aceros o medios químicos en los aceros inoxidable. Como ejemplo tenemos los depósitos frágiles de hierro usados en la producción electrolítica de polvo de hierro, polvo aleado permanentemente y fragilizado para los cordones telefónicos y los hidruros metálicos frágiles para producir polvo de titanio y zirconio y sus aleaciones. Si estos métodos deben ser considerados químicos o métodos mecánicos de producción de polvos depende de la semántica.

Un método recientemente desarrollado y especializado para producir polvos metálicos y aleaciones de tamaño de partícula fina por trituración mecánica es el proceso de la corriente fría, el tamaño del material de alimentación para este proceso no sería mayor de 2mm y puede, por ejemplo, ser un polvo atomizado esférico burdo. Es alimentado dentro del generador de rafagas el cual está suspendido en una corriente de gas presurizado a una presión de 7MPa. o mayores. El gas es usualmente aire, pero gases inertes también pueden ser empleados. Si la oxidación del polvo va a ser controlada a un mínimo. La corriente de gas, con el material suspendido, es expandida a través de una tobera venturi dentro de las cámaras de chorro, en la cual el material choca contra un blanco fijo y entonces tiene lugar la reducción de tamaño. El material conminutado es separado de acuerdo al tamaño de la partícula en los clasificadores con el regreso de las partículas de mayor tamaño a la cámara de rafagas. Cuando la corriente de gas es expandida se enfría junto con el material que va a ser conminutado. La baja temperatura, ayuda al proceso de trituración. Una ventaja del proceso de corriente fría, comparado con otros procesos de trituración, es el hecho de que pueden ser trabajados con un mínimo de contaminación. El blanco contra el cual el material choca, puede frecuentemente estar hecho de la misma composición del material que va a ser triturado, por ejemplo; en el caso de polvos de acero grado herramienta. Los materiales pueden ser triturados en el proceso de corriente fría a polvo de tamaños de partícula de 10 um y más finos.

#### 3.4 METODOS PARTICULARES DE FABRICACION DE POLVOS.

##### 3.4.1 POLVOS DE HIERRO.

El principal uso de los polvos de hierro es para partes estructurales procesados convencionalmente por ejemplo por compactación en frío y sinterización sin aplicación de presión y aquellos como preformas y forjados en caliente y convertidos en componentes. Otros usos para el polvo de hierro son partes magnéticas, en ciertos bujes de autolubricación y en materiales de fricción. En su uso para partes estructurales cuatro propiedades de los polvos de hierro, son importantes.

1. Los polvos deberán tener suficiente fluides para que fácilmente llenen las cavidades del dado en las prensas de compactación. Esto significa que no contendrán un alto porcentaje de tamaño de polvo subtamizado. (generalmente no sobrepasa al 50 %. El subtamizado será de tamaño menor de 44 um

2. Los compactos de los polvos deberán tener una resistencia en verde adecuada para que puedan ser expulsados de la prensa y transferidos al horno de sinterización sin romperse.

3. Los compactos del polvo de hierro y del polvo de hierro con adiciones de grafito, cobre, polvos de níquel, etc., deberán mostrar unos cambios dimensionales mínimos (menos de 0.5 %) cuando se sinteriza bajo las condiciones usuales de sinterización. (0.5 a una hora, en temperaturas en el rango de 1100 1300 C).

4. Los polvos de hierro deben tener alta compresibilidad, ellos deben producir compactos de alta densidad en verde. Las densidades en verde altas y consecuentemente altamente sinterizadas significa buenas propiedades mecánicas.

Los requerimientos de los polvos usados para preformas que son forjadas en caliente difieren de aquellas para los polvos usados en el proceso final en muchos aspectos. La densidad en verde alta para las preformas es menos importante que para las piezas finales ya que las primeras son, casi completamente, densificadas durante el forjado caliente.

Los polvos para estas aplicaciones pueden también ser más burdos que aquellos para los procesos convencionales, con un porcentaje considerable de partículas mayores de 150  $\mu\text{m}$ , ya que la baja rugosidad de la superficie se obtiene durante el forjado en caliente aún para las preformas de polvos burdos. Por otro lado los requerimientos para la limpieza, por ejemplo, un bajo contenido de material ácido insoluble en el polvo, son más rigurosos para polvos usados en partes forjadas en caliente.

Los métodos comercialmente importantes para producir polvos de hierro pueden estar divididos en tres grupos:

- Polvos de Hierro Reducido.
- Polvos de Hierro en los cuales la atomización y la reducción están involucradas.
- Polvos de Hierro Atomizado.

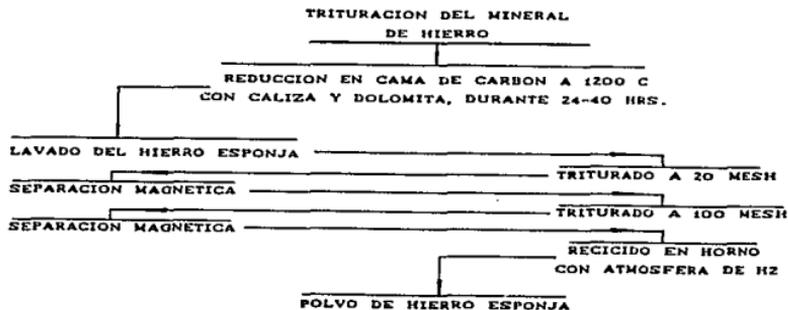
La atomización proporciona el más alto porcentaje de polvos de hierro que hoy se producen, pero fue el último método desarrollado comercialmente. Los métodos para producir polvos de hierro por reducción son los más viejos seguidos por los métodos que combinan la atomización y la reducción. Además de estos tres grupos existen otros tres métodos para producir polvo de hierro, que son: deposición electrolítica, descomposición de hierro carbonilo, y así mismo existe la posibilidad de producir polvo a partir de las rebabas del maquinado

**A) Polvos de Hierro Reducido.**

Entre los métodos para producir polvo de hierro por reducción, el proceso de hierro esponja desarrollado en Hoganas, Suecia es el más viejo. Fue desarrollado a principio de siglo, el proceso fue originalmente desarrollado para producir hierro esponja como materia prima para hacer crisoles. Como tal, es uno de los numerosos procesos para la reducción directa de minerales de hierro en temperaturas bajo el punto de fusión del hierro. El hierro esponja producido por la mayor parte de este proceso no es suficiente como materia prima de polvos de hierro, sin embargo el proceso de Hoganas está basado en el uso de unos minerales metálicos demasiado puros que es  $(Fe_3O_4)$ , encontrados en el Norte de Suecia y ha sido desarrollado para producir polvo de hierro esponja más bien que para hierro esponja tanto en Suecia como en los Estados Unidos.

En el proceso de Hoganas, el mineral de hierro es reducido con un material carbonaceo. EL diagrama de flujo, es el siguiente.

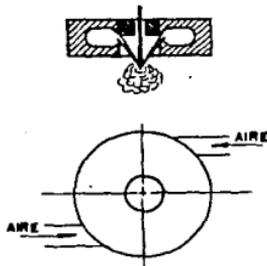
Los Pasos en la producción del polvo, están ilustrados en la siguiente figura.



El mineral es triturado para que se reduzcan a partículas de una distribución de tamaño determinado por aquel polvo de hierro deseado. El polvo mineral es colocado en recipientes cerámicos cilíndricos (Saggers hechos de carburo de silicio) rodeado por una capa concéntrica de una mezcla de coque y piedra caliza. Los saggers son colocados sobre carros que son llevados a través de un horno en forma de tunel. El monóxido de carbono producido por el coque reduce el mineral a hierro. El tiempo de reducción total es del orden de 24 horas, la temperatura de reducción es de 1200 C. La piedra caliza sirve para reaccionar con el sulfuro del coque y prevenir la contaminación del hierro. El hierro esponja es retirado de los saggers, granulado y el polvo resultante, magnéticamente separadode impurezas. En el paso de la reducción final, el polvo se lleva a través de un horno continuo en una atmósfera rica en hidrógeno sobre una banda de acero inoxidable. La cantidad del contenido de ácido insoluble del polvo de Hoganas dependerá de la cantidad y del tamaño de las partículas de la ganga en el mineral granulado y determina si la ganga se puede quitar en el paso de separación magnética. La reducción principal en el proceso de Hoganas es un proceso de hornadas en el cual el mineral granulado no se mueve durante la reducción, sino que está estático, en contraste con otros procesos de reducción directa los cuáles son continuos. También se puede utilizar como materia prima la escama de molino, obtenida como un producto secundario de operaciones de laminación de acero. El polvo de hierro es obtenido de la escama de molino por reducción con hidrógeno el cual también esta disponible como un producto secundario de manufactura química. Este polvo de hierro está disponible bajo el nombre comercial de (POLVO DE HIERRO / PYRON).

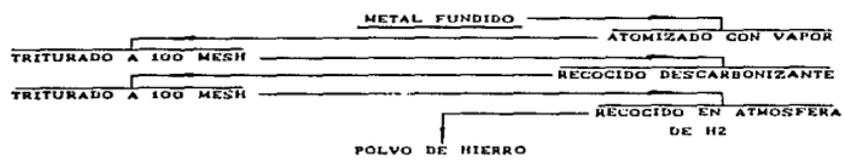
BD.- POLVO DE HIERRO, DONDE LA ATOMIZACION Y LA REDUCCION ESTAN COMBINADAS

Es más fácil producir polvos de hierro que tienen buena resistencia en verde por métodos que combinan la atomización y la reducción. Uno de estos métodos de combinación es el "proceso RZ" desarrollado en Alemania. La aleación del hierro-carbono es fundida en un cubilote. La corriente de aleación es atomizada con aire usando el aparato mostrado esquemáticamente en la siguiente figura.



Muchas de las partículas solidificadas, son horadadas por la formación de CO a través de la reacción del carbono. Al mismo tiempo una capa delgada de óxido se forma en la superficie de las partículas. El producto resultante es granulado en un polvo de 150  $\mu\text{m}$ . Hornadas adecuadas del producto granulado y atomizada son seleccionadas para proveer una alimentación para el proceso de recocido que producen por la reacción del carbono y el oxígeno que forma con monóxido de carbono, un polvo de hierro bajo en carbono. El polvo es recocido a una temperatura de 1100 C en un horno de calentamiento indirecto usando el CO desarrollado como ucomo una atmósfera de recocido. La pasta resultante es granulada a un polvo menor de 150  $\mu\text{m}$ .

Otro proceso de combinación ( el polvo de hierro domfer) fue desarrollado en Canada y se muestra esquemáticamente en el diagrama de flujo de la siguiente figura.



La aleación de hierro y carbono es fundida en un horno eléctrico, posteriormente ésta es atomizada inyectando vapor, el producto es granulado a un polvo menor de 150  $\mu\text{m}$ . El polvo es mezclado con escama de molino de menos de 44  $\mu\text{m}$ . La cantidad de óxido, se ajusta para que durante el recocido descarbonizador subsecuente, el oxígeno en el óxido reaccione con el carbono en la aleación granulada de carbono y de hierro formando CO.

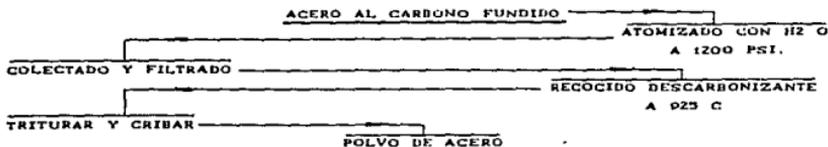
El producto del tratamiento de recocido es una pasta que es granulada a un polvo menor de 150  $\mu\text{m}$ .

Los polvos domfer y RZ, por su origen, tienen una cierta proporción de partículas porosas. Por esta razón los compactos de polvo tienen una mejor resistencia en verde que los de los polvos con partículas sólidas que se obtienen generalmente por métodos de atomizado.

C) - POLVO DE HIERRO ATOMIZADO.

En los últimos años fueron desarrollados polvos atomizados de aleaciones de hierro carbono fundidas, más bajas en carbono, que aquellos en los polvos de RZ y Domfer. Estos son algunas veces polvos de acero fundido, sin embargo con relación a la composición en el contenido particular del carbono no difiere marcadamente de otros polvos de hierro.

Los pasos en los primeros procesos desarrollados por A. C. Smith C. son esquemáticamente mostrados en el diagrama de flujo de la siguiente figura.



Por otra parte la compresibilidad de los polvos con partículas sólidas no porosas, que también incluye polvos de hierro electrolítico es generalmente mayor que la de polvos con partículas porosas.

POLVOS DE HIERRO ELECTROLITICO .

El polvo de hierro electrolítico ya no tiene importancia comercial para componentes de partes estructurales de hierro y acero, aunque todavía es empleado en la producción de piezas tales como imanes.

Antes de que hubiera sido desarrollado los polvos de hierro atomizado con partículas sólidas no porosas, los polvos de hierro electrolítico a pesar de su costo más alto comparado con otros procesos tuvieron mucha demanda por su buena compresibilidad particuladamente para partes pequeñas tales como piezas de máquinas de oficina donde el costo del polvo era solo una proporción pequeña del costo total de las partes.

#### F.- POLVO DE HIERRO EXTRAIDO DE REBABAS CONTINUAS DE ACERO.

Las rebabas de acero, un subproducto obtenido en el acero maquinado, serían obviamente, una materia prima de menos costo para partes estructurales. Un proceso llamado Proceso de Micromalla fue investigado en los Laboratorios de General Motors, empezando en 1968. Las rebabas mecanizadas son desengrasadas en vapor, el desperdicio es separado, las rebabas son reducidas y convertidas en un producto de malla del número 20 al 65 en un molino de martillo y son recocidas a 700 C. Los experimentos han mostrado que el polvo aspero, producido así, puede ser prensado y convertido en compactos después de la sinterización, tienen propiedades similares a aquellos de los polvos convencionales. Sin embargo, el proceso no ha sido ampliamente usado comercialmente. El principal problema, parece ser, elaborar flujos disponibles de cantidades suficientes de rebabas estrictamente segregadas y no contaminadas.

#### POLVO DE ACERO DE BAJA ALEACION.

Los polvos prealeados que contienen elementos tales como el níquel y el molibdeno en solución sólida en el hierro, se producen por los mismos métodos que los de polvo de hierro atomizado. Los elementos aleantes son agregados al baño de acero fundido antes de la atomización. Después de la atomización los polvos son recocidos y reducidos de la misma manera que los polvos de hierro sin aleante y así tienen los mismos contenidos bajos en carbono que estos polvos. Los compactos de baja aleación de acero pueden ser producidos de las mezclas de polvos de acero de baja aleación y prealeados y del polvo de grafito o de las mezclas de polvo de hierro, de polvo de grafito y de los polvos elementales de los ingredientes aleantes.

#### 3.4.2 POLVOS DE ACERO INOXIDABLE.

Los polvos de acero inoxidable son usados para partes estructurales y para aplicaciones de filtrado. El principal método comercial para producir polvos de acero inoxidable, es la atomización

por agua. El acero inoxidable austenítico de las composiciones 303 y 304 L y 316 L y el acero martensítico de la composición 410 son las categorías más importantes del polvo de acero inoxidable producido por este método. Materias primas vírgenes, el hierro armco, el níquel electrolítico y el ferrocromo bajo en carbono y el ferromanganeso son fundidos en hornos de inducción de alta frecuencia, bajo una capa de escoria protectora. La fundición es colocada a una temperatura de 3000 F (1650 C) dentro de un horno precalentado en la base de éste está un orificio de "1/4 a 1/2" (6 a 12 mm) de diámetro, el cual mide el flujo del metal fundido dentro de la cámara de atomización. Las corrientes de agua para atomizar, son dirigidas desde la cabeza de atomización en una serie de corrientes directas convergentes, las cuales se intersectan con la corriente de metal en un ángulo de aproximadamente 45°. Presiones, arriba de 2000 psi (14 MP) son usadas para producir el polvo, los cuales pasan a través de un tamiz de malla de 100 (150  $\mu$ m) y contiene de 35 a 50 % de polvo más fino que la malla de 326 (44  $\mu$ m). El goteo fundido atomizado cae al fondo de la cámara atomizadora llena de agua. Mientras que los polvos de acero inoxidable austenítico, son usados sin tratamientos posteriores, los polvos de acero inoxidable martensítico deben ser recocidos en una atmósfera protectora. Polvos de acero inoxidable esféricos pueden ser producidos por la atomización con argón o el nitrógeno. Estos polvos son usados en la fabricación de tubos sin costura de acero inoxidable por explosión caliente de las preformas producidas de los polvos por presión isostática fría en moldes de acero al carbono precalentados.

### 3.4.3 POLVO DE COBRE.

La aplicación más importante del polvo de cobre dentro de la metalurgia de polvo está en los bujes autolubricados que tienen la composición típica de un bronce y los cuales son producto de la mezcla de cobre elemental y de los polvos de estaño.

Estos también tienen aplicación :

- Para las escobillas metálicas prensadas, de mezclas de cobre y de polvo de grafito.
- Para partes estructurales con una composición de bronce.
- Para partes estructurales de polvo de cobre simple.
- Para aplicaciones eléctricas o electrónicas.
- En el material de enlace para herramienta de diamante, unidas con metal base bronce.

-Para materiales de fricción se requiere de un polvo de cobre de densidad aparente baja que tiene una alta resistencia en verde.

Los tres métodos principales para producir polvo de cobre son:

- 1 Deposición electrolítica.
- 2 Reducción gaseosa de óxido de cobre.
- 3 Atomización.

Otros dos métodos de importancia comercial son:

- 4 Precipitación del polvo de cobre de una solución de sulfato de cobre con hierro.
- 5 Reducción de solución acuosa de una sal de cobre con hidrógeno bajo presión.

#### 3.4.4 POLVO DE NIQUEL.

Los procesos principales para la producción del polvo de níquel son:

- Descomposición del níquel carbonilo.
- Reducción de la solución acuosa de una sal de níquel con hidrógeno bajo presión.

Ambos procesos son usados para producir níquel metálico de sus minerales. En el caso del níquel y del níquel carbonil, el metal puede ser producido como polvo o como pellets, el polvo de níquel producido por reducción de una solución acuosa puede ser prensado y convertido en briquetas.

Sin embargo el hecho de que el metal se obtiene como un polvo a un costo no más alto que el del níquel en forma de lingote es un incentivo para los usos de la metalurgia de polvo.

Además de las tiras y las láminas de aleaciones del níquel y el níquel puro, las aplicaciones de la metalurgia de polvo para el polvo de níquel incluyen la preparación de los electrodos porosos para baterías y para celdas de combustible, así como aleantes para partes estructurales de acero de baja aleación y en magnetos Alnico.

Comparadas con los dos principales procesos para producir polvo de níquel, otros métodos tales como la atomización, la reducción del óxido y la trituración mecánica son de menor importancia.

#### POLVO DE NIQUEL POR DESCOMPOSICION DEL NIQUEL CARBONIL.

La producción del níquel en forma de pellets o de polvo por descomposición de níquel carbonil,  $Ni(CO)_4$ , se efectúa de la siguiente manera: El óxido de níquel producido a partir del sulfuro de níquel es reducido a níquel esponja por hidrógeno, activado por sulfurización y volatizado como carbonil. El promedio de la reacción de carbonilización puede ser incrementado aumentando la presión y la temperatura.

La ganga producida pyrometalúrgicamente de minerales complejos usando el convertidor Kaldo al cual se le sopla oxígeno desde arriba, está sujeta a una presión de carbonización en reactores de una capacidad del 150 toneladas a una presión de 7000 K Pa y 180 C. Más del 95 % de níquel en la ganga es extraído en este proceso, el carbonil es condensado, y el carbonil líquido separado en vapor de níquel carbonil, y el carbonil líquido rico en hierro. El vapor de níquel de carbonil puede ser usado para producir polvo de níquel en una cámara de descomposición, en la cual es rápidamente calentado o para producir pellets, de níquel. El polvo y los pellets son de un alto contenido de pureza más del 99 % de níquel. Por el control de variables del proceso, 2 tipos de polvo de níquel carbonil puede ser producido, el tipo 123 y el tipo de la serie 200 la cual incluye los tipos 255 y 287. Los dos tipos de polvo tienen diferentes morfologías. El tipo 123 mostrado en la figura, y el tipo 287, tienen una estructura filamentosamente abierta con las partículas que tienen una superficie regular picuda. Los filamentos consisten en cadenas de 10 o más  $\mu m$  de largo con un corte transversal lineal de cerca de 1  $\mu m$ .

## REDUCCION DE UNA SOLUCION ACUOSA DE UNA SAL DE NIQUEL CON HIDROGENO BAJO PRESION.

Este proceso fue desarrollado por la Compañía Sherritt en Fort -- Saskatchewan, Alberta Canada. La solución de sal de níquel se obtiene de materiales complejos como el cobre, níquel y cobalto. Antes de que el níquel se precipite como un polvo metálico, el cobre es removido por la precipitación, como sulfuro. El níquel remanente en la solución es oxidado para convertirlo en sulfato de amoníaco. Para la precipitación de los primeros núcleos de polvo de níquel se agrega un catalizador ( sulfato ferroso ) a la solución. Los núcleos de polvo de níquel son formados a través de una reacción de la solución con hidrógeno una presión de 1400 k Pa (200 psi) 200 C. Se le permite acentarse en la autoclave y la solución estéril es decantada y una nueva hornada de solución es introducida en la autoclave. Los núcleos de polvo de níquel son suspendidos en la solución por medio de agitación y el níquel producido por la reducción de sal de níquel en la solución es precipitado sobre los núcleos existentes. Este proceso llamado densificación, es repetido muchas veces (de 15 a 30 veces ). Finalmente el polvo de níquel es removido de la autoclave, lavado y secado. Este polvo de níquel es la materia prima para el proceso Gordon Sherrith de láminas de níquel a partir del polvo.

### 3.4.5 POLVO DE ALEACION DE MAGNESTO.

En un trabajo extensivo sobre metalurgia de polvo de magnesio. La Compañía Química Dew, desarrollo un proceso de atomización especializada en el cual se producen polvos de aleación de magnesio. Una corriente vertical de aleación fundida es mandada hacia el centro de un disco que rota rápidamente. El disco lanza metal dentro de unas láminas delgadas, la cual la rompe en fragmentos. Los fragmentos se solidifican y se convierten en partículas esféricas. Una atmósfera de gas natural se usa en el proceso de atomización.

### 3.4.6 POLVO DE TUNGSTENO.

El polvo de tungsteno se usa para filamentos de lámparas incandescentes, electrodos, arcos inertes, soldadura de hidrógeno atómico, producir carburos cementados y para aleaciones de tungsteno, tales como el metal pesado (W Cu Ni y aleaciones W Ni Fe), y metales compuestos (W Cu aleaciones de plata y tungsteno). La mayor parte del polvo de tungsteno se produce por medio de reducción de óxido de tungsteno.

Dos métodos para producir polvo de tungsteno, basados en la reducción de aluro de tungsteno, han tenido solo un uso comercial limitado. Uno de estos métodos desarrollado por la Compañía Química Aleada, se basa en la deposición del vapor WF. El polvo es más burdo, y las partículas esféricas pero asperas. El polvo no puede ser compactado en frío, solo consolidado en caliente por una presión isostática caliente. El otro método está basado en la reducción del hidrógeno de los cloruros de tungsteno. Los polvos de una forma de partícula muy controlada, un tamaño de partícula y de una distribución de tamaño de la partícula están disponibles por este método. El proceso ha sido desarrollado primeramente para producir un polvo fino de tungsteno para la carburización para el carburo de tungsteno y para la producción de grados especiales de carburos cementados.

### 3.4.7 CARBURO DE TUNGSTENO, CARBURO DE TITANIO Y CARBURO DE TANTALIO.

El polvo de carburo de tungsteno es la principal materia prima para producir carburos cementados. Los aceros grado herramienta con carburos cementados contienen titanio y carburos de tantalio además de carburos de tungsteno. Hay también tipos de carburo cementados en los cuales el carburo de titanio es el principal ingrediente.

El polvo de carburo de tungsteno es generalmente manufacturado calentando una mezcla de polvo de tungsteno, y de polvo de carbono en la forma de negro de humo a una temperatura de aproximadamente 1500 C la cantidad de carbono en la mezcla es ligeramente más alta que la proporción estequiométrica en carburo de tungsteno. La mezcla de polvo puede ser ligeramente compactada y convertida en briquets, los cuales están colocados dentro de un bote de carbono. Los botes son calentados en hornos de inducción de alta frecuencia o resistencia. El producto de la reacción se rompe en trituradores y molidos en molinos de bola. El tamaño de la partícula de carburo de tungsteno depende del tamaño de polvo de tungsteno y las condiciones de carburización.

Por otra parte el polvo de tungsteno aspero, con tamaños de las partículas menores de 6 UM se convierten en un polvo de carburo de tungsteno aspero con tamaño de partícula menor de 10 UM, por carburización en 1600 C.

Al producir el carburo de titanio el propósito es obtener un producto tan balanceado en composición como sea posible. Un buen método para llevar a cabo este propósito es humedecer la mezcla Ti O<sub>2</sub> y negro de humo, completamente seca la mezcla, prensada y convertida

en compactos sostenidos en crisoles de grafito son reactivados en un horno de alta frecuencia calentado al vacío a una temperatura de 1900 a 2300 C. El carburo de titanio también puede ser producido por la reacción del polvo metálico de titanio con carbono. Los productos de reacción deben ser molidos en molinos de bola y convertidos en polvo. En el sistema TiC existe un compuesto que es una sola fase sobre el rango de 35 a algo menos de 50 % de carbono atómico. El compuesto con el punto más alto de fusión tiene una composición algo más baja del carburo de titanio balanceado. El contenido de oxígeno y carbono del carburo afecta a las propiedades de corte de los carburos cementados que contienen carburo de tantalio, este puede ser producido, ya sea por el óxido del metal de tantalio puro, o del polvo de hidruro de tantalio, con carbono, cuando el polvo metálico de tantalio se usa, la temperatura de reacción es similar a la usada para el carburo de tungsteno (aproximadamente 1500 C). El producto de reacción es molido y convertido en polvo.

### 3.5 PROCESOS DE ATOMIZACIÓN ESPECIAL.

Varios procesos nuevos de atomización han sido desarrollados en años recientes para polvos de materiales altamente aleados, los cuales son consolidados prensándolos en caliente, por prensado isostático en caliente, por extrusión caliente y forjado en caliente. Todos los procesos de atomización tienen en común que producen polvos con forma esférica o casi esférica y que las variables del proceso son cuidadosamente controladas para limitar el contenido de oxígeno de los polvos a valores de 100 ppm o menos. Estos procesos son:

- 1 La atomización con gas inerte, usado para el acero grado herramienta, para el acero inoxidable y los polvos de superaleación.
- 2 El proceso de electrodo rotativo, de la Compañía de Metales Nucleares aplicados a muchos materiales altamente aleados en particular las superaleaciones y las aleaciones de tantalio.
- 3 El proceso de atomización al vacío de los Metales Homogéneos, para polvos superaleados.

#### 4 CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE POLVO.

Antes de que el polvo metálico sea aprobado se tiene que tomar una muestra del total.

En general los métodos para el análisis químico de polvos metálicos son los mismos que los usualmente aplicados a los metales. El tamaño de la partícula, la distribución del tamaño, la forma, la estructura y la superficie específica tienen influencia en el comportamiento del polvo y en las propiedades del futuro compactado. Los métodos de medición del tamaño, distribución del tamaño y la superficie específica no son únicos para los polvos metálicos. La mayor parte de ellos han sido desarrollados para otros materiales en forma de polvo por ejemplo; cementos, pigmentos, minerales granulados etc. Solo algunos métodos que son usados para polvos metálicos durante su procesamiento dependen de la forma de la partícula, de la distribución de la forma de la partícula y de la estructura del polvo, los datos de estas propiedades pueden, algunas veces, no ser traducidas directamente en valores que caracterizan la conducta del proceso. Por esta razón un número de pruebas específicas para la conducta del procesamiento se han desarrollado.

##### 4.1 MUESTRAS DE POLVO.

Métodos estándar para el muestreo de porciones terminadas de polvo metálico han sido desarrolladas por el Comité B-9 de ASTM y el Comité de estándares MPIF.

##### 4.2 PRUEBAS QUIMICAS.

Las dos pruebas para el análisis químico de polvos metálicos que han sido estandarizados por el ASTM y el MPIF son; El estándar E-159 de ASTM el estándar 2 de MPIF. Para determinar la cantidad total de oxígeno en un polvo metálico incluyendo el oxígeno en óxidos refractarios se pueden usar las pruebas estándar para el oxígeno, en acero y otras aleaciones, las cuales están basadas en la fundición de una muestra contenida en un crisol pequeño de grafito bajo una corriente de atmósfera inerte a una temperatura de 2000 C. o más alta. El oxígeno es liberado como monóxido de carbono y medido por absorción infrarroja, la cual nos indica una diferencia de conductividad térmica.

En la prueba para el contenido de ácido insoluble las muestras de polvo de hierro son disueltas con hidrociorito y las de polvo de cobre en ácido nítrico bajo condiciones específicas.

La materia insoluble se filtra, se quema en horno y se pesa. La materia insoluble consiste en sílica y silicatos, alumina, arcilla y otros materiales refractarios que han sido introducidos en los polvos como impurezas, en la materia prima o los revestimientos del horno, combustibles, etc.

En el polvo de hierro el ácido insoluble puede también incluir carburos insolubles.

Algo similar a la prueba de pérdida de hidrogeno, la prueba para el contenido de ácido insoluble es una prueba empírica usada como indicador para la calidad del polvo.

Particularmente en el polvo de hierro, los materiales refractarios presentes son impurezas que no solamente afectan las propiedades de las partes fabricadas con él, pueden también incrementar el efecto abrasivo en las herramientas en las cuales los compactos del polvo son prensados.

5 TAMAÑO, DISTRIBUCION DEL TAMAÑO, FORMA Y ESTRUCTURA DE LA PARTICULA.

Los métodos para determinar la forma y la distribución de la forma de la partícula son

- A TAMIZACION.
- B MEDICION MICROSCOPICA.
- C MÉTODOS BASADOS EN LA LEY DE STOKES.
  - C.1 EL analizador de aire Roller.
  - C.2 El micrografo.
  - C.3 Turbidimétrico (sedígrafo) por medio de luz y rayos X.
- D CONTADOR COULTER Y ANALISIS DE PARTICULA POR OBSCURESTIMIENTO LIGERO.
- E ESPACIAMIENTO POR RAYO LASER Y EL ANALIZADOR DE LAS PARTICULAS MICROTACTO.

Para los polvos cuya distribución del tamaño de la partícula incluye primeramente tamaños en partículas más grandes de  $44 \mu\text{m}$ . La tamización es hasta el momento el método más importante. El analizador de aire Roller, el micrografo, el contador Coulter, el analizador de partícula por obscurecimiento ligero y el analizador microtacto se usan frecuentemente para tamaños de partículas de polvo más finos, por ejemplo menores de  $44 \mu\text{m}$ . más comunmente en el rango de 1,2 hasta  $50 \mu\text{m}$ . Los métodos turbidimétricos han sido desarrollados para metales refractarios y polvos compuestos por refractarios con tamaño de partícula de  $1 \mu\text{m}$ . Hasta  $10 \mu\text{m}$ .

Los métodos usados para determinar la superficie específica de polvos metálicos son:

- 1.- El medidor de subtamización Fisher que está basado en la permeametría.
- 2.- El método BET de absorción de gas.

Antes de que se discutan los detalles de los métodos para determinar el tamaño, la distribución del tamaño y la superficie específica de la partícula, se presentan unos puntos generales sobre los siguientes objetivos:

- a) Tamaño de la partícula. Se antoja está pregunta: Cual es el tamaño de esta partícula ?
- b) La distribución del tamaño de la partícula. Cómo se tabulan y se grafican las distribuciones de los tamaños de las partículas?
- c) Forma y Estructura de la partícula.
- d) Superficie específica. Cómo se relaciona el tamaño de la partícula y la distribución del tamaño en los polvos a la superficie específica y que se mide en las mediciones de la superficie específica por la permeamétrica y la absorción de gas ?.

### 5.1 TAMARO DE LA PARTICULA.

EL término, tamaño de la partícula debe ser definido. Solo para las partículas esféricas hay una diferencia única que define el tamaño de la partícula; este es el diámetro.

Para partícula de forma irregular el tamaño de la partícula dependerá del método mediante el cual se haga la medición.

En la tamización el polvo es sacudido a través de un tamiz, con aberturas cuadradas. El tamaño de la partícula se define por la apertura del tamiz que detendrá una partícula dada. Partículas como agujas con puntas en la dirección de la extensión considerablemente más grande que la apertura del tamiz puede pasar a través de dicho tamiz, si las dimensiones perpendiculares a la dirección de la extensión son más pequeñas que la apertura del tamiz En los métodos de sedimentación y Elutriación la determinación del tamaño de la partícula está basado en la ley de Stokes que da la velocidad de asentamiento V de las partículas esféricas con un diametro X y una densidad F en un medio fluido con densidad F y viscosidad N.

$$V = \frac{g(X^2)(F - F_f)}{18 N}$$

Donde g es la constante gravitacional. Las partículas que son esféricas también se asientan. Su tamaño "Stokesiano" está definido por el diámetro de una esfera de material que tiene la misma velocidad de asentamiento que una partícula de polvo irregular.

El método del contador Coulter está basado en medir el cambio en la resistencia eléctrica cuando las partículas suspendidas en un líquido conductor eléctrico pasan una por una entre los electrodos que están montados. El cambio en la resistencia produce un pulso de voltaje que es proporcional al volumen de la partícula. Los tamaños de la partícula determinados por este método son definidos por la raíz cúbica del volumen de la partícula. El alcance de estas definiciones de tamaño de la partícula dan frecuentemente resultados diferentes para el tamaño de una partícula dada, o para la distribución del tamaño de un polvo.

## 5.2 DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA.

Ya que la mayor parte de los métodos para producir polvos metálicos producen partículas de un rango de tamaño, estos polvos son adecuados para la mayor parte de las aplicaciones de la metalurgia de polvos. Muchos polvos de metal base son relativamente burdos con un tamaño máximo de la partícula de cerca de  $150 \mu\text{m}$ . o menos. Polvos de metal refractario, generalmente tienen distribuciones en el rango de 1 a  $10 \mu\text{m}$ . Las distribuciones del tamaño de las partículas pueden presentarse en forma de tablas o gráficas.

## 5.3 ESTRUCTURA Y FORMA DE LA PARTICULA.

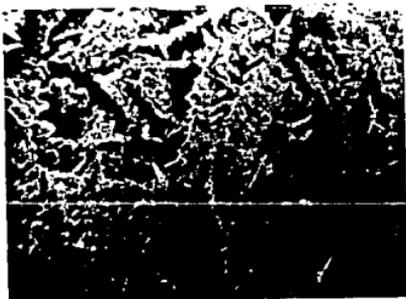
Aunque los factores de forma cuantitativa para las partículas de polvo han sido definidas, se usan poco al caracterizar los polvos metálicos. En el vocabulario usado en el estándar 3252 de la Organización Internacional de Estandares las siguientes descripciones cualitativas de las formas de las partículas han sido definidas e ilustradas por figuras.



Acicular: Forma de una aguja.



Angular : Que termina en punta o poliedros irregulares.



Déndritica: De forma de ramas.



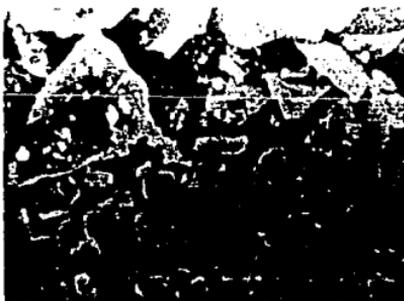
Fibrosa : Que tiene la apariencia de hilos de regular o irregular forma .



Escamosa : Con formas planas.



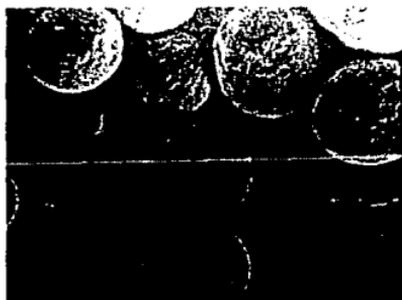
Granular : Circular y porosa pero de forma irregular.



Irregular : Carentes de simetria.



Nodular: De forma irregular pero redondeada.

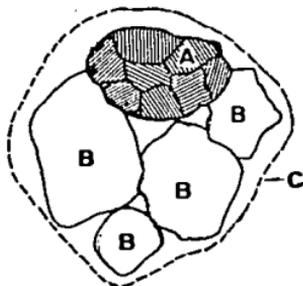


Esferoidal: Esférica.

Respecto a la estructura de la partícula, la aglomeración del polvo dentro de agregados se observa frecuentemente en los polvos metálicos refractarios finos, para determinar la distribución del tamaño de la partícula en tales polvos aglomerados se han desarrollado métodos para desaglomerar los agregados en una forma definida.

Las partículas de polvo metálico pueden ser cristales solos o pueden ser policristalinos.

La diferencia entre grano, partícula y aglomerado es ilustrado en la siguiente figura tomada del estandar 3252 de ISO



#### 5.4 SUPERFICIE ESPECIFICA.

Se define la superficie específica de la masa de polvo como la relación que hay entre su superficie y el peso, expresándose su valor en  $\text{cm}^2/\text{gramo}$ . Su determinación se realiza midiendo la velocidad de disolución del polvo de una reacción química, o bien por medidas permeabilidad, microscopia, y especialmente, por fenómenos de adsorción.

Es sabido que a temperatura constante y a una presión parcial P, un gas cubre una fracción de superficie sólida  $\theta$  del recipiente que lo encierra formando una comocapa de molécula. Simultáneamente a este proceso de adsorción, se desarrolla el proceso de un equilibrio de las moléculas de gas adsorbidas hasta alcanzarse un equilibrio dinámico al igualarse las velocidades de evaporación y de condensación superficial. En el equilibrio,

$$k_1\theta = k_2P(1-\theta)$$

de donde

$$\theta = \frac{k_2P}{k_1 + PK_2}$$

Si sustituimos la relación  $\frac{k_1}{k_2}$  por  $\alpha$ , obtendremos la ecuación

$$\theta = \frac{P}{\alpha + P}$$

que a baja presión, siendo el valor de  $P$  despreciable frente al valor de  $\alpha$ , se reduce a una relación de proporcionalidad entre  $P$  y  $\Theta$ .

Los valores experimentales de la isoterma de adsorción son las cantidades de gas adsorbidas por una cantidad de peso de adsorbente en función de la presión del gas. Como la adsorción tiene lugar hasta que se ha formado la monocapa de gas, la cantidad  $Y$  de gas adsorbido a una presión determinada  $P$  y la cantidad  $Y_m$  de gas necesaria para completar la monocapa están relacionadas por la ecuación:

$$\frac{Y}{Y_m} = \Theta$$

de manera que:

$$Y = \frac{Y_m P}{\alpha + P}$$

que puede escribirse de la forma siguiente:

$$\frac{P}{Y} = \frac{\alpha}{Y_m} + \frac{P}{Y_m}$$

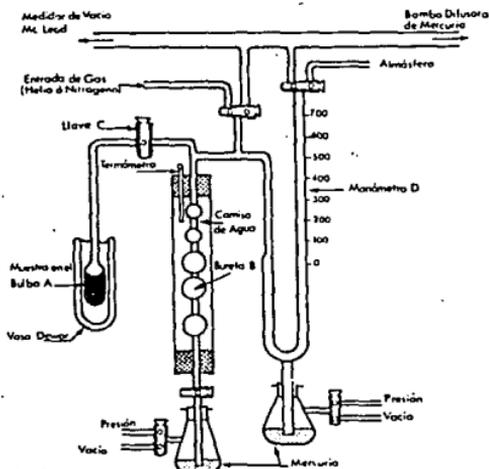
Al representar los valores  $\frac{P}{Y}$  en función de  $P$  se obtiene una recta cuya ordenada en el origen es  $\frac{\alpha}{Y_m}$  y la pendiente es la constante  $\frac{1}{Y_m}$ . A partir de la gráfica se determina  $Y$ , la cantidad de gas adsorbido.

Brunauer, Emmet y Teller, basándose en hipótesis parecidas, desarrollaron una teoría completa de la adsorción, conocida por el acrónimo BET.

El principio del método BET se basa en cubrir la superficie de la muestra de polvo a examinar con una monocapa de gas adsorbido; normalmente se emplea nitrógeno a la temperatura del nitrógeno líquido (-195 grados C), en cuyas condiciones las moléculas de gas nitrógeno forman una monocapa y el helio, que también se utiliza, no se adsorbe. Conociendo el volumen de gas adsorbido y el área cubierta por una sola molécula, se puede calcular el área superficial o la superficie específica si se expresa por unidad de masa.

El equipo básico necesario para esta determinación está representado en la figura. La muestra de polvo, previamente pesada, se coloca en el bulbo A; a continuación se desgasifica al vacío calentado a 200-300 grados C. Se determina entonces el "factor espacio muerto" (f). Seguidamente la bureta B se llena con gas helio y se miden la presión y la temperatura reinantes en su interior. Si  $V_t$  es el volumen total de helio utilizado,  $V_e$  el volumen de helio que permanece en la bureta y  $P_c$  la presión de equilibrio corregida a 0 grados C, se cumple

$$f = \frac{V_t - V_e}{P_c}$$



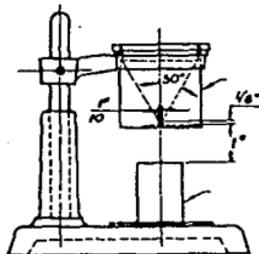
Esquema de un aparato para determinar la superficie específica de las partículas de polvo (BET).

Se elimina seguidamente el helio de la bureta, la cual se llena con nitrógeno, determinándose la presión y temperatura. Se abre la llave C, con lo que quedará parte de nitrógeno adsorbido en la muestra, y se determinan de nuevo la presión y la temperatura. La diferencia de presiones nos indica la cantidad de gas adsorbido. Incrementando el nivel del mercurio en la bureta, se efectúa una serie de lecturas a varias presiones y temperaturas. Se representan entonces gráficamente los valores  $P/V_a$  ( $P_o - P$ ) frente a  $P/P_o$ , siendo  $P$  la presión de equilibrio,  $P_o$  la presión de saturación y  $V_a$  el volumen de gas adsorbido, abteniéndose rectas y cuya pendiente es  $S$  y su ordenada en el origen  $I$ . El volumen de gas en una monocapa se calcula a partir de la ecuación BET simplificada

$$V_m = \frac{1}{S + I}$$

Para determinar la superficie específica es necesario conocer el área transversal de la molécula de nitrógeno ( $16.2 \text{ \AA}^2$ ). La superficie específica viene dada por

$$S_e = \frac{4.38 V_m}{\text{peso muestra}}$$



Si el peso de la muestra de polvo es muy pequeño comparado con el volumen total del sistema, la medida no se puede efectuar con garantías de exactitud. El criptón tiene la ventaja de adsorberse con mayor facilidad ya que tiene una presión de vapor de 3 mm de Hg a  $-195 \frac{1}{2}$  grados C. Así es posible determinar áreas tan pequeñas como  $50 \text{ cm}^2$  con buena precisión.

## 6 RECUPERACION POR MEDIO DE RECUBRIMIENTOS METALICOS

### 6.1 SU OBJETO, APARATOS Y EQUIPO.

La metalización tiene por objeto recubrir con una capa metálica un cuerpo sólido cualquiera.

Los procesos que vamos a ver se refieren principalmente al recubrimiento de piezas metálicas.

La metalización tiene los siguientes objetivos:

- a).- Cubrir una pieza metálica para aumentar su resistencia al desgaste, los golpes, la corrosión, etc.
- b).- Cubrir una pieza metálica que ha sufrido un determinado desgaste, para reponer sus condiciones originales buscando en lo general además aumentar su vida útil más allá de lo que tendría el material.
- c).- Dar un recubrimiento metálico para mejorar la apariencia exterior, dando el aspecto de un material más costoso.

En algunos casos se ha considerado como "metalización" exclusivamente al proceso de recubrimiento por medio de pistola de metalizar, sin embargo, aunque este proceso sea el más típico, vamos a incluir en la metalización los siguientes procedimientos de recubrimiento:

- 1.- Con arco eléctrico, abierto o sumergido.
- 2.- Con soplete de oxiacetileno.
- 3.- Con pistola.
  - a).- Metalización en caliente.
  - b).- Metalización en frío.
- 4.- Aplicación de pasta y fusión posterior con llama de oxiacetileno o arco eléctrico.
- 5.- Recubrimiento especial de carburo de tungsteno.
- 6.- Galvanoplastia.

En este caso solo trataremos el metalizado con pistola y polvos.

La metalización con pistola es el proceso más típico de los empleados para este tipo de trabajo, entraremos en algunos detalles adicionales sobre su aplicación y los diversos procedimientos empleados en el mismo.

Los dos métodos principales de metalizar con pistola son :

- a).- Metalización en caliente.
- b).- Metalización en frío.

El metalizado en caliente, representa un revestimiento más firmemente ligado al metal base que la metalización en frío lo que tiene una resistencia más maciza y tiene menos porosidad en la superficie que la metalización en frío. Sin embargo, está última es superior cuando el desgaste de la pieza, es por fricción y en contacto con un lubricante, pues debido a su porosidad aumenta su poder de lubricación. Cuando ésta porosidad no es conveniente, se puede evitar con selladores.

Después de hacer el recubrimiento metálico se puede hacer el acabado, para llegar a las dimensiones deseadas, por medio de un torno, de una rectificadora o un cepillo y en ocasiones con una fresadora.

Antes de entrar en detalles de la forma práctica de realizar el trabajo es conveniente hacer un análisis de los problemas generales que presenta la metalización con pistola.

La metalización con pistola permite recubrir produciendo una capa delgada y uniforme, desde unos centésimos de milímetro hasta más de 15 mm., siendo ventajosa su aplicación para casos de piezas con formas especiales. Se pueden aplicar además con pistola ciertas aleaciones que no son factibles de depositar a partir de varillas y con soldaduras de arco u oxiacetileno.

La mayor parte de las aleaciones que se encuentran en el mercado en forma de polvo están hechas a base de hierro, pero con contenidos variables de cromo, de níquel, manganeso, silicio, tungsteno molibdeno, etc. Algunas son de acero, conteniendo granos pequeños y muy duros de boruro de cromo o de carburo de tungsteno.

En este caso solo trataremos el metalizado con pistola y polvos.

La metalización con pistola es el proceso más típico de los empleados para este tipo de trabajo, entraremos en algunos detalles adicionales sobre su aplicación y los diversos procedimientos empleados en el mismo.

Los dos métodos principales de metalizar con pistola son :

- a). - Metalización en caliente.
- b). - Metalización en frío.

El metalizado en caliente, representa un revestimiento más firmemente ligado al metal base que la metalización en frío lo que tiene una resistencia más maciza y tiene menos porosidad en la superficie que la metalización en frío. Sin embargo, está última es superior cuando el desgaste de la pieza, es por fricción y en contacto con un lubricante, pues debido a su porosidad aumenta su poder de lubricación. Cuando ésta porosidad no es conveniente, se puede evitar con selladores.

Después de hacer el recubrimiento metálico se puede hacer el acabado, para llegar a las dimensiones deseadas, por medio de un torno, de una rectificadora o un cepillo y en ocasiones con una fresadora.

Antes de entrar en detalles de la forma práctica de realizar el trabajo es conveniente hacer un análisis de los problemas generales que presenta la metalización con pistola.

La metalización con pistola permite recubrir produciendo una capa delgada y uniforme, desde unos centésimos de milímetro hasta más de 15 mm., siendo ventajosa su aplicación para casos de piezas con formas especiales. Se pueden aplicar además con pistola ciertas aleaciones que no son factibles de depositar a partir de varillas y con soldaduras de arco u oxiacetileno.

La mayor parte de las aleaciones que se encuentran en el mercado en forma de polvo están hechas a base de hierro, pero con contenidos variables de cromo, de níquel, manganeso, silicio, tungsteno molibdeno, etc. Algunas son de acero, conteniendo granos pequeños y muy duros de boruro de cromo o de carburo de tungsteno.

También existen aleaciones a base de metales no ferrosos como el níquel y el cobalto, que para algunos trabajos ofrecen mayor resistencia que los aceros inoxidable.

También se utilizan muchos revestimientos a base de plomo, para proteger la superficies contra la acción de los ácidos. Para sellar la porosidad que puede quedar después del revestimiento, se utilizan cepillos de alambre o "chorro de arena", a base de balines de acero.

También, cuando se requiere proteger el acero contra la corrosión se utiliza el aluminio o el cinc, los cuales son anódicos con respecto al hierro. Podrían usarse también el magnesio o el cadmio, pero su uso es prohibitivo por su alto costo.

Para obtener, en general, una buena resistencia a la corrosión es necesario escoger una aleación de recubrimiento que resista a los ácidos, los álcalis, las sales y otras sustancias químicas. Estas condiciones no se encuentran generalmente entre los fierros y los aceros corrientes, por lo que se aplican muchas aleaciones que si las poseen, con objeto de cubrir metales como los citados, cuando vayan a trabajar en un medio corrosivo. El fierro o el acero dan la resistencia mecánica y los recubrimientos dan la resistencia a la corrosión.

El proceso de metalización exige materiales de recubrimiento de una composición excepcional, cuyas características son distintas física y químicamente de los metales que han de ser rociados.

Cada uno de los materiales es fabricado para proporcionar propiedades específicas después del rociado. El empleo de materiales con una composición idéntica a la del metal base, podría ocasionar dificultades o una falla completa en su aplicación.

Existen en el mercado una gran variedad de tipos de material para recubrimientos metálicos, en forma de polvo, que se emplearán en cada caso, según se desee dureza, fácil maquinado, resistencia al desgaste o resistencia a la corrosión.

Una forma de medir la resistencia de un recubrimiento al desgaste por fricción y al impacto es la medición de su dureza. Sin embargo, es conveniente tener en cuenta que en muchas partes de piezas de maquinaria la dureza debe mantenerse alta aun estando la pieza a alta temperatura, por ejemplo hasta el color rojo bajo y que el recubrimiento debe conservar en lo posible su dureza, aunque el enfriamiento sea rápido o lento.

Sin embargo, la dureza no debe determinar que el recubrimiento sea frágil o quebradizo. Además cuando se trate de ejes, la superficie resultante debe tener un bajo coeficiente de fricción. Por otra parte, cuando se metalizan ejes de bombas es conveniente que la superficie resulte resbaladiza, para que se desgasten menos los empaques de las mismas.

Cuando se busquen en el mercado aleaciones para metalización debe exigirse al distribuidor o fabricante que suministre datos adecuados y completos de las características de las aleaciones y de la forma de aplicarlas, así como sus usos típicos.

Además los fabricantes deben de mencionar los tamaños en que vienen sus productos, sus precios y las cantidades necesarias para cubrir una superficie con un espesor determinado o de metalización.

Para las metalizaciones por medio de polvos, en especial, se utilizan mezclas compuestas de níquel, cromo, cobre molibdeno, acero, carbono, boro, silicio y otros compuestos. El boro y el silicio al mezclarse forman borosilicatos, que hacen la función de fundentes y que al estar en estado líquido se van a la superficie, protegiendo el trabajo de metalización y dejando una capa interior libre de impurezas.

## 6.2 PREPARACION Y TECNICA DE APLICACION.

Las piezas que se van a metalizar se preparan primero adecuadamente rebajando en cierta cantidad la zona desgastada para tener una superficie de recubrimiento de por lo menos 0.8 mm., Al preparar las piezas debe tenerse especial cuidado en no hacer cortes agudos, pues esto determina la existencia fácil de puntos oxidados que pueden ocasionar a la larga la falla del recubrimiento, al producir porosidades.

Otro objeto de rebajar la parte desgastada es la de despojarla de cualquier tratamiento térmico que haya recibido.

Toda superficie por metalizar, ya sea o no metálica necesita una preparación previa antes de que se le pueda aplicar el metal adecuado para su recubrimiento. No solamente hay que limpiar la superficie, sino que además hay que hacerla áspera e irregular, o en algunos casos estriada, para facilitar la adhesión de las finas partículas del metal fundido ya que el proceso de metalización es fundamentalmente mecánico.

### 6.3 LIMPIEZA.

Si no se tiene una buena limpieza de la pieza que se va metalizar, nunca se tendrá un buen trabajo de recubrimiento.

Todos los productos grasos tienen que quitarse por medio de algún solvente apropiado, para cualquier tipo de pieza por metalizar, pero en aquellos casos en que estuvieran empapados en aceite y grasa será generalmente necesario quemar dichos productos, ya sea con soplete o en un horno.

El estriado de la base se tiene que hacer en seco, ya que si se usaran líquidos para la herramienta de corte, éstos tenderían a manchar la superficie.

Las piezas coladas deberán calentarse a una temperatura de 200 grados C. a 300 grados C. para que al aceite salga y se carbonice. En algunos casos es suficiente con aplicar a las piezas un chorro de arena.

A pesar del cuidado que se tenga, en cualquier pieza en general surgirá una mancha de aceite después de que se haya hecho todo o parte del rociado, a causa de calor de la operación. En tales condiciones será necesario quitar la capa de recubrimiento y limpiar completamente de nuevo, para volver a preparar la pieza.

### 6.4 TECNICA DE REFUERZO.

El metal rociado puede hacerse más adherente a cualquier metal base, por uno de los tres métodos siguientes :

- a).- Calentando la superficie.
- b).- Haciéndola áspera.
- c).- Rociando un metal base, para que sirva como agente de liga.

a).- Calentando la superficie.- Consiste en calentar la superficie a alta temperatura. Este procedimiento es poco usado cuando se trabajan piezas de maquinaria debido a que se tienen problemas de alabeo y oxidación de la superficie.

b).- Haciendo áspera la superficie.- Se usan frecuentemente los siguientes métodos.

Soplado de Arena.- Este método se ha venido usando desde hace muchos años para limpiar y preparar superficies metálicas, para metalizarlas. Para esto requiere una arena sílica angular que está compuesta de un cincuenta por ciento de arena de malla 18 y un 50 % de arena malla 25. Se emplea aire a presión como elemento para proyectar la arena hacia la superficie que se trata de limpiar y reparar.

Soplando con Limadura de Acero.- La limadura de acero se puede utilizar para preparar partes mecánicas, que van a estar sujetas a movimientos y para superficies grandes, cuando está se pueda recuperar, ya que se puede emplear unas sesenta veces y en cambio la arena sílica solamente una vez.

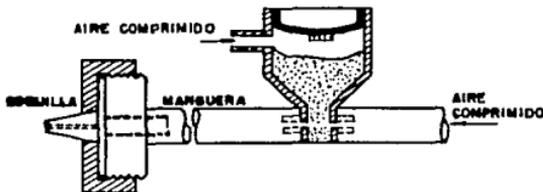
La granilla o limadura debe ser angular y los granos adecuados. Este procedimiento es igual al anterior y se hace por medio de aire comprimido, a una presión de unos 7 kg/cm<sup>2</sup>, para proyectar las partículas contra el metal base.

El sopleteo de estos granos de acero debe hacerse siempre con una inclinación de treinta o cuarenta y cinco grado, con respecto al plano de la pieza por preparar. Cuando la limadura o granilla de acero se humedece no se debe volver a emplear ya que se oxida y produce una mala preparación. Por esto es necesario guardarla en un lugar seco.

Soplado con óxido de aluminio.- Este grano se puede utilizar una y mil veces, sin que se achate o redondee y ya no sirva para otra preparación. Lo único que hay que cuidar es que al hacer el soplado se recoja todo el grano, para que no se pierda si así sucede este método se convierte en un método muy costoso y antieconómico.

El óxido de aluminio tiene además la ventaja de que no se humedece y de que rechaza el aceite. El soplado de este material se efectúa con una presión máxima de 5 kg/cm<sup>2</sup>, ya que si se trabaja a mayor presión el grano se pulveriza rápidamente.

En la siguiente figura se muestra la forma general de una pistola para chorro de arena y una máquina de sopleteo.



c).- Rociando un Metal base.- Para dar un refuerzo inicial de adherencia se usa el molibdeno, es un metal que puede ser rociado directamente sobre aceros lisos y otros muchos materiales, sin preparación mecánica previa de la superficie y únicamente limpiándola primero perfectamente.

Antes de aplicar este material es necesario, sin embargo, precalentar la pieza por metalizar de 50 a 150 C.

Este material no es recomendable para preparar la metalización de piezas donde vaya a haber golpes a altas presiones concentradas, como por ejemplo, rodillos de laminación, engranes, etc.

El molibdeno se usa generalmente como capa de adherencia para la aplicación ulterior de otras capas metálicas por rociar, pero en espesores de 0.05 mm., a 0.07 mm., se puede usar como material único. Si aplicación debe hacerse en dirección perpendicular al plano de la pieza.

El aspecto exterior de las capas hechas con alambre de molibdeno es semejante al del acero rociado, aunque es un poco más fino en su textura, ofreciendo una capa de adherencia perfecta, para la aplicación de todos los metales rociados.

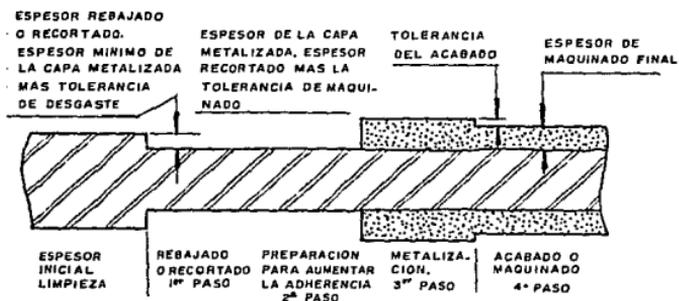
El uso de este material es muy satisfactorio sobre todos los aceros comunes, los inoxidables y las aplicaciones de aluminio. Proporciona también una adherencia bastante buena para el plomo, estaño y zinc; sin embargo, su adherencia no es adecuada para el cobre, bronce y latón.

#### 6.5 PREPARACION DE EJES Y OTRAS PIEZAS DE REVOLUCION.

Como ya indicamos anteriormente las piezas desgastadas se recortan o rebajan en la medida adecuada para obtener el espacio necesario para el metal reciado.

En el esquema siguiente están indicados en un solo dibujo, los diferentes pasos que se realizan en el trabajo de metalización.

Al dar el recubrimiento es necesario añadir una determinada cantidad para dar un diámetro mayor del necesario, en previsión de contracciones y para que el eje dentro de la tolerancia tenga una superficie adicional de desgaste, que le permita una mayor vida útil.

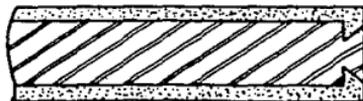


Cuando se tenga que metalizar un eje que este gastado de manera irregular, se ahorrará tiempo y metal, escalonando la parte rebajada, teniendo cuidado en la preparación de cada escalón, para evitar el costo adicional ocasionado al aplicar más metal del que se necesita, como se ve en la siguiente figura.

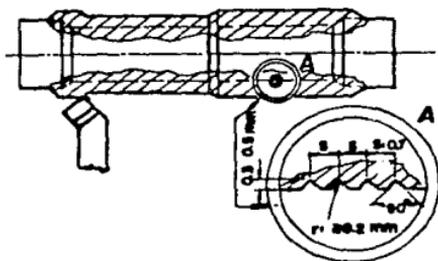


Rebajado o Recortado Escalonado

La parte rebajada no se debe extender generalmente hasta el extremo del árbol. En caso de que esto no sea posible, porque se hubiera desgastado de ese extremo, hay que efectuar en éste una cola de milano, para luego metalizar, como se ven en la siguiente figura.



La preparación de la superficie a recubrir, requiere el torneado filotes, preferentemente ásperos, destinados a aumentar la superficie de adherencia como se ve en la figura.



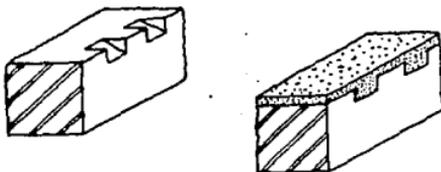
La superficie entre ranura y ranura debe hacerse áspera, lo cual se logra dando una última pasada con la herramienta rotatoria, aplicada muy ligeramente contra el eje y con una velocidad superior de rotación del husillo.

#### 6.6 PIEZAS CON SUPERFICIES PLANAS.

Las superficies planas gastadas pueden repararse con metal rociado, pero teniendo especial cuidado de cortar colas de milano o simples entalladuras en los bordes para evitar que al contraerse el metal se desprenda de esas partes.

La superficie plana también deberá prepararse adecuadamente antes de aplicar el metalizado, por medio de las técnicas ya descritas con partículas abrasivas, con recubrimiento previo de molibdeno o algún otro procedimiento adecuado.

En la figura siguiente se muestran entalladuras antes y después de ponerse el recubrimiento.



Quando se requiera recubrir una pieza de acero tratado térmicamente es necesario, en general, darle otro tratamiento térmico posterior después de aplicar el revestimiento. Esto es desde luego, indispensable, cuando la temperatura de fusión, del metal de metalización es superior o cercano a la del tratamiento térmico del acero.

## 6.7 TECNICA DEL ROCIADO.

La textura del metal rociado es totalmente distinta de la de los materiales laminados o colados. Las partículas metálicas se derriten en la flama de la pistola de metalizar y son empujadas contra la superficie, por medio de aire comprimido o de un gas auxiliar, se aplasta contra ella y se enfrían casi instantáneamente. Así se forma una estructura ligeramente porosa, debida a las pequeñas partículas de metal que están aplastadas y unidas unas con otras.

Esta estructura excepcional produce un cambio en las propiedades físicas del metal. El metal rociado tiene unas características de alargamiento, ductibilidad y resistencia a la tracción marcadamente menores que las del mismo metal colado o laminado. Sin embargo, la resistencia al desgaste de este metal rociado es mucho mayor que la del mismo metal cuando está forjado o colado.

La técnica de metalización tiene también sus limitaciones, como cualquier otro método industrial y no debe emplearse para elementos en que el metal rociado tenga que ser sometido a choques violentos, a un golpeteo continuo en el mismo punto, o a esfuerzos muy intensos en los bordes. Sin embargo, la técnica del rociado es completamente satisfactoria para las superficies rozantes, como en los cojinetes y apoyos de un cigüeñal.

Las pruebas realizadas en el laboratorio y las estadísticas del trabajo práctico han demostrado que los cojinetes sometidos a metalización duran de dos a cinco veces más que aquellos que no lo fueron.

El tiempo transcurrido entre la preparación de la superficie y el rociado debe de ser lo más corto posible, esto no es tan importante cuando el material que se desea recubrir no es metálico,

pero cuando se trata de una base metálica, se debe rociar antes de que se formen óxidos o productos de corrosión sobre la superficie, ya que éstos se oponen a una buena adherencia entre el metal base y el metal rociado.

Si el metal base es hierro o acero, se debe tener especial cuidado, ya que estos metales se oxidan fácilmente en un medio húmedo.

Sobre este punto no se pueden dar reglas exactas y rígidas, ya que en los medios se debe de rociar el hierro o el acero dentro de un lapso de dos o tres horas, después de que se ha terminado de preparar el metal base. Si la atmósfera es seca, se puede hacer el, rociado en las siguientes veinticuatro horas, sin que se afecte la dureza del revestimiento.

Es muy importante la forma en que se maneja la pistola de metalizar, para los resultados que se obtengan. Para evitar los anillos duros que se forman en los cambios de sección de los ejes, hay que rociar manualmente los rincones, primero, antes de rociar el resto del eje.

El procedimiento consiste en concentrar el rociado en los extremos de la parte rebajada o recortada, cuando se empieza el rociado, a fin de que se llenen parcialmente y se redondeen las esquinas. Mientras se trabaja en las esquinas hay que pasar la pistola rápida y frecuentemente sobre el resto de la superficie, con el fin de que la adherencia no se perjudique con la acumulación de polvo sobre la superficie preparada.

El rociado no debe ser muy pronunciado en las esquinas pues de lo contrario se producirá un sobrecalentamiento. Una vez que los rincones hayan sido cubiertos con una faja completa, se pondrá la pistola en el portaherramientas del torno y se alimentará continuamente para revestir la pieza.

Se debe poner especial cuidado en el ajuste de la flama, para que reúna las condiciones adecuadas.

Para la obtención de buenos recubrimientos no es suficiente con seleccionar adecuadamente el procedimiento a seguir y el tipo de material. Además de cumplir con las condiciones citadas es necesario tener cuidado de otros factores, que son los siguientes:

- a).- Proporción de gas combustible y oxígeno.
- b).- Presión de los gases empleados en el rociado.
- c).- Distancia entre la boquilla de la pistola y la superficie a metalizar.
- d).- Angulo de incidencia con respecto, a la superficie por metalizar.
- e).- Preparación del metal base.

Todos estos factores afectan fundamentalmente a la dureza final del recubrimiento.

- a).- Proporción de gas combustible y oxígeno.

Una mezcla normal de gas combustible y oxígeno en la flama utilizada para fundir el metal de aportación, ocasiona variaciones en las propiedades físicas del metal rociado.

Por esto es recomendable utilizar en las instalaciones de metalización medidores de flujos de gas, a fin de reducir las variaciones del metal rociado a un mínimo, siguiendo las instrucciones del fabricante al pie de la letra.

En general, al aumentar la proporción de oxígeno con respecto al gas combustible, se tiene un aumento de la dureza del metal rociado aunque en algunas aleaciones la dureza aumenta al ir aumentando la proporción de oxígeno, pero disminuye después a medida que la proporción aumenta cada vez más.

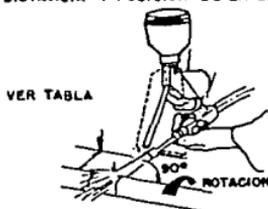
- b).- Presión de los gases empleados en el rociado.

Cuando se usan altas presiones en los gases, también se aumenta la dureza de las capas rociadas, siendo este efecto más marcado en los aceros con bajo contenido de carbono.

c). - Distancia entre la pistola y la Superficie a metalizar.

La distancia entre la pieza por metalizar y la boquilla de la pistola también modifica la dureza del rociado, en una forma semejante a la indicada al cambiar la presión de gases, aunque en este caso la diferencia es menor.

**DISTANCIA Y POSICION DE LA LLAMA HACIA LA PIEZA**



La distanciaa entre la boquilla, se entre la llama y la pieza, podrá extraerse de la siguiente tabla. A fin de que las partículas metálicas se encuentren con la temperatura óptima sobre la pieza, deberán atenderse estas indicaciones.

Cuerpo Cilindrico mm.	Presión oxígeno bar	Presión acetileno bar	Distancia a la pieza mm.
6 - 30	2.5	0.2 - 0.5	130 - 150
20 - 80	2.5 - 3.0	0.2 - 0.5	140 - 160
60 - 100	2.5 - 3.5	0.2 - 0.5	150 - 170

d). - Angulo de incidencia con respecto a la superficie por metalizar.

El ángulo de incidencia con la superficie tiene un efecto muy pronunciado en las propiedades físicas del recubrimiento y en el tamaño del grano del metal rociado, lo más recomendable es rociar perpendicularmente a la pieza que se está recubriendo, pudiéndose, sin embargo, rociar hasta un ángulo de 45 grados, ya que en un ángulo menor que éste modificara la estructura del revestimiento, apareciendo una sombra sobre el mismo, porque las partículas forman un conjunto no homogéneo. Esto da lugar a una estructura muy porosa y ondulada.

e). - Preparación del metal base.

El calentamiento previo de las piezas también aumenta la dureza del revestimiento. Este calentamiento previo puede realizarse o no, según convenga al trabajo que se esté ejecutando.

En algunos casos, por no permitir la pieza un calentamiento, por algún motivo, puede ser necesario emplear un chorro de aire frío en la parte posterior de la misma, para enfriarla. Sin embargo, cuando es posible, como es el caso general, dicho precalentamiento es conveniente, porque permite quitar toda la humedad y causa además una cierta dilatación de la pieza, que como hemos dicho, mejora la adherencia del metal rociado al metal base.

## 6.8 PROCEDIMIENTOS DE RECUBRIMIENTO METALICO.

a). - Metalización en caliente.

En este método es necesario hacer el trabajo en dos etapas.

La primera consiste en aplicar el recubrimiento mediante un pistola de metalizar y posteriormente fundir el metal aplicado por medio de un soplete, en un horno o con calentamiento por inducción.

La pistola con que se aplica el polvo tiene un depósito y un carburador para ajustar la mezcla de aire con el polvo.

La aleación se aplica con una pistola, pero la fusión no se produce en ésta, sino con el soplete separado. Puede también producirse la fusión en un horno o con calentamiento por la inducción. Para metalizar piezas cilíndricas se puede trabajar sujetándolas en un torno y haciéndolas girar colocando la pistola en el portaherramientas de la máquina y haciendo trabajar al torno como si fuera a producir la cuerda de un tornillo.

Como se ha indicado anteriormente es muy importante la preparación previa del metal base antes de recubrirlo.

Al realizar el trabajo debe ponerse material en exceso en previsión de contracciones posteriores y para permitir el maquinado final.

Cuando se trabaja piezas en el torno, una vez que se han recubierto en la cantidad deseada se procede a fundir el metal de aportación con el soplete debe de moverse sobre la pieza hacia atrás a adelante a medida que ésta gira en el torno, con objeto de calentarla uniformemente. Entonces se concentra la flama del soplete sobre un extremo de la pieza hasta que ésta toma un aspecto transparente, moviéndose la flama lentamente a lo largo de la pieza fundiéndose la aleación sobre el metal.

Se procede entonces con guantes de asbesto a tomar la pieza y ponerla en una caja que contenga material aislante en polvo. La caja debe de ser de material refractario, llena de asbesto en polvo o de arena y con una capa de lámina de asbesto. El material se enfriará lentamente dentro de la caja durante la noche.

Si no se toman las precauciones debidas y el enfriamiento no se hace lentamente, la aleación caliente del recubrimiento se contraerá más rápidamente que la parte inferior de la pieza y se agrietará o se desprenderá.

#### b).- Metalización en Frío.

En este caso el material que se deposita se funde completamente desde la primera operación, sin necesidad de un calentamiento posterior.

Este método consiste en lanzar la aleación en polvo, mezclada con el fundente adecuado, a través de un soplete de oxiacetileno. El

movimiento del polvo se produce por medio, de un gas auxiliar a presión que puede ser, por ejemplo, bióxido de carbono o nitrógeno. La temperatura de la flama de oxiacetilino puede ajustarse, para asegurar una buena fusión y adherencia de la aleación. Es un proceso muy similar al de metalización con oxiacetileno, siendo necesario preparar y precalentar las piezas en forma parecida.

Con este procedimiento se obtienen recubrimientos desde 0.25 a 4.00 mm.

#### 6.9 RECUBRIMIENTOS ESPECIALES DE CARBURO DE TUNGSTENO.

Se utilizan en pulverizadoras de carbón, en aquellas partes especialmente sometidas a impacto y abrasión. Estos recubrimientos vienen en forma de pastillas las cuales se limpian perfectamente para quitar óxidos y otras partículas extrañas en chorro de arena.

Se coloca en el lugar donde va la pastilla en el metal base, se adiciona, suficiente fundente con una brocha, después de haber limpiado el lugar con tetracloruro de carbono. Sobre el lugar perfectamente limpio se colocan tiras de soldadura de plata y encima una malla fina de cobre y otra tira de soldadura de plata, cubriendo todo con un fundete especial.

Arriba se colocan pastillas de carburo de tungsteno y se calienta el conjunto hasta 730 ó 760 grados con un quemador aire propano, para obtener la fusión del conjunto en una sola pieza de gran resistencia.

Estas piezas recubiertas se atornillan después en las ruedas del pulverizador y constituyen las muelas del mismo.

#### 6.10 EVALUACION DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO.

Antes de escoger un proceso apropiado para un trabajo en particular, necesita considerar las condiciones de servicio, incluyendo factores relacionados con el trabajo, la preparación de la superficie y el acabado.

**Factores Generales :**

Procesos disponibles.

Materiales de revestimiento.  
(Aleaciones)

Cantidad de revestimiento requerida.

Áreas que van a protegerse.

Cantidades necesarias de las aleaciones.

Ubicación del trabajo.

Mano de obra disponible.

Posibilidades de mecanización.

Servicios disponibles.

Costo.

**Factores del trabajo :**

Tamaño, peso y configuración de la pieza.

Sitio y accesibilidad del área de trabajo.

Limpieza de la superficie.

Limitaciones de las áreas adyacentes.

Dureza y temperatura de fusión del sustrato.

Maquinabilidad.

Resistencia del componente a la temperatura.

**Preparación de la Superficie :**

Métodos aplicables.

Equipos disponibles.

Tolerancias.

**Factores Generales :**

Procesos disponibles.  
Materiales de revestimiento.  
(Aleaciones)  
Cantidad de revestimiento requerida.  
Áreas que van a protegerse.  
Cantidades necesarias de las aleaciones.  
Ubicación del trabajo.  
Mano de obra disponible.  
Posibilidades de mecanización.  
Servicios disponibles.  
Costo.

**Factores del trabajo :**

Tamaño, peso y configuración de la pieza.  
Sitio y accesibilidad del área de trabajo.  
Limpieza de la superficie.  
Limitaciones de las áreas adyacentes.  
Dureza y temperatura de fusión del sustrato.  
Maquinabilidad.  
Resistencia del componente a la temperatura.

**Preparación de la Superficie :**

Métodos aplicables.  
Equipos disponibles.  
Tolerancias.

Requisitos de registro y puntos de referencia.

Necesidad de rebaje.

Posibilidades de precortado.

Acabado :

Función de la superficie.

Acabado requerido.

Exactitud dimensional y límite de deformación.

Equipos disponibles.

Actividad post-alisamiento.

Otros Factores :

Aplicación (tipo de pieza).

Facilidades disponibles (tales como procesos y equipos de maquinabilidad).

Pericia del Técnico.

Para diagnosticar un problema de desgaste, el soldador de mantenimiento tiene que examinar el material que va a trabajarse, el modo de desgaste, la tasa de desgaste y el ambiente :

Carácter del material en que va a trabajarse, su dureza, tamaño y textura (pegajosa, pulverulenta).

Modo de desgaste.- transferencia de metal producida por colisión o agarrotamiento, arañazo y escopleado; deformación del material, tal como indentación; productos de la corrosión, tales como óxidos o escamadura.

Tasa de desgaste.- velocidades relativas; ángulo de colisión; empaquetadura y humedad; flexura y vibración; y otras cargas.

Ambiente.- temperatura, humedad y agentes químicos corrosivos.

Una vez que el problema ha sido diagnosticado, puede seleccionarse un proceso y la aleación apropiada para un trabajo particular, el técnico necesita considerar las condiciones de servicio, incluyendo factores relacionados con el trabajo, la preparación de la superficie y el acabado.

Una vez que se han identificado todos los factores pertinentes, el paso siguiente es seleccionar el proceso apropiado de metalización con soplete. Los procesos manuales de soldadura y revestimiento se usan más comunmente para soldadura de mantenimiento, pero otros procesos son apropiados para algunas aplicaciones.

#### SOLDADURA DE UN ARCO DE METAL Y GAS INERTE.

(SMAW, de las siglas en inglés).- Esta forma de soldadura, un método para todas las posiciones, utiliza electrodos en barras y maneja cualquier tamaño de pieza desgastada de 1/8 a 20 pulg. (3.2 a 508 mm.) de espesor. Son aplicables la mayoría de los metales y aleaciones. El espesor usual de deposición por pase es 1/8 pulg. (3.2 mm.) y la tasa de deposición, de 2 a 8 lb/hr (0.9 a 3.6 kg/hr).

#### SOLDADURA DE ARCO CON ALMA DE FUNDETE.

(FCAW, de las siglas en inglés), de alambre continuo- Este metodo utiliza alambres tubulares continuos de 7/64 o 3/32 pulg. (2.5 ó 2.4 mm. ), mayormente en posición plana y por lo general en metales de base ferrosa o algunas veces, de base de níquel especial. El espesor mínimo de la deposición de 1/8 pulg. (3.2 mm.) y la tasa de deposición, de 8 a 18 lb/hr (3.5 a 8.1 kg/hr). El sistema es semiautomatizado por tener un alimentador de alambre que alimenta el electrodo.

Una variación del proceso FCAW utiliza alambres de 0.045 y 1/16 pulg. (1.15 y 1.18 mm.). Los componentes reparados son de tamaño mediano y varían de 1/4 a 4 pulg. (6.4 a 102 mm) de espesor.

Con mayor frecuencia, son ferrosos tanto el metal de base como la aleación. El espesor mínimo de la deposición es 1/8 pulg. (1.6 mm) y la tasa de deposición, de 4 a 6 lb/hr (1.8 a 2.7 kg/hr). Este proceso es también semiautomatizado.

#### SOLDADURA DE ARCO CON TUNGSTENO EN ATMOSFERA INERTE.

(GTAW, de las siglas en inglés) - La soldadura GTAW, un proceso también para todas las posiciones, utiliza varilla de metal de aporte para soldar piezas de cualquier tamaño teniendo un espesor de 1/16 a 4 pulg. (1.6 a 102 mm). Son aceptables casi todos los metales de base y aleaciones. El espesor mínimo de la deposición es 1/16 pulg. (1.6 mm.) y la tasa de deposición, 0.5 a 2 lb/hr (0.23 a 9 kg/hr).

#### SOLDADURA OXIACETILENICA.

(COFW, de las siglas en inglés) - este método de soldadura de gas o soplete para todas las posiciones usa varillas de metal de aportación y resulta particularmente apropiado para componentes más pequeños con un espesor de 1/8 a 1/2 pulg. (3.2 a 13 mm.). Este proceso de alta exigencia de calor es de aplicabilidad a aleaciones de base limitada primordialmente a metales ferrosos y algunos de base especial como de base de cobalto y níquel. El espesor mínimo de la deposición es 1/16 pulg. (1.6 mm.) y la tasa de deposición, 0.5 a 2 lb/hr (0.23 a 9 kg/hr).

#### SOLDADURA CON METAL DE POLVO.

La soldadura con metal en polvo es un proceso de metalización soplete que utiliza una llama oxiacetilénica y una aleación de aporte de metal pulverizado. El proceso ha sido formulado para usarse en posiciones planas y verticales, prestandose primordialmente para pequeños componentes de 1/16 a 4 pulg. (1.6 a 102 mm.) de espesor. La demanda de calor es alta. Se usa con metales de base ferrosa para aplicar aleaciones de níquel. El espesor mínimo de la deposición es 0.003 pulg. (0.08 mm.), y la tasa de deposición, 0.5 a 2 lb/hr (0.23 a 9 kg/hr.).

#### PROCESO EN FRIO.

Este proceso de metalización con soplete utiliza aleaciones en polvo para revestir mayormente piezas circulares fáciles de manipular. No hay límite en cuanto al espesor de las piezas. La demanda de calor es baja, permaneciendo la pieza a menos de 500 grados F (260 grados C). Con este método que se usa aleaciones especialmente perfeccionadas de base de níquel, hierro y cobre, pueden trabajarse todos los metales de base, excepto de cobre, puro así como aleaciones de óxidos metálicos (cerámicos). El espesor mínimo de la deposición es 0.010 pulg. (0.25 mm) y la tasa de deposición, de 4 a 20 lb/hr (1.8 a 9 kg/hr). El proceso puede automatizarse.

## PROCESO EN CALIENTE ROCIAR Y FUNDIR.

El proceso, formulado primordialmente para la reparación de piezas circulares, sirve con mucha facilidad para componentes de hasta 6 pulg. (152 mm) de diámetro. La demanda de calor es muy alta. Los metales de base incluyen aceros al carbono, algunos aceros de baja aleación y aceros de baja aleación y aceros inoxidables. Se usan aleaciones especiales a base de níquel para hacer la reparación.

### SELECCION DE MATERIAL.

Después de haber diagnosticado exactamente el problema de desgaste evaluando las condiciones de servicio y escogido el proceso de soldadura, hay que escoger el material a base de estas condiciones:

**Ambiente de Operación.**— tipos de desgaste, temperaturas, problemas de corrosión, superficie de acoplamiento, material adyacente y lubricación.

**Propiedades Requeridas.**— resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, resistencia a la tracción, resistencia a los impactos, resistencia a ciclos térmicos, gama útil de temperaturas y maquinabilidad.

**Substrato.**— composición, tratamiento anteriores de la superficie, esfuerzos de la pieza, condiciones metalúrgicas dureza superficial, expansión térmica, tamaño y configuración, condiciones de la superficie y sensibilidad a la temperatura.

Para cualquier trabajo en particular, el soldador necesita formular su propia lista de verificación de las condiciones esenciales que debe examinar.

Primero, debe preguntar; ¿Cuál es la forma de la pieza (pieza fundida forjada, etc.), el tamaño de la pieza, y la función (bomba, cajete engranajes, etc.)?

Después, él debe de terminar el metal base y su composición (acero, hierro colado, acero inoxidable, níquel, aluminio, cobre, latón, bronce.).

Entonces, él necesita definir el ambiente de servicio. Lo cual incluye el mecanismo de desgaste y otras condiciones que la pieza tien que resistir (abrasión, impactos, corrosión, cavitación, erosión, fricción, fatiga etc.).

Finalmente, él, estará listo para determinar el proceso que debe usarse y la cantidad de aumento de la aleación requerido para el trabajo.

POLVOS METALICOS PARA REVESTIMIENTO EN FRIO.

Composición analítica	Dureza	Regulación de llama	Campo de Aplicación
Al, Ni.	aprox 65 HRB	neutral	Aporte para la primera capa, base de cualquier recubrimiento.
Cr, Ni, Mo, Fe.	aprox 85 HRB	neutral	Para piezas expuestas a desgaste por roce, por ejemplo ejes de frenos. Mecanizable con herramientas de corte.
Cr, Si, B, Al, Ni.	aprox 38 HRB	neutral	Para piezas sometidas a fuerte desgaste por rozamiento, por ejemplo árboles de levas, ejes, cigueñales.
Al, Fe, Cu	aprox 75 HRB	ligero exceso de oxígeno.	Aporte aleación bronce antifricción para ejes, rodillos, pivotes, casquillos, vástagos de válvulas, etc.
C, B, Si, Cr, W, Al, Ni.	aprox 65 HRB	neutral	Para revestimiento de alta dureza en capas delgadas, superficies amplias en chapas finas. Altas resistencias al desgaste sobre ejes. Mecanizable p. amolado.

C, B, Si, Fe, Cr, Al, Ni.	aprox 90 HRB	neutral	Aleación para recubrimiento, mecanizable con herramienta de corte, resistente a corrosión. Especial para piezas con alto contenido de níquel.
C, Mn, Fe.	aprox 90 HRB	neutral	Para capas de relleno y aportes de amortiguación en piezas grandes, p. ejemplo muñones, carcasas de cojinetes. Mecanizable con herramientas de corte.
c, Cr, Mo, Fe.	aprox 94 HRB	neutral	Aleación inoxidable de acero al Cr, mecanizable con herramientas de corte. Para cojinetes, Vástagos, carcasas ejes etc. Buenas condiciones antrifricciones.

POLVOS METALICOS PARA LOS REVESTIMIENTOS EN CALIENTE.

Composición analítica	Dureza	Punto de Fusión C	Regulación de llama	Campo de Aplicación.
C, B, Si, Cr, Fe, Ni.	38-42 HRC	aprox 1100	neutral	Cuerpos cilindricos ejes, etc Alta, resistencia a la oxidación, temperatura y corrosión. Especial para la industria de vidrio.

C, B, Si, Cr, Fe, Ni.	42-46 HRC	aprox 1000	neutral	Cuerpos cilin- dricos, ejes, es- pigas, niveles, casquillos. Em- pleo en matrice ria.
C, B, Si, Cr, Fe, Ni.	49-52 HRC	aprox 1290	neutral	Cuerpos cilin- dricos niveles espigas, y ma- trices en la - industria del vidrio. Resis- tente a desgas- te abrasivo.
C, B, Si, Cr, Ni, Mo, Co.	47-53 HRC	1260.1310	ligeros ex- ceso de ace- tileno.	Pistones, an- illos de desgag- tes, superfi- cies en piezas para cierre y deslizamiento. Alta resisten- cia contra deg- gaste, corro- sion o impacto.
C, B, Si, Cr, Fe, Ni.	55-60 HRC	aprox 1070	neutral	Cuerpos cilin- dricos, piezas de mezcladoras y afiliadores. Elevada resis- tencia al des- gaste, reduci- do desgaste p. rozamiento.
C, B, Si, Cr, Ni, WC, Co.	61-66 HRC	1230-1280	ligero ex- ceso de ace- tileno.	Mandriles de - trefila herra- mientas para - trabajar en ca- liente, cuerpos cilindricos a elevada abra- sion y tempera- tura expuesto a roce por ma- teriales aspe- ros.

C,B,Si,Cr,Fe 55-60 HRC aprox 1080 neutral  
Ni,Wc.

Mandriles de empuje, cuerpos cilindricos sometidos a elevada abrasión y reducida exigencia por impactos. Tenaz duro resistencia a la abrasión.

## 6.11 CASOS PRACTICOS.

Nombre de la pieza: Cigüeñal (de un Telar)

Metal base : Hierro Colado.

Descripción del problema :

La superficie del cigüeñal se llega a gastar por presión y por falta de lubricación durante la operación normal.

Factores del paro del trabajo :

El telar deja de trabajar aproximadamente una hora para reemplazar el cigüeñal.

Producto y proceso seleccionado :

Proceso en frío  
Exceso de Oz

Justificación para la solución recomendada :

Se usa un polvo especial de Aluminio y Bronce. Estos recubrimientos excepcionalmente limpios y suaves tienen un bajo coeficiente de fricción y los depósitos trabajan endureciéndose durante el servicio.

Preparación de la pieza de trabajo :

Desengrase el cigüeñal, coloque en un torno. Luego rebaje el área gastada 0.015". Filetee aproximadamente 0.0075 de profundo. Gire el cigüeñal a una velocidad de 160 RPM. Proteja las áreas adyacentes con una laca protectora.

Comentarios sobre procedimientos y técnicas :

Después de precalentar y teniendo cuidado de mantener la distancia de trabajo de 8", deposite 0.005" de polvo base. Luego se coloca el polvo de aluminio y bronce teniendo cuidado de aumentar solo ligeramente un poco más de la medida para reducir al terminado requerido. Termine maquinando con una herramienta de carburo.

NOMBRE DE LA PIEZA A REPARAR : Cigüeñal (de un Telar)

altura	Largo	ancho	peso	Diametro	Espesor de la pared Maximo      Minimo
--	92 1/2"	--	60 lbs	1-3/4"	- - - - -

Factor prolongación vida LPF	La pieza puede ser reparada.	No. de años que se ha prolongado la vida de -	Costo del Inventario
200	5	10	29
-----%	-----veces	-----años	-----%

**ANALISIS DE COSTOS Y AHORROS**

F A C T O R		Metodo actual		Recomendación I. E. C	
Costo de la pieza Disposición pieza		\$ 97	--	----	-----
Material de soldadura		- - - - -		\$ 4.00	
Mano de Obra Soldado		- - - - -		\$ 2.50	
Mano de Obra (I. E. Preparación acabada)		- - - - -		\$ 4.50	
Total costo de la pieza		\$ 97		\$ 11.00	
Desensamblado y Reensamblado		\$ 12		\$ 12	
Tiempo de Paro		\$ 60		\$ 60	
Costo unitario total		\$ 169		\$ 83	
No. de piezas usadas anualmente	No. de piezas en inventario	150	12	75	12
Costo total	Valor total del INVENTARIO	\$ 25.350	\$ 1.164	\$ 6.225	\$ 132
		Reducción del Costo		\$ 19.125	\$ 1.032 X 29 %
		Reducción costo Inventario		\$ 1.331	\$ 299
		Reducción costo total		\$ 20.456	

NOTA: Los costos estan indicados en U. S. D.

Nombre de la pieza : Buje Seco

Metal Base : Hierro Fundido, Gris

Descripción del Problema :

El área de soporte se desgasta causando pérdida de eficiencia y haciendo necesario el reemplazo.

Factores del Paro del trabajo :

Presión / Fricción  
Abrasión.

Justificación para la Solución Recomendada :

Se usa un polvo altamente aleado de uso general diseñado para producir recubrimientos con resistencia a la fricción.

Preparación de la Pieza de Trabajo :

Mecanice el área gastada 0.050", girando la pieza a 75 RPM. Cubra las áreas adyacentes con laca protectora.

Comentarios Sobre Procedimientos y Técnica :

El Área se cubre con Polvo Base aproximadamente 0.010". Se usa el polvo altamente aleado para cubrir la pieza aproximadamente 0.010" por encima del tamaño final. Mantenga la distancia de 8", dirigiendo la flama al eje de la pieza. Se usa una herramienta de carburo para el maquinado.

NOMBRE DE LA PIEZA A REPARAR : Buje Seco

altura	Largo	ancho	peso	Diametro	Espesor de la pared Maximo Minimo
				3" y 10"	1"

Factor prolon- gación vida LPF	La pieza puede ser reparada.	No. de años que se ha prolonga- do la vida de -	Costo del Inventario
-----500-----%	-----3-----veces	-----5-----años	-----28-----%

ANALISIS DE COSTOS Y AHORROS

F A C T O R		Metodo actual		Recomendación I. E. C	
Costo de la pieza					
Disposición pieza		\$ 30			
Material de soldadura		-----		\$ 15	
Mano de Obra Soldado		-----		\$ 10	
Mano de Obra (I. E. Preparación acabada)		-----		\$ 10	
Total costo de la pieza		\$ 30		\$ 35	
Desensamblado y Reensamblado		\$ 25		\$ 25	
Tiempo de Paro		\$ 300		\$ 300	
Costo unitario total		\$ 355		\$ 360	
No. de piezas usadas anualmente	No. de piezas en inventario	15	5	3	2
Costo total	Valor total del INVENTARIO	\$ 5.325	\$ 150	\$ 1.080	\$ 70
	Reducción del Costo			\$ 4.245	\$ 80 x 28%
	Reducción costo Inventario			\$ 102	\$ 299
	Reducción costo total			\$ 4.347	

NOTA: Los costos estan indicados en U. S. D.

Nombre de la pieza a reparar : Pistón de una Bomba de émbolo.

Metal Base: Fierro Colado.

Descripción del Problema :

Los pistones son usados en el bombeo del drenaje de la ciudad y el sistema de deposición de agua, son sometidos a la acción de arena ,basura y ácidos corrosivos. Entonces ocurre un desgaste excesivo y se reduce la eficiencia de bombeo haciendose necesario reemplazar los pistones.

Factores del Paro de Trabajo :

Abrasión

Corrosión

Producto y Proceso Seleccionado:

Proceso en frio

Flama Neutral

Justificación para la Solución Recomendada:

La baja temperatura de este recubrimiento protector permite una rápida aplicación sobre grandes diámetros. Los depositos contienen menos del 2 % de porosidades; esto proporciona una resistencia muy alta a la penetración y a la corrosión por medios líquidos, especialmente bajo presión.

Preparación de la Pieza de Trabajo:

Después de colocada la pieza en el torno limpiela. Lije todas las áreas corroidas hasta que aparezca la superficie limpia, luego lige 0.020", y limpie otra vez . Luego aplique el polvo manteniendo la distancia máxima de trabajo de 8".

Comentarios Sobre Procedimientos y Técnica:

Ya que el pistón es hueco, se debe permitir una contracción mínima de 0.050" sobre la medida. Rectifique a la medida deseada.

**NOMBRE DE LA PIEZA A REPARAR :** Pistón de una bomba de embolo

altura	Largo	ancho	peso	Diametro	Espesor de la pared Maximo	Minimo
	15"			11"	3/4"	5/8"

Factor prolon- gación vida LPF	La pieza puede ser reparada.	No. de años que se ha prolonga- do la vida de -	Costo del Inventario
----- 400 ----- %	----- 2 veces -----	----- 2 años -----	----- 30 ----- %

**ANALISIS DE COSTOS Y AHORROS**

F A C T O R		Metodo actual		Recomendación I. E. C	
Costo de la pieza		\$ 170		----	----
Disposición pieza					
Material de soldadura		-----		\$ 40	
Mano de Obra Soldado		-----		\$ 5	
Mano de Obra (I.E. Preparación acabada)		-----		\$ 10	
Total costo de la pieza		\$ 170		\$ 55	
Desensamblado y Reensamblado		\$ 60		\$ 60	
Tiempo de Paro		-----		-----	
Costo unitario total		\$ 230		\$ 115	
No. de piezas usadas anualmente	No. de piezas en inventario	12	12	3	6
Costo total	Valor total del INVENTARIO	\$ 2.760	\$ 2.040	\$ 345	\$ 1.020
	Reducción del Costo			\$ 2.415	\$ 1.020 X 30 %
	Reducción costo Inventario			\$ 1.326	\$ 306
	Reducción costo total			\$ 3.741	

NOTA: Los costos estan indicados en U. S. D.

Nombre de la Pieza a Reparar: Hélices de un separador centrífugo.

Metal Base : Acero Inoxidable.

Descripción del Problema:

El cono central y las cuchillas de las hélices del separador centrífugo están sujetos al desgaste acelerado debido a las severas condiciones de servicio corrosivo y abrasivo.

Factores del Paro del Trabajo:

Abrasión

Corrosión

Producto y Proceso Seleccionado:

En caliente

Flama Neutral

Justificación para la Solución Recomendada:

Los depositos de polvo con Cr. y Ni. combinan la dureza y la suavidad ofreciendo una excelente resistencia a la corrosión y a la abrasión. Los depósitos de este polvo son completamente homogéneos y no porosos y ofrecen la dureza y la suavidad necesarias para resistir estas condiciones de servicios.

Aunque el costo inicial del tornillo recubierto es 10% más alto que el costo original del no reparado, la vida del servicio de cada, tornillo fue prolongada en 1000%.

Preparación para la Pieza:

Todas las superficies planas deberan estar absolutamente limpias.

Comentarios Sobre Procedimientos y Técnica:

Se deposita aproximadamente 1/3" de espesor de polvo base sobre la superficie plana. Los filos de la cuchilla se recubren entonces con el polvo aleado.

**NOMBRE DE LA PIEZA A REPARAR :** Hélices de un separador centrífugo

altura	Largo	ancho	peso	Diametro	Espesor de la pared	
4" - 3"	--	--	400lbs	3" - 14"	Maximo	Minimo
					2"	1/2"

Factor prolon- gación vida LPF	La pieza puede ser reparada.	No. de años que se ha prolonga- do la vida de -	Costo del Inventario
1000			30
-----%	-----veces	-----años	-----%

**ANALISIS DE COSTOS Y AHORROS**

F A C T O R		Metodo actual		Recomendación I.E.C	
Costo de la pieza					
Disponición pieza		\$ 3.620		\$ 362	
Material de soldadura				\$ 264	
Mano de Obra Soldado				\$ 196	
Mano de Obra (I.E. Preparación acabada)				\$ 36	
Total costo de la pieza		\$ 3.620		\$ 4.116	
Desensamblado y Reensamblado		\$ 280		\$ 230	
Tiempo de Paro		\$ 100		\$ 100	
Costo unitario total		\$ 4.000		\$ 4.496	
No. de piezas usadas anualmente	No. de piezas en inventario	180	10	18	2
Costo total	Valor total del INVENTARIO	\$ 72.000	\$ 36.200	\$ 80.928	8232
	Reducción del Costo			\$ 639.072	27.960 430 %
	Reducción costo Inventario			\$ 36.358	8.390
	Reducción costo total			\$ 675.430	

NOTA: Los costos estan indicados en U.S.D.

Nombre de la Pieza: Buje de Desgaste.

Metal Base: Acero.

**Descripción del Problema:**

El buje de desgaste protege al eje. Al uso normal se le agrega la mugre y el polvo.

Se necesita una refacción para reemplazar el buje, dejando de operar la línea completa.

**Producto y Proceso Seleccionado:**

Proceso en frío.  
Exceso de C2 Hz

**Justificación para la solución recomendada:**

Se usa una aleación que da un recubrimiento extraduro para usarse bajo las condiciones de servicio mas severo.

EL proceso en frío, debido a la aplicación a baja temperatura hace posible reparar estas partes cruciales con eficiencia y sin peligro de deformación.

**Preparación de la pieza de trabajo:**

El buje fué removido y el area limpiada. EL area gastada se maquina 0.015" girando la pieza a 95 RPM.

**Comentarios sobre procedimientos y técnica.**

Se rocía polvo base, manteniendo la distancia de 6". El polvo extraduro, se rocía despues dejandolo ligeramente mas abultado. Se termina maquinando a la medida adecuada.

**NOMBRE DE LA PIEZA A REPARAR : Buje de Desgaste**

altura	Largo	ancho	peso	Diametro	Espesor de la pared	
----	6"	----	----	-----	Maximo	Minimo
					1/4"	.090

Factor prolongación vida LPF	La pieza puede ser reparada.	No. de años que se ha prolongado la vida de -	Costo del Inventario
----- 600 %	----- 4 veces	----- 2 años	----- 28 %

**ANALISIS DE COSTOS Y AHORROS**

F A C T O R		Metodo actual		Recomendación I. E. C	
Costo de la pieza		\$ 45	---	----	----
Disposición pieza					
Material de soldadura		-----		\$ 2 60	
Mano de Obra Soldado		-----		\$ 5 40	
Mano de Obra (I.E. Preparación acabada)		-----		\$ 12.00	
Total costo de la pieza		\$ 45		\$ 20 00	
Desensamblado y Reensamblado		\$ 50		\$ 50	
Tiempo de Paro		\$ 500		\$ 500	
Costo unitario total		\$ 595		\$ 570	
No. de piezas usadas anualmente	No. de piezas en inventario	600	150	100	25
Costo total	Valor total del INVENTARIO	\$ 357 00	\$ 6 750	\$ 57 00	\$ 500
	Reducción del Costo			\$ 300 000	\$ 6 250 X 28 %
	Reducción costo Inventario			\$ 8 000	\$ 1 750
	Reducción costo total			\$ 308 000	

NOTA: Los costos estan indicados en U. S. D.

## 7 CONCLUSIONES

Como conclusiones se enumeran las siguientes ventajas y desventajas.

### VENTAJAS:

---Reparación de partes de maquinaria antigua y/o extranjera, las cuales son difíciles de conseguir o fabricar.

---Prolongación de la vida útil de partes como matrices, flechas, cigueñales, cuchillas, etc.

---Reducción en el costo de inventarios de partes nuevas.

---Reducción de tiempos muertos, al disponer mas rapidamente de la refacción.

---Economía en el costo de servicio y el costo total de mantenimiento.

---Se pueden combinar materiales que de otra forma sería imposible.

### DESVENTAJAS:

---Los polvos que se usan para el metalizado no se producen en México y su costo es elevado.

---Se pueden presentar distorsiones geométricas en la pieza al usar el proceso en caliente.

---Después de sucesivas reparaciones puede presentarse falla súbita de la pieza.

---Si no se tiene una correcta preparación de la pieza y aplicación del polvo, el recubrimiento puede desprenderse al maquinarse o en servicio.

---Se requiere experiencia para la selección del polvo adecuado.

---EL costo del equipo .

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA.

-Enciclopedia de Tecnologia Quimica

Kink Othmor 1982

Tomos 10, 13 y 14

-Soldadura Aplicaciones y Práctica.

Henry Horwitz

Cap. 17

-Handbook of Powder Metallurgy

Hausner, Henry H. Kumar Mat 1982

-Source book on Powder Metallurgy

ASM 1973

-Powder Metallurgy (Principles and Applications)

Fritz V. Lenel. 1980

-Introducción a la Metalurgia

P Molera

Catálogos e información proporcionada por UTP.

Catálogos e información proporcionada por EUTECTIC.