

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“ RECUBRIMIENTOS POR TERMO-ROCIADO: TEORIA,  
NORMAS TÉCNICAS Y APLICACIONES PRÁCTICAS ”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECANICO ELECTRICISTA**

**LORENZO JAMES BARRUETO DURAND**

**PROMOCION 1995**

**LIMA – PERU**

**2003**

## TABLA DE CONTENIDO

TITULO: RECUBRIMIENTOS POR TERMO-ROCIADO: TEORIA,  
NORMAS TECNICAS Y APLICACIONES PRACTICAS.

PROLOGO

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

1.2 Objetivo

1.3 Alcance

CAPITULO II: TERMINOLOGIA Y CLASIFICACION

2.1 Alcance

2.2 Términos y definiciones

2.2.1 Termo-rociado

2.3 Términos generales

2.4 Términos en equipamiento de termo-rociado

2.5 Términos de propiedades de los depósitos de termo-rociado

2.6 Gráfica maestra del proceso de termo-rociado

## CAPITULO III: PROCESO DE RECUBRIMIENTO

### 3.1 PRINCIPIOS DEL PROCESO

#### 3.1.1 Definición

#### 3.1.2 Naturaleza de los recubrimientos atomizados

##### 3.1.2.1 Componentes

##### 3.1.2.2 Adherencia del recubrimiento

#### 3.1.3 Preparación de la superficie

##### 3.1.3.1 Limpieza y manipuleo

##### a) Granallado

##### b) Macrorugosidad

### 3.2 METODOS DE DEPOSICION

#### 3.2.1 Variaciones de los procesos

#### 3.2.2 Clasificación de acuerdo a la operación

##### 3.2.2.1 Atomizado manual

##### 3.2.2.2 Atomizado mecánico

##### 3.2.2.3 Atomizado automático

#### 3.2.3 Clasificación de acuerdo a la energía transportada

##### 3.2.3.1 Proyección de material fundido

##### 3.2.3.2 Atomizado por llama

##### a) Atomizado de alambre por llama

##### b) Atomizado de polvo por llama

##### 3.2.3.3 Atomizado por alta velocidad – HVOF

3.2.3.4 Atomizado por detonación

3.2.3.5 Atomizado por arco

3.2.3.6 Atomizado de recubrimiento por plasma

3.2.3.7 Atomizado por láser

### 3.3 CARACTERISTICAS DEL RECUBRIMIENTO

#### 3.3.1 Formación y estructura de los recubrimientos

3.3.1.1 Forma del atomizado

3.3.1.2 Deposición de las partículas

3.3.1.3 Propiedades del recubrimiento

- a) Inspección visual
- b) Resistencia de adhesión
- c) Fuerzas residuales
- d) Dureza
- e) Compresión
- f) Fatiga
- g) Ductibilidad
- h) Resistencia a la corrosión

3.3.2 ISO 14916:1999 Determinación de la Fuerza de adherencia

3.3.3 ISO 6508-1:1999 Test de Dureza Rockwell – Materiales  
Metálicos

3.3.4 ISO 6508-2:1999 Test de Dureza Rockwell – Materiales  
Metálicos

### 3.4 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS

#### 3.4.1 ISO 14919: 2001 Alambres, varillas y polvos para el termo- rociado

### 3.5 RECTIFICADO Y PULIDO DEL RECUBRIMIENTO

## CAPITULO IV: PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD

### 4.1 ENTRENAMIENTO, PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD

#### 4.1.1 ISO 14918: 1998 Evaluación de termo-rociadores

##### 4.1.1.1 Anexo A - Conocimiento del trabajo

##### 4.1.1.2 Anexo B - Criterios específicos de aceptación

#### 4.1.2 Requerimientos de Calidad de Organizaciones

### 4.2 SEGURIDAD

#### 4.2.1 Consideraciones de seguridad en las instalaciones

#### 4.2.2 Consideraciones de seguridad del personal

#### 4.2.3 Condiciones generales

#### 4.2.4 ISO 14231: Inspección adecuada de equipamiento de termo- rociado

## CAPITULO V: EQUIPAMIENTO DE PROCESO HVOF – DIAMOND JET

### 5.1 Principios

5.2 Unidad Suministradora de Gas

5.3 Fluviómetro

5.4 Unidad Alimentadora de Polvo

5.5 Diamond Jet (DJ) Gun

5.5.1 Inyector de polvo

5.5.2 Sifón Conector

5.5.3 Ensamble tobera

5.5.4 Ensamble válvula de aire

## CAPITULO VI: ANALISIS COMPARATIVO Y APLICACIONES

6.1 COMPARACION CON LOS METODOS TRADICIONALES

6.1.1 Comparación con respecto al Cromado Duro

6.1.2 Comparación con respecto a la soldadura

6.2 APLICACIONES

6.2.1 Aplicaciones del termo-rociado

## CAPITULO VII: CASOS PRACTICOS

7.1 CASO 1: PROCESO DE RECUPERACION DE CABEZAL DE  
PERFORADORA COP 1238

7.2 CASO 2: PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO  
CARBURO DE TUNGSTENO A AGUJA DE TURBINA PELTON Y  
ALABE DIRECTRIZ TURBINA FRANCIS

CAPITULO VIII: NORMAS GENERALES APLICABLES

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

## PRÓLOGO

Una empresa de servicios el cual tiene liderazgo en el mercado es por su amplia experiencia, calidad en sus trabajos y servicio de atención, reconocimiento que la empresa **METALIZACIONES S.A.** lo tiene alcanzado, del cual agradezco la información brindada para poder desarrollar este informe.

Dentro del cual se explica las definiciones de los términos empleados en toda instalación que realiza termo-rociados, principios del proceso, la forma de aplicación y selección del recubrimiento hasta el acabado final, incluyendo las pruebas necesarias que respaldan al recubrimiento, considerando Normas Técnicas que estandarizan la aplicación de los termo-rociados.

Además se incluye la descripción de un equipamiento de termo-rociado mediante el sistema HVOF y la comparación con los métodos tradicionales de reparación de componentes.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Si un material es adherido o depositado sobre una superficie de otro material, en diferentes espesores, es conocido como recubrimiento.

Existen muchas técnicas de deposición, entre las más conocidas el pintado, el soldado y cromado; la elección del adecuado proceso depende del requerimiento funcional (tamaño, forma y metalurgia del sustrato), la adaptabilidad del recubrimiento para la técnica pretendida, nivel de adherencia requerida, disponibilidad y costo.

La figura 1 muestra las más comunes técnicas de deposición de recubrimientos empleadas, están divididas en metálicas y no-metálicas. La deposición de recubrimientos metálicos puede ser considerada bajo tres categorías, la técnica de recubrimiento por termo-rocado será detallada en este informe, ya que generalmente ofrece las mayores ventajas en cuanto a la rapidez del proceso, dureza y acabado superficial y costo.

En nuestro país en donde escasea los recursos económicos, no podemos darnos el lujo de desechar componentes desgastados, la alternativa es recuperarlo mediante este proceso.

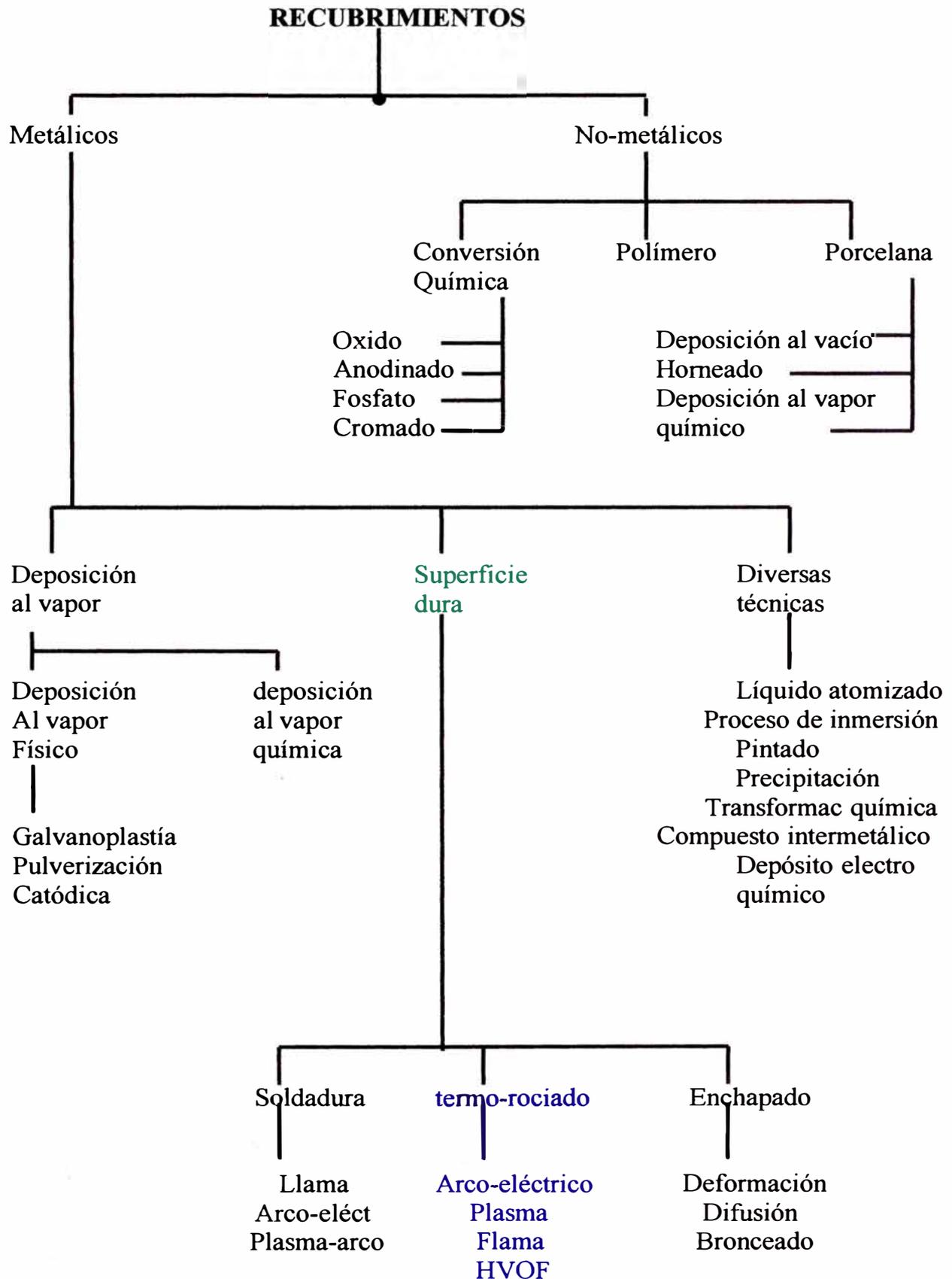


Figura 1, Técnicas de aplicación de recubrimientos

La recuperación de partes y piezas constituye uno de los conceptos modernos en el campo de ingeniería de fábricas, conocido como TEROLOGIA, que proviene del griego Terein que significa "cuidar", "preservar", "tener cuidado por" y constituye una especialidad multidisciplinaria de la Ingeniería cuya función es la optimización de los recursos de la empresa en base a minimizar los costosos efectos del desgaste sobre valiosos equipos productivos.

## 1.2 OBJETIVO

El informe del presente trabajo presenta procedimientos para evaluar las aplicaciones del termo-rociado en la recuperación y/o protección de componentes mecánicos y mostrar la versatilidad de la aplicación así como el uso de equipos y materiales involucrados.



Figura 2, Proceso de aplicación de recubrimiento Carburo de Tungsteno mediante el termo-rociado a aguja de Turbina Pelton.

### 1.3 ALCANCES

#### 1.3.1 Superficies sólidas

Un material puede verse limpio y pulido, sin embargo las superficies microscópicas como se muestran en la figura 3 los cuales han sido formados por factores externos, incluyen el mecanizado, temperatura y formación de óxido. Dependiendo del proceso de fabricación involucrada en la producción del material, una zona de material duro ocupará la base de esta capa. Sobre esta capa (worked layer) está una amorfa o estructura cristalina, llamada la capa "Beilby", el cual es un resultado de la fundición y flujo de superficie durante el mecanizado de capas moleculares. Una capa de óxido se sitúa sobre la capa superior debido a la disponibilidad del oxígeno del ambiente exterior, una capa exterior hecha de vapor de agua o hidrocarburos del ambiente que pudieron haber condensado y física o químicamente absorbidos sobre la superficie.

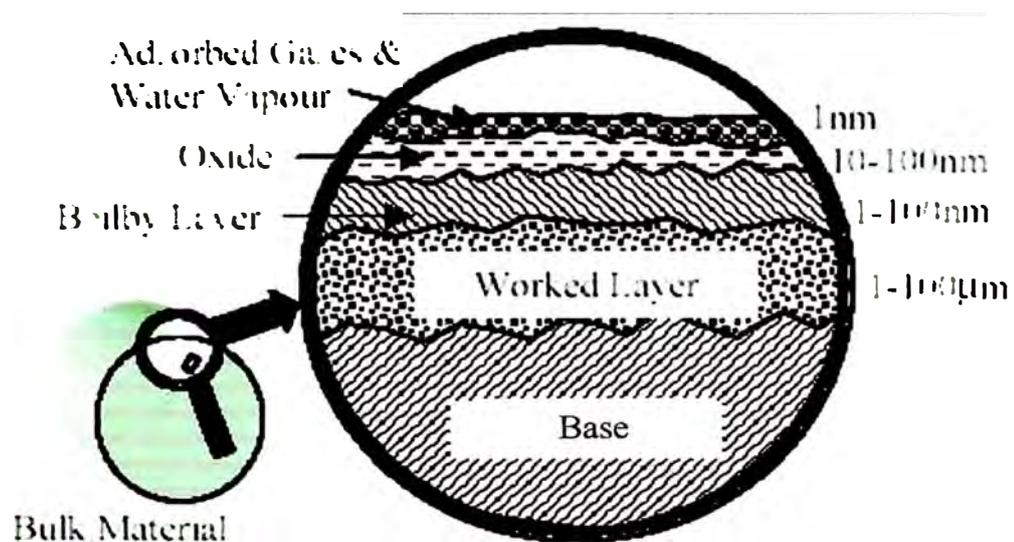


Figura 3, representación esquemática de la superficie de un material.

### 1.3.2 Fricción y desgaste

La fricción y desgaste ocurren donde dos superficies están sometidas a cargas de deslizamiento o rodadura. Fricción es una causa de disipación de energía donde la consecuencia es el desgaste del material.

La figura 4 muestra las cinco principales categorías del desgaste y los mecanismos que lo originan.

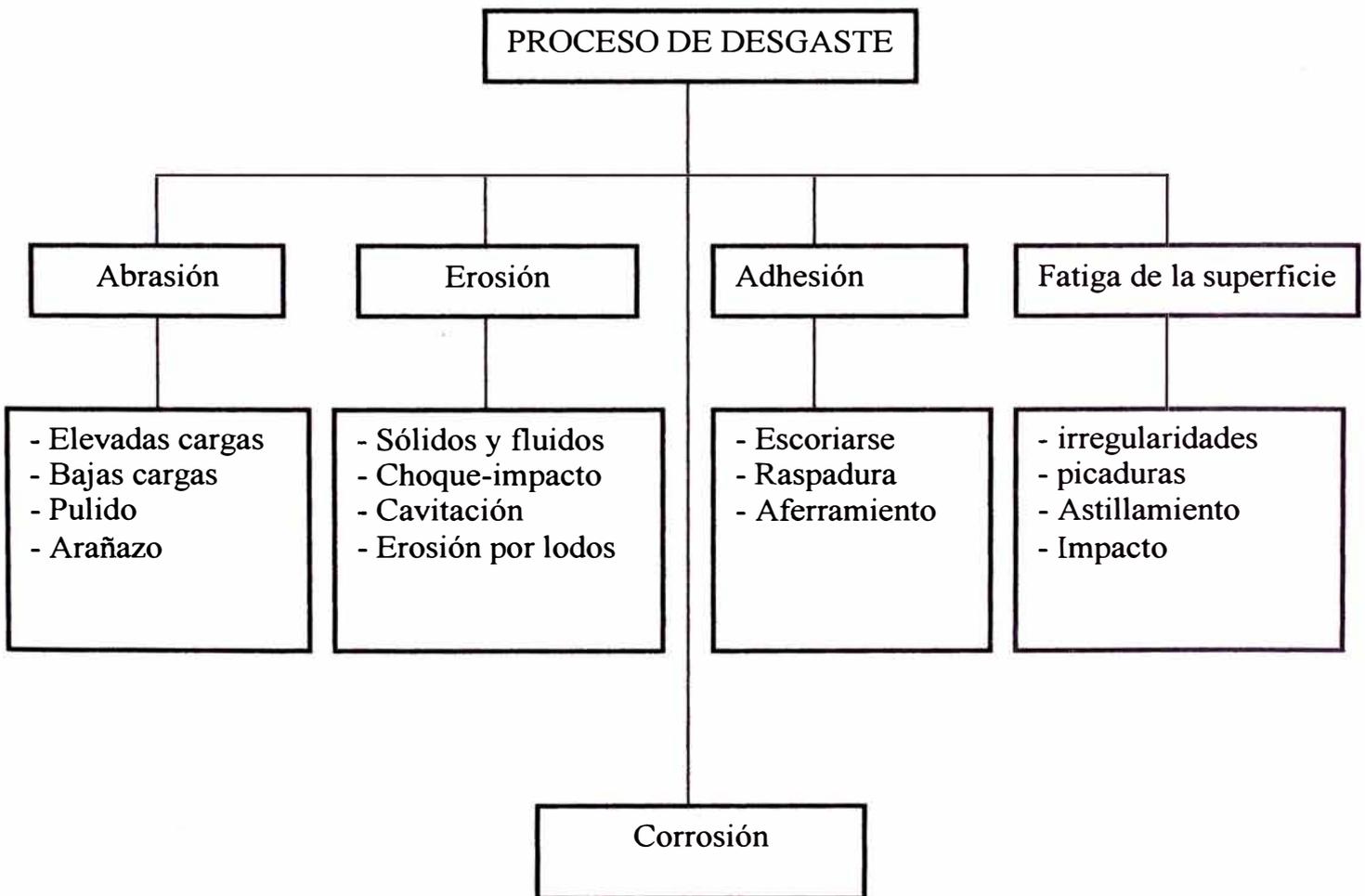


Figura 4, categorías del desgaste

### **¿Por qué termo-rociado?**

Las aplicaciones de termo-rociado son casi ilimitadas debido a los cientos de materiales diferentes que pueden ser usados para crear un recubrimiento. Por su naturaleza, los recubrimientos de termo-rociado son asociados con el fenómeno que afectan la funcionalidad de la superficie, rendimiento y vida útil. El proceso es igualmente la base de la prevención de daños en una superficie, o la adición de características nuevas en una superficie, así como en la reparación y restauración de un componente ya dañado.

Los principales usos de la aplicación de los recubrimientos sobre superficies son:

Resistencia al desgaste

Reconstruir superficies

Resistencia a la corrosión

Resistencia a la erosión-corrosión

Resistencia a la oxidación y sulfatación

Sistema de control de intersticios

Barrera térmica

Propiedades eléctricas de conductividad y no conductividad.

## **CAPITULO II**

### **TERMINOLOGIA Y CLASIFICACION**

#### **2.1 ALCANCE.**

Esta Norma Internacional define procesos y términos generales para el proceso de Termo-rociado. La clasificación de los procesos de Termo-rociado es de acuerdo al tipo de material a atomizarse, el tipo de operación y al tipo de energía transportada.

#### **2.2 TERMINOS Y DEFINICIONES.-**

Para el propósito de esta Norma se aplica las siguientes definiciones:

##### **2.2.1.- Termo-Rociado:**

Proceso en el cual un material para revestimiento es calentado hasta ser fundido, dentro de una pistola, y rociado sobre una superficie preparada. El material base permanece inalterada.

NOTA 1: Los recubrimientos atomizados pueden ser aplicados por termo-rociado de material en su estado líquido.

### 2.3 TERMINOS GENERALES

PISTOLA DE ATOMIZADO	Unidad con el cual el material de atomizado es calentado hasta ser fundido, acelerado y proyectado sobre una superficie preparada.
MATERIAL DE ATOMIZADO	El material de recubrimiento para el termo-rociado generalmente diferente en forma y composición al componente.
DEPOSITO DE ATOMIZADO	El material atomizado que es depositado.
GAS CONDUCTOR	Gas conductor para la inyección del material de atomizado in forma de polvo hacia la flama o chorro.
GAS ATOMIZADOR	Gas para la atomización y aceleración del material en forma de alambre, varilla o cable fundida.
GAS PROPULSOR	Gas usado para acelerar las partículas de atomizado
DISTANCIA DE ATOMIZADO	Distancia entre la cara de la tobera y la pieza de trabajo
ANGULO DE ATOMIZADO	El ángulo entre el centro del chorro de atomizado y la pieza de trabajo
PROTECCIÓN	Forma de proteger las áreas de una pieza de trabajo que no serán recubiertas.
PARTICULAS DE ATOMIZADO	Partículas fundidas que emergen de una pistola de atomizado.
PERDIDAS DE ATOMIZADO	Pérdida total del material atomizado resultado de la evaporación, cenizas, fuera de la zona de proyección de la pieza de trabajo, rebote y material que se tendrá que retirar como exceso
EFICIENCIA DEL ATOMIZADO	Proporción del peso total del material atomizado depositado y del peso total del material empleado para atomizado
RECUBRIMIENTO ATOMIZADO	Depósito aplicado por el termo-rociado
TERMO TRATAMIENTO	Control del calor antes, durante y/o después de la operación del termo-rociado.
FUSION DE LOS DEPOSITOS DE ATOMIZADO	Se obtiene una adherencia mecánica entre la pieza de trabajo y la capa de atomizado.
CHORRO DE ATOMIZADO	El chorro de las partículas de atomizado que emergen a velocidad de la pistola de atomizado.

## 2.4 TERMINOS EN EQUIPAMIENTO DE TERMO-ROCIADO

TOBERAS SUPLEMENTARIAS	Las toberas suplementarias son diseñadas para controlar la configuración y dirección del chorro de atomizado.
TOBERA DE ATOMIZADO	La tobera de atomizado es aquella parte de la pistola de atomizado por donde sale el chorro de atomizado.
TUBO DE CONTACTO	El tubo de contacto es una parte conductivamente eléctrica del sistema de tobera de una pistola de atomizado por arco, el cual el alambre es guiado por el tubo hacia el punto de intersección, donde se produce el cortocircuito.
MECANISMO ALIMENTADOR DE ALAMBRE	El mecanismo alimentador de alambre es una unidad operada mecánicamente por el controlador de salida del material atomizado
ALIMENTADOR DE POLVO	Las unidades alimentadoras de polvo son sistemas controladoras del suministro de material en forma de polvo.
INYECTOR DE POLVO	Los inyectores de polvo envían y guían al material de atomizado hacia el chorro de gas.

## 2.5 TERMINOS DE PROPIEDADES DE LOS DEPÓSITOS DE TERMO-ROCIADO

### 2.5.1 Fuerza de Tensión Adhesiva, $R_H$

La fuerza de tensión adhesiva,  $R_H$ , es la fuerza obtenida en la prueba de tensión, calculada del cociente de la máxima carga,  $F_m$ , y la sección transversal de una

muestra. La fuerza de tensión adhesiva puede ser determinada según concordancia con la Norma ISO 14916.

### 2.5.2 Dureza

Existen varios tipos de pruebas para determinar la dureza del termo-rociado. Para nuestro caso emplearemos según Norma ISO 6508-1.

### 2.5.3 Otras Propiedades

Otras propiedades típicas de los recubrimientos por termo-rociado son, por ejemplo:

- a) Resistente a la corrosión
- b) Resistente al calor
- c) Resistente a la fricción
- d) Resistente al desgaste
- e) Aislamiento térmico y eléctrico
- f) Conductividad térmica y eléctrica
- g) Expansión térmica
- h) Superficie de baja rugosidad

## **2.6 GRAFICA MAESTRA DEL PROCESO DE TERMO-ROCIADO**

La figura 5 muestra una clasificación de acuerdo al transporte de energía usada para el termo-rociado.

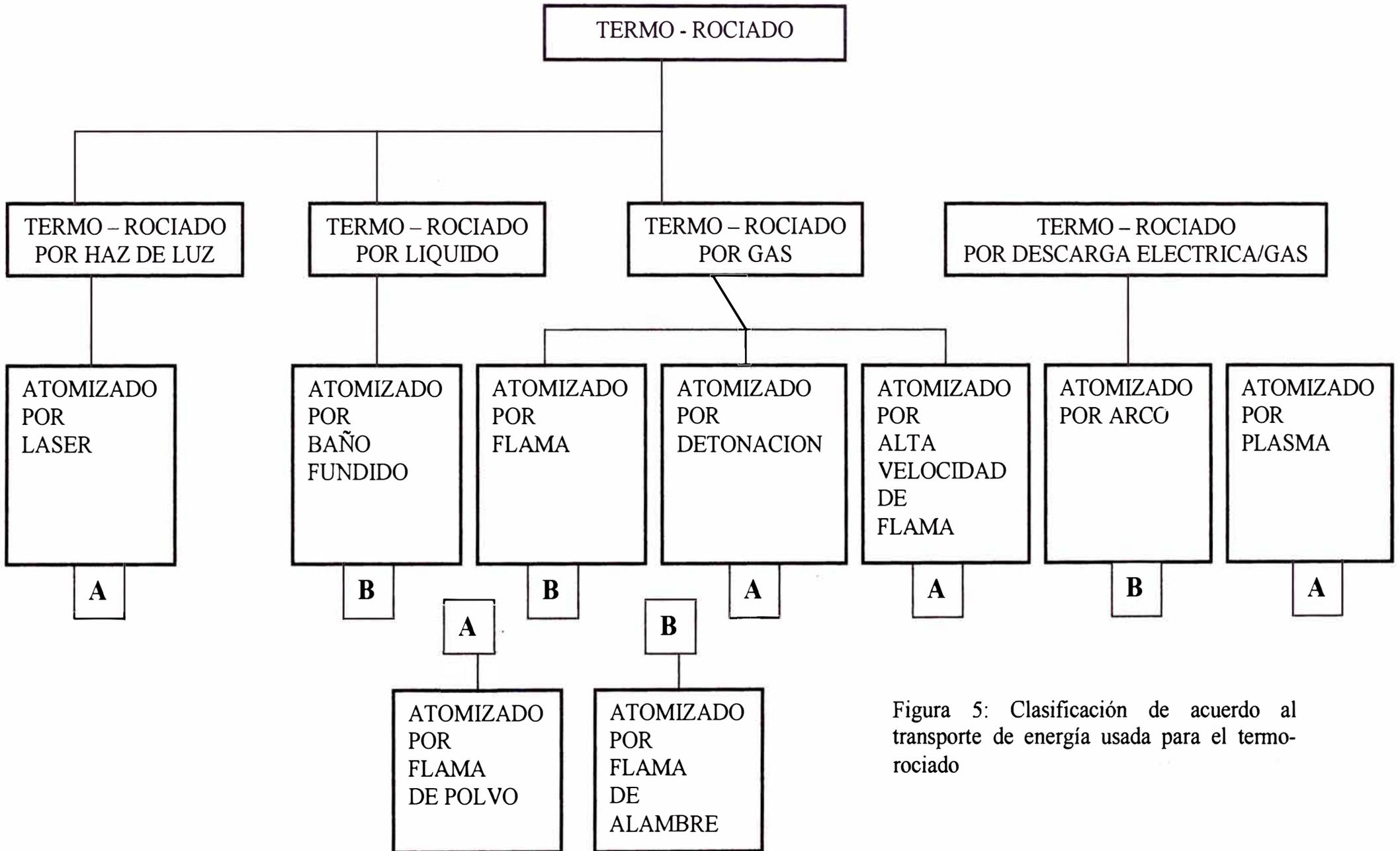


Figura 5: Clasificación de acuerdo al transporte de energía usada para el termo-rociado

## CAPITULO III

### PROCESO DE RECUBRIMIENTO

#### 3.1 PRINCIPIOS DEL PROCESO

##### 3.1.1 Definición

El termo-rociado es el proceso basado en la fusión del material de aporte para luego ser atomizado y depositado a alta presión en la superficie del material a ser rellenado formando una capa metálica densa. La aplicación se realiza a una temperatura no mayor de 100 °C, evitando cualquier deformación del material base o componente.

El material de aporte puede estar en la forma de polvo, varilla, cordón o alambre. La pistola de termo-rociado genera el calor necesario usando gases combustibles o un arco eléctrico. Según se ilustra en la figura 6.

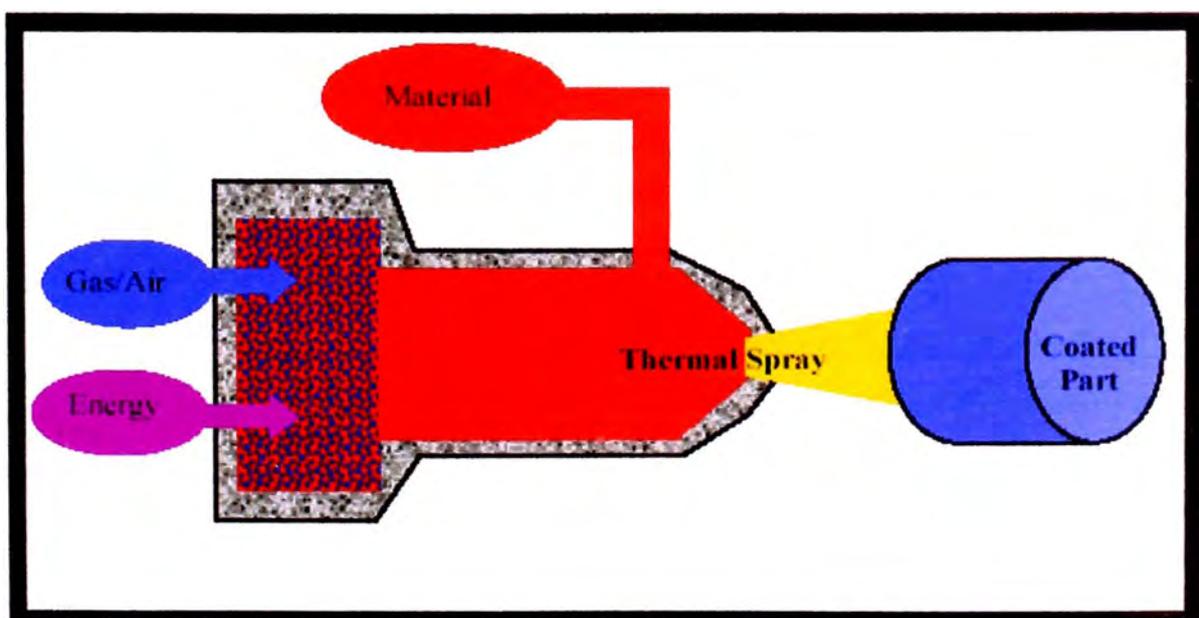


Figura 6, esquema del proceso de termo-rociado

### **3.1.2 Naturaleza de los recubrimientos atomizados**

El éxito en el uso de recubrimientos de termo-rociado se basa en la adherencia.

Los recubrimientos atomizados tienen dos aspectos básicos:

3.1.2.1 Componentes. Componentes sobre los cuales son aplicados los recubrimientos de termo-rociado.

La preparación del componente es primordial para el proceso de termo-rociado, y es el mismo para cada proceso. Dos importantes pasos son:

- (1) Limpieza de la superficie para eliminar la contaminación y puedan impedir la adherencia del recubrimiento.
- (2) Rugosidad de la superficie para una buena adherencia.

3.1.2.2 Adherencia del recubrimiento. La adherencia entre el recubrimiento y el componente es mecánica. Es influenciada por los factores: material de recubrimiento, condiciones del componente, grado de rugosidad de la superficie, limpieza, temperatura de la superficie antes, durante y después del termo-rociado, y velocidad de impacto de las partículas.

### **3.1.3 Preparación de la superficie**

La preparación de la superficie es el paso más crítico en la operación del termo-rociado. La calidad de la adhesión del recubrimiento es relativa directamente a la limpieza y a la rugosidad de la superficie del sustrato.

3.1.3.1 Limpieza y manipuleo, el primer paso en la preparación de un substrato para su termo-rociado es remover toda superficie contaminadas tales como aceite, grasas, virutas y pintura.

La preparación de las superficies es muy diversa y parte fundamental en el termo-rociado, el cual necesita de una superficie áspera o rugosa para poder adherirse tenazmente. Las formas de preparar las superficies pueden ser:

**a) GRANALLADO**

El granallado o arenado es una técnica rápida, económica y eficiente de preparar partes o piezas que se han de termo-rociar. El propósito es sencillamente para obtener una superficie adecuada para el termo-rociado: arenar para obtener la superficie a metal-blanco y así lograr tener un perfil deseado que actúa como anclaje al cual se adhiere el recubrimiento termo-rociado. Esta superficie se obtiene por medio del tamaño, tipo y dureza del abrasivo empleado y también por la presión de aire, distancia y ángulo de arenado sobre la pieza a preparar. Arenado a metal blanco limpia totalmente la superficie de óxido, escamas, pintura, etc. Al arenar previa a la aplicación de un recubrimiento de termo-rociado, no hay una escala de medir el grado de limpieza, o está metal-blanco o es inaceptable.

Generalmente el arenado se emplea conjuntamente con roscado de partes cilíndricas, el cual se menciona en el siguiente punto para la preparación del componente. Sin embargo, en procesos de producción se puede emplear solo

el arenado con éxito. Los factores principales que influyen en la calidad del arenado son:

- 1) Partes que se arenan
- 2) Selección del abrasivo
- 3) Técnicas de arenado y parámetros
- 4) Mediciones y pruebas

Las piezas que se arenan, el perfil de superficie requerido y el espesor del recubrimiento que se debe aplicar, son factores que se deben tener en cuenta al seleccionar el tipo de granalla o arena. Para esto se debe tener en cuenta:

1) la dureza de la superficie a tratar, por lo general la granalla a emplear debe ser mas dura que el componente por arenar. Por otro lado, si la superficie es blanda (cobre, aluminio, etc.) se debe coordinar la selección de la presión de aire y granalla para evitar que esta se incruste en el material blando.

- 2) Estado de el componente a preparar, (superficie de acería, oxidado, etc.)
- 3) Perfil deseado en relación al espesor de la capa a aplicar
- 4) grado de limpieza (metal blanco)

Los factores que se deben tener en cuenta para la selección del abrasivo son:

- 1) Tamaño
- 2) Forma (preferiblemente angular)
- 3) Dureza
- 4) Densidad
- 5) Fragmentabilidad
- 6) Condición

La técnica de arenado y parámetros a tomar en cuenta son:

- 1) Presión indicada en psi (lbs/pul<sup>2</sup>)
- 2) Flujo CFM (pies<sup>3</sup>/minuto)
- 3) Angulo de la boquilla con relación a la pieza
- 4) Distancia de la boquilla a la pieza
- 5) Velocidad (de avance sobre la superficie)
- 6) Calidad del Aire



Figura 7. Alabe de exhaustor después de ser arenado.

#### **b) MACRORUGOSIDAD**

Es otra forma de preparar superficies a termo-rociar, rebajando 1 mm al diámetro realizando un proceso de roscado en la zona a recuperar con la

finalidad de disminuir la fuerza de contracción, incrementar el área de recubrimiento y eliminar tensiones internas, luego del cual también se realizará el proceso de granallado el cual realiza la limpieza respectiva y la rugosidad necesaria para el termo-rociado.

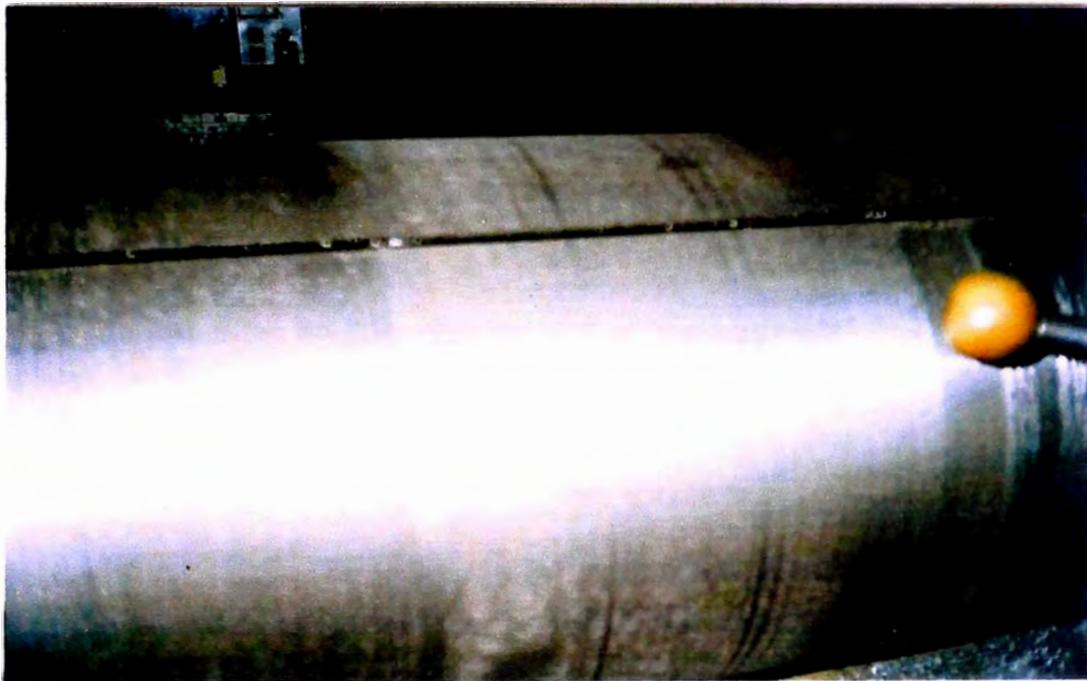


Figura 8. Macrorugosidad a rodillo de imprenta.

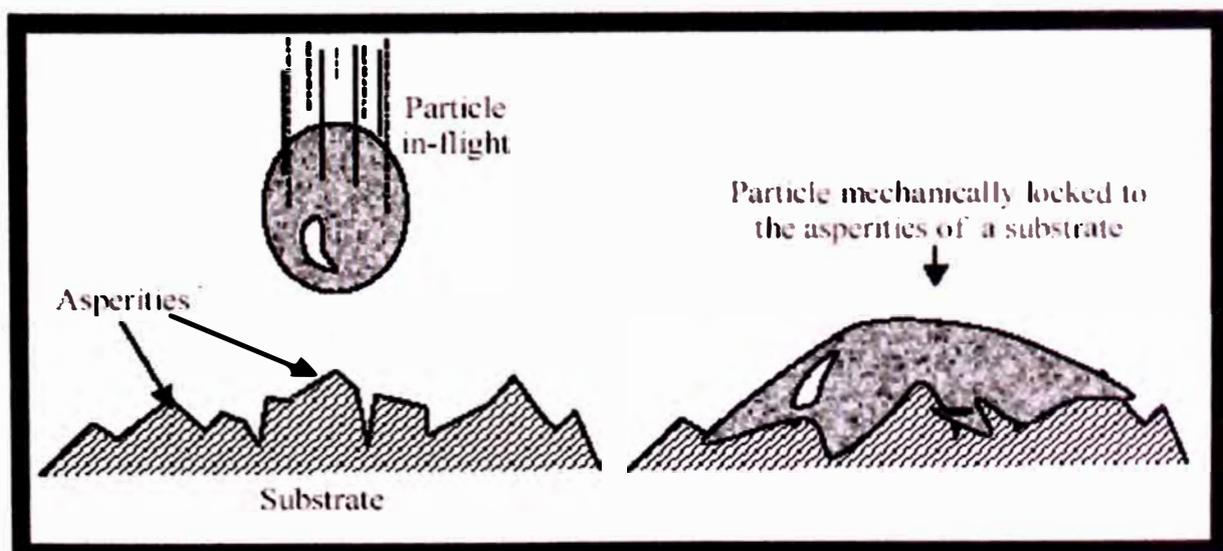


Figura 9. Partícula antes y después del impacto.

### **¿Qué componentes podemos recuperar y/o proteger?**

Todo componente es posible ser recuperado por este sistema, generalmente son aquellos en la que se necesita un trabajo de acabado con alta precisión de medidas con tolerancias y/o ajustes hasta  $\pm 0.001$  mm., y protegido para aumentar su vida útil.

- Para el cálculo del costo de la aplicación del termo-rociado ya sea para recuperar o proteger está en función del área a aplicar, material de aporte y costo de la parte operativa y del equipamiento.

### **¿Qué componentes no podemos recuperar y/o proteger?**

No es recomendable la aplicación sobre superficies que presenten fisuras o rajaduras y estén sometidas a golpe o impacto severo.

## **3.2 METODOS DE DEPOSICION**

### **3.2.1 Variaciones de los procesos**

Clasificación de acuerdo al tipo de material a atomizarse.

La clasificación es de acuerdo a las siguientes variaciones:

- a. Atomizado de alambre
- b. Atomizado de varillas
- c. Atomizado de cables
- d. Atomizado con polvos

### **3.2.2 Clasificación de acuerdo a la operación.**

### 3.2.2.1 Atomizado manual

Todas las operaciones típicas del proceso de termo-rociado son manuales.

### 3.2.2.2 Atomizado mecanizado

Todas las operaciones típicas del proceso de termo-rociado son mecanizadas.

### 3.2.2.3 Atomizado automático

Todas las operaciones típicas del proceso de termo-rociado son completamente mecanizadas incluyendo la manipulación.

## **3.2.3 Clasificación de acuerdo a la energía transportada**

### 3.2.3.1 Proyección de material fundido

Un material es calentado hasta ser fundido, en la mayoría de los casos en un reservorio, y por medio de un gas a presión (por ejemplo aire a presión) es atomizada sobre una superficie preparada.

1 Metal fundido

2 Ingreso de gas

3 Calentador eléctrico

4 Gas para atomización

5 Termo-rociado

6 capa de termo-rociado

7 Componente

### 3.2.3.2 Atomizado por llama

El atomizado por flama es un proceso por el cual un material es calentado en una llama oxi-combustible y atomizado sobre una superficie preparada. El material inicialmente puede estar en forma de alambre, polvo, cable o varilla. El material es atomizado sobre el componente por la tobera con el respaldo de aire a presión.

#### a) Atomizado de alambre por llama – Wire flame spray

El proceso de termo-rociado de alambre por flama es el método original del proceso de termo-rociado. Un mecanismo alimentador de alambre transporta el alambre desde el carrete hasta el oxy-fuel flame donde es fundido. La temperatura de la flama es alrededor de 3000 C (5600 F) dependiendo del combustible usado. La velocidad de las partículas puede ser tan alta como 350 m/s (1150 ft/s), dependiendo de la presión y flujo de aire entregado.

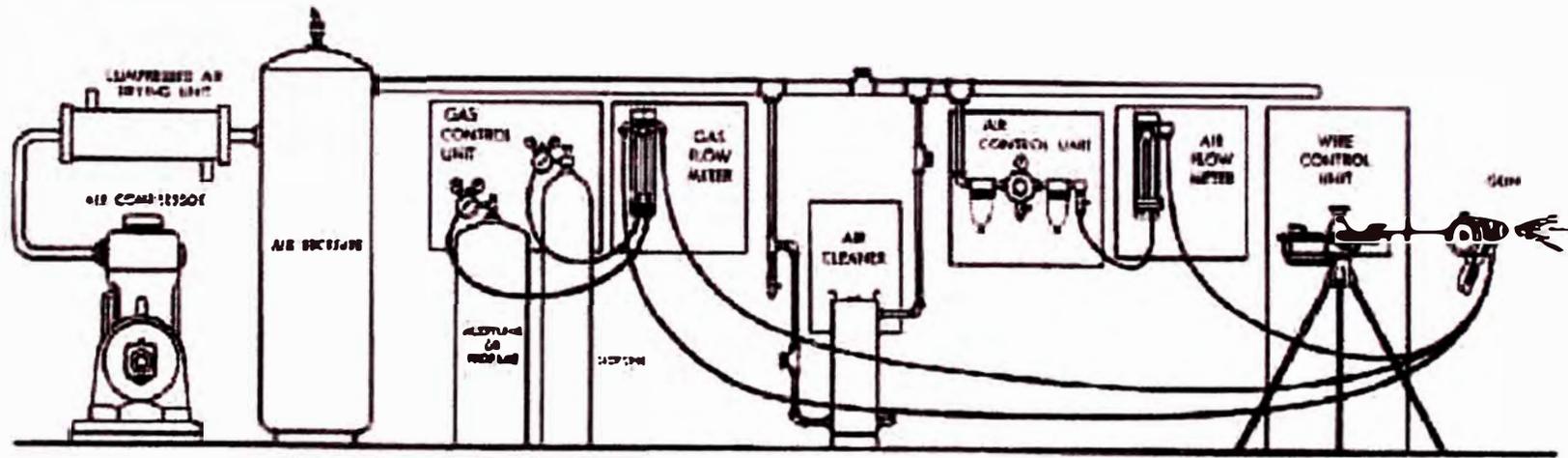


Figura 9-A. Instalación de termo-rociado de alambre

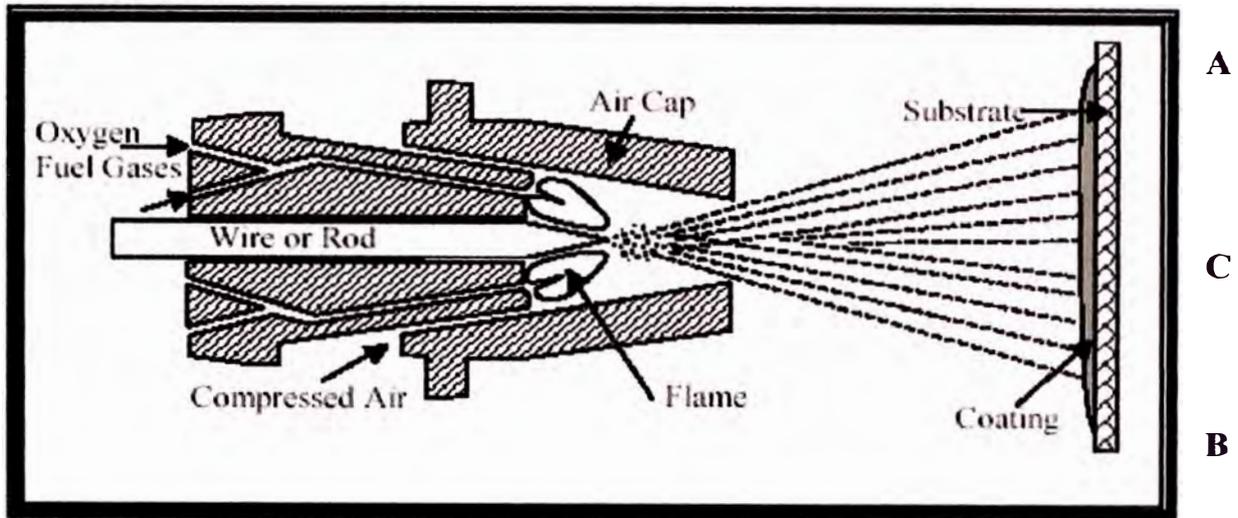


Figura 10. Corte de una pistola de termo-rocío de alambre o varilla

#### b) Atomizado de polvos por llama

Este proceso es más versátil que el proceso de alimentación de alambre, ya que la mayor parte de los materiales para recubrimiento son suministrados en polvo: sin embargo, la temperatura de combustión son demasiados bajas.

Con este método, el material a ser atomizado es alimentado hacia la pistola en forma de polvo y calentado hasta ser fundido por la llama oxí-combustible. Es atomizada sobre la superficie preparada con el respaldo de aire a presión.

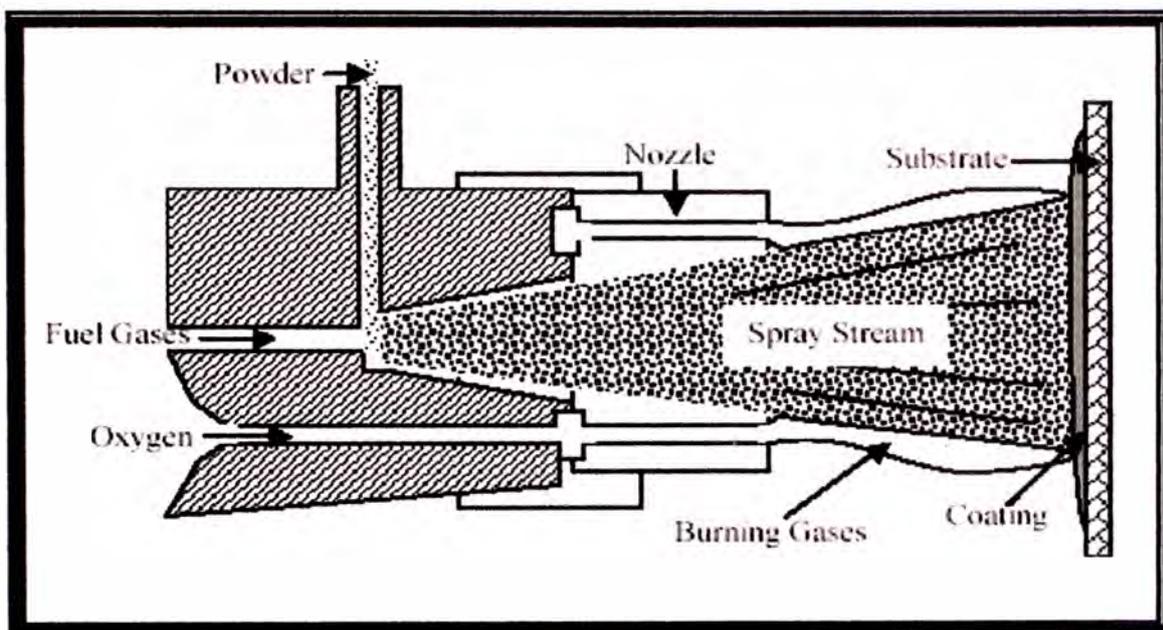


Figura 11. Corte de una pistola de termo-rocido de polvo.

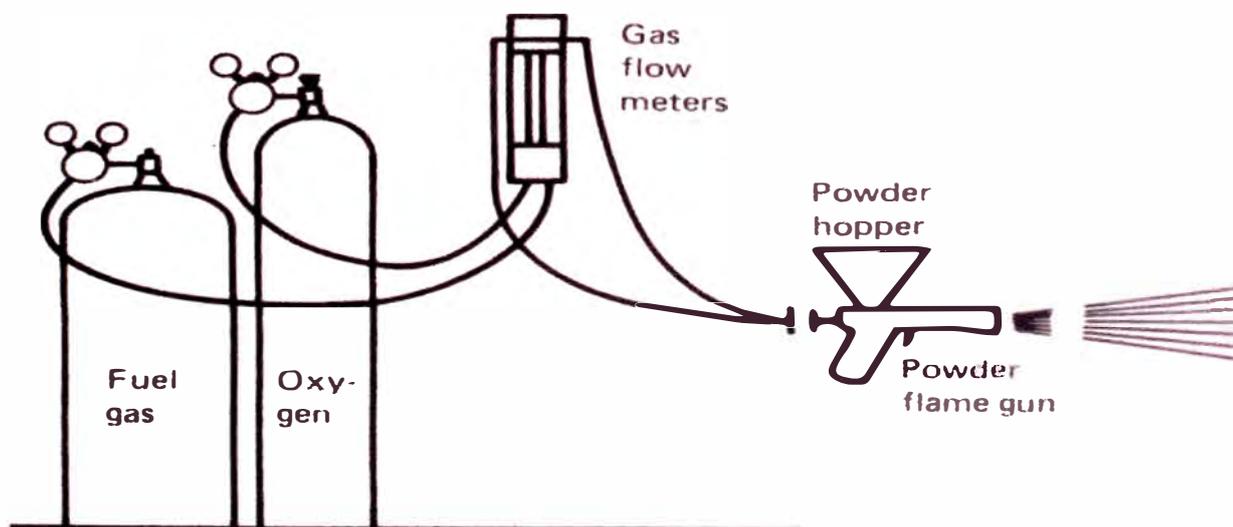


Figura 12. Instalación típica de un proceso de termo-rocido por flama de polvo

### 3.2.3.3.- Atomizado por alta velocidad – HVOF

El termo-rociado por High Velocity Oxy-Fuel es una de las nuevas técnicas de la aplicación de recubrimientos. La alta presión interna de combustión del combustible tal como el propano con oxígeno es el origen de la energía en el proceso de termo-rociado por HVOF. El chorro de material alcanza una hipervelocidad (mayores de Mach 3).

Una instalación se muestra en la página 87.

Gases combustibles como acetileno, propano, propylene e hidrógeno pueden ser usados, y líquidos como diesel o kerosene, pueden ser también usados.

### 3.2.3.4.- ATOMIZADO POR DETONACION

En el atomizado por detonación, la pistola contiene una cámara en el cual son inyectadas una cierta cantidad de polvo. La mezcla de gas en la cámara es detonada (por ejemplo con bujías) en intervalos controlados. Esto crea calor, alta velocidad del chorro que calienta al polvo hasta fundirlo y aceleración de las partículas que salen de la pistola.

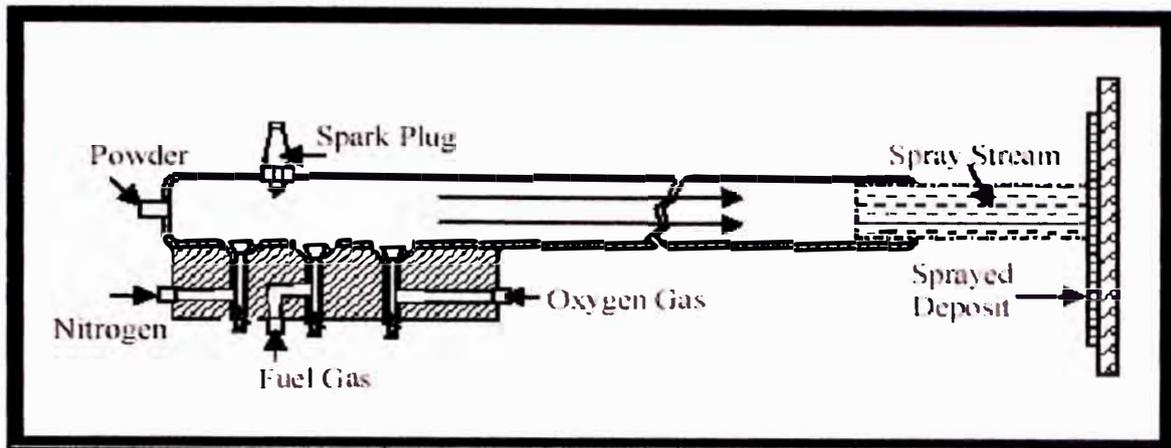


Figura 13. Esquema del atomizado por detonación.

### 3.2.3.5.- ATOMIZADO POR ARCO

El proceso de atomizado por arco del alambre es rápido y económico, produciendo recubrimientos con alta densidad y rápida deposición. La pistola tiene dos alambres eléctricamente cargados opuestamente, donde se produce la unión de los alambres un arco eléctrico forma la fusión de los alambres alimentados. Un chorro de presión de aire a presión, atomiza el material fundido y proyecta las partículas sobre una superficie preparada.

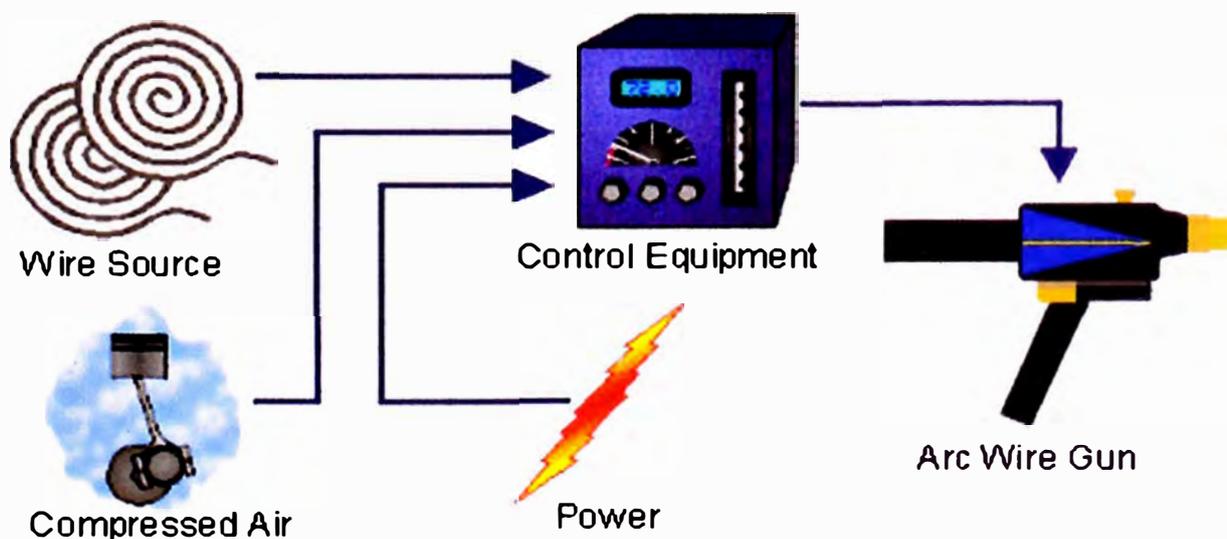


Figura 14. Instalación del proceso de termo-rociado por arco

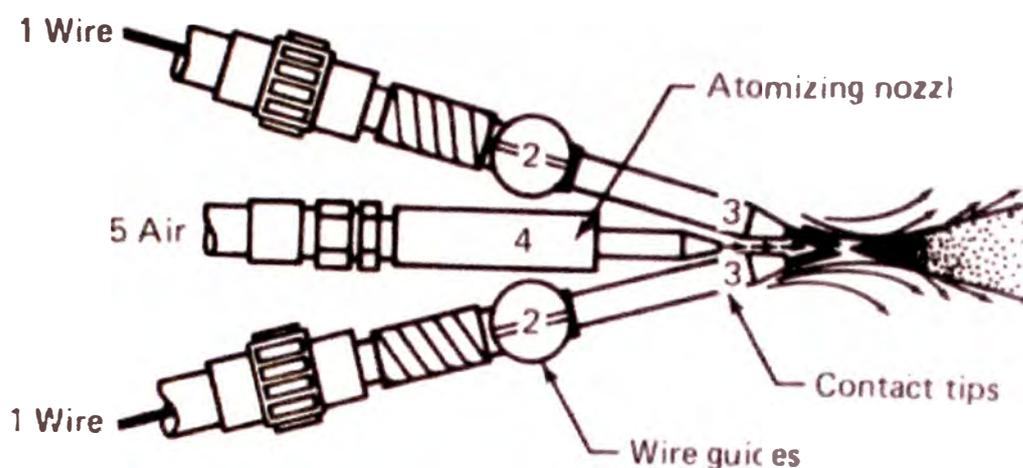


Figura 15. Corte de una pistola de termo-rocío por arco

### 3.2.3.6.- ATOMIZADO DE RECUBRIMIENTO POR PLASMA

Teoría de Operación:

El termo-rocío por plasma es quizás el más flexible de todos los procesos de termo-rocío como él puede desarrollar la energía suficiente para fundir cualquier material. Desde que usa una alimentación de polvo como recubrimiento, el número de materiales para recubrimiento que pueden usarse en el proceso de termo-rocío por plasma es casi ilimitado. La pistola de plasma incorpora un cátodo (electrodo) y un ánodo (tobera) separado por una pequeña cavidad formando una cámara entre los dos. Una fuente de poder DC es aplicada al cátodo y arcos alrededor del ánodo. Al mismo tiempo, los gases pasan a través de la cámara. El poderoso arco es suficiente para despojar los gases de sus electrones y el estado de la materia conocido

como plasma es formada. En el punto de recombinación, las temperaturas pueden estar entre los 6,600 °C a 16,600 °C (12,000 °F a 30,000 °F), los cuales exceden la temperatura de la superficie del sol. Por inyección del material recubrimiento hacia la estela del gas, es fundido y propulsado hacia el componente.

Los gases para el plasma típicos son Hidrógeno, Nitrógeno, Argón y Helio. Varias mezclas de estos gases (normalmente 2 de los 4) son usados en la combinación con la corriente aplicada al electrodo para controlar la cantidad de energía producida por un sistema de plasma. Desde que el flujo de los gases y la corriente aplicada puedan ser regulados con precisión, recubrimientos con resultados repetitivos y previsibles pueden ser obtenidos. Además, el punto y ángulo del material inyectado sobre la estela también a una distancia de la pistola al componente pueda ser controlado. Esto proporciona un grado alto de flexibilidad para desarrollar parámetros apropiados de atomizado para materiales con temperaturas de fusión de un rango muy elevado.

La distancia de la pistola de termo-rociado por plasma desde el componente, mantiene una adecuada temperatura en la zona aplicada los cuales están en un rango adecuado de temperatura cómoda que normalmente está en el rango de 38 °C a 260 °C (100 °F a 500 °F). Los Requerimientos para un típico Sistema de termo-rociado por Plasma de muestra en la siguiente instalación:

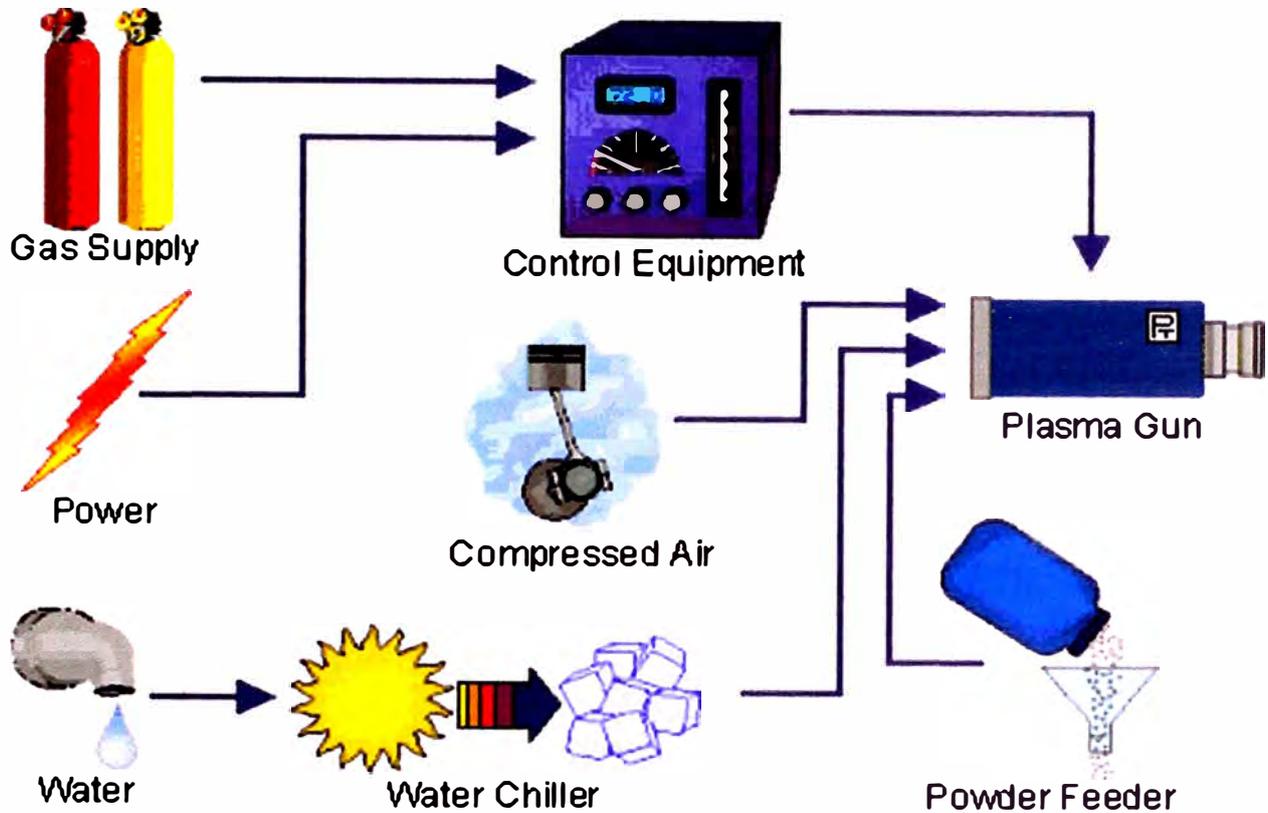


Figura 16. Esquema del termo-rocío por plasma

### 3.2.3.7.- ATOMIZADO POR LASER

El proceso de atomizado por láser es caracterizado por la inyección de un polvo por un haz luminoso usando una adecuada tobera. La radiación del láser derrite el polvo. Las partículas atomizadas son proyectadas hacia la pieza de trabajo por el gas a presión y por gravedad.

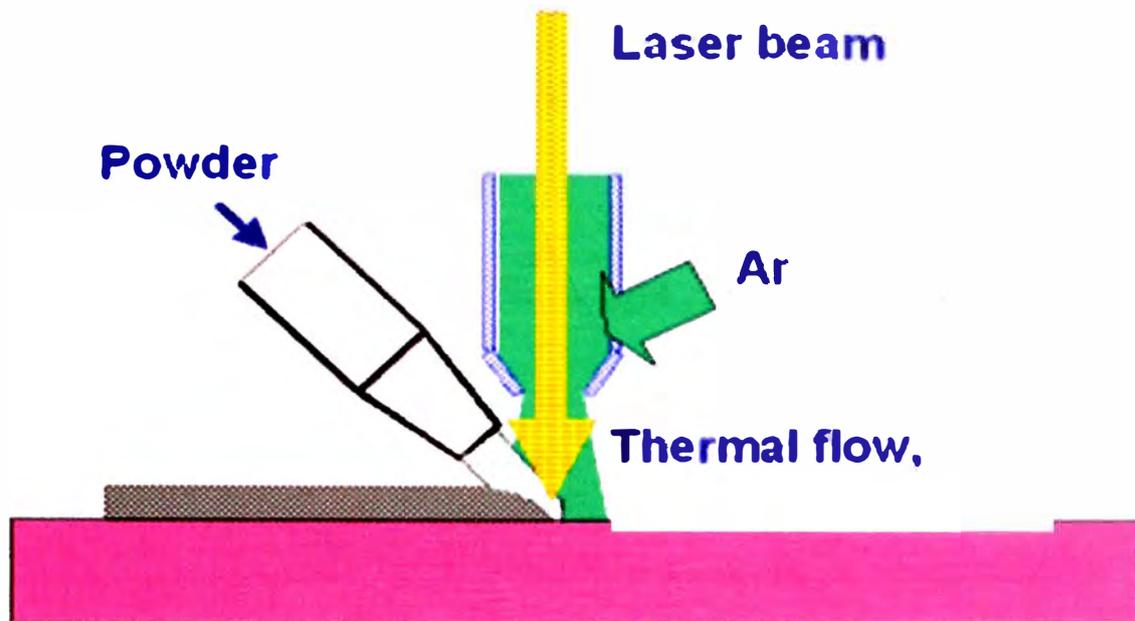


Figura 17. Esquema del atomizado por láser.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DEL RECUBRIMIENTO

#### 3.3.1 Formación y estructura de los recubrimientos

La combustión, la dinámica de los gases y la velocidad del atomizado son importantes características en la producción de recubrimientos con alto valor de adherencia, baja porosidad y densidad.

3.3.1.1 Forma del atomizado.- El material atomizado por la pistola muestra una forma cónica, con material concentrado en la zona central y menor proporción en los extremos. Según se observa en la figura 10.

En la figura se muestra lo mencionado, donde la capa densa es en la zona C. Los recubrimientos depositados en la zona identificada como A y B es extremadamente porosa.

La siguiente tabla muestra una comparación de los procesos de termo-rociado y las características del recubrimiento

### **Comparación de los Procesos de Termo-rociado y Características de los recubrimientos**

	<b>Particle Velocity m.s<sup>-1</sup></b>	<b>Adhesion MPa</b>	<b>Oxide content %</b>	<b>Porosity %</b>	<b>Deposition rate kg.hr<sup>-1</sup></b>	<b>Typical deposit thickness mm</b>
Flame	40	<8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
Arc	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	600-1000	>70	1-2	1-2	1-5	0.2-2

3.3.1.2 Deposición de las partículas.- Durante el termo-rociado las partículas fundidas se atomizan hacia la superficie a recubrir. Las partículas impactan en la superficie, se aplanan y se adhieren entre sí y de esta manera formar un denso y funcional recubrimiento sobre el sustrato.

El termo-rociado es un proceso metalúrgicamente frío, debido a que durante el proceso los componentes a recubrir no alcanzan mas de 100° C (las partículas que impactan sobre la superficie preparada previamente se han ido enfriando en el trayecto) lo que garantiza que los componentes recubiertos no varían su estructura metalográfica ni sufren deformaciones.

3.3.1.3 Propiedades del recubrimiento.- la principal ventaja del termo-rociado es la capacidad de poder variar las propiedades del recubrimiento. Un material particular puede ser atomizado para formar una dura o blanda, porosa o denso recubrimiento, dependiendo del material empleado.

a) Inspección visual.- Después del termo-rociado la superficie recubierta presenta un color mate oscuro, en la mayoría de los casos con una alta rugosidad, dependiendo del método empleado en el recubrimiento.

b) Resistencia de adhesión.- Que consiste la fuerza de adhesión entre el sustrato y el recubrimiento, ver cuadro anterior de valores de adherencia. La adhesión es una combinación tipo mecánica, de allí una ventaja ya que no se necesita de la compatibilidad entre el sustrato base y material de aporte. Ver Norma ISO 14916:1999.

c) Fuerzas residuales.- Los recubrimientos de termo-rociado contienen fuerzas residuales que provienen de la contracción durante el enfriamiento y solidificación. Pueden causar rajaduras y separación. La magnitud de las fuerzas depende del coeficiente de expansión térmica del material de recubrimiento.

El método para reducir la tensión residual en el recubrimiento es precalentar el sustrato antes del termo-rociado, hasta una temperatura aproximada de 60 ° C.

d) Dureza.- Los recubrimientos de termo-rociado poseen una estructura heterogénea. La dureza del depósito atomizado es determinada por pruebas

de macro y micro dureza. Macro dureza es la medida de la resistencia total del depósito a la penetración, y la medida está dada en Brinell o Rockwell.

e) Compresión.- Los recubrimientos de termo-rociado poseen fuerzas compresivas, que es una propiedad importante cuando se consideran cargas de rodamientos sobre ejes y bridas.

Los recubrimientos atomizados son generalmente más resistentes al desgaste que el material original. Otra ventaja es que el atomizado presenta porosidades los cuales mantienen una capa fina de lubricación además que retienen a las partículas generadas durante el uso.

f) Fatiga.- Límite de resistencia a la fatiga de los recubrimientos atomizados.

g) Ductibilidad.- La ductibilidad de un recubrimiento termo-rociado es un poco mejor que el hierro fundido.

h) Resistencia a la corrosión.- Generalmente el material de aporte es capaz de soportar la corrosión.

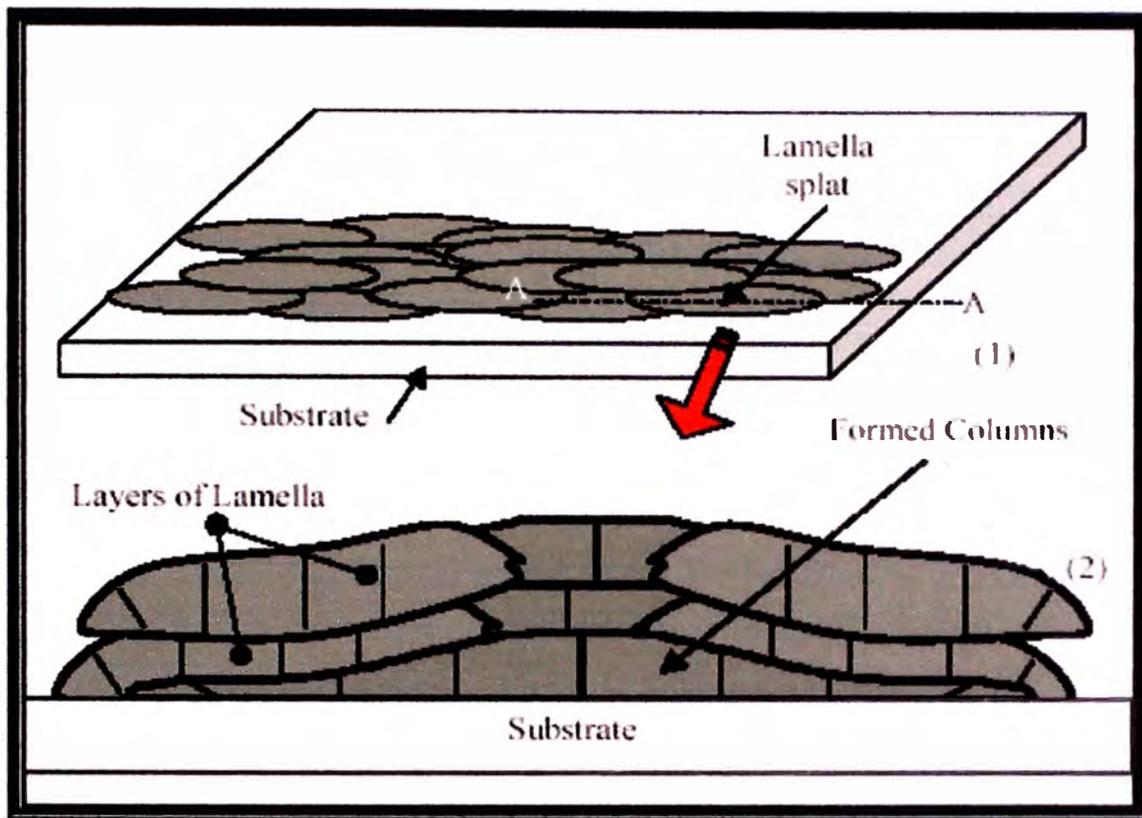


Figura 18. Un corte de sección de capa del diagrama (1) es mostrado en el diagrama 2, el cual representa la microestructura de las capas resultantes de la solidificación (columnar).

### 3.3.2 NORMA ISO 14916: 1999: Determinación de la fuerza de adherencia

#### 1.- ALCANCE

En el ensayo para determinar la fuerza de adherencia de los depósitos de Termo-rocado, la muestra es sometida a tensión.

La prueba es dirigida para determinar la fuerza del recubrimiento y/o la fuerza de la unión entre el depósito del termo-rocado y el metal base.

La prueba es usado para evaluar los efectos del metal base y el material termo-rocado, la preparación de la superficie de la pieza de trabajo, y las condiciones

de termo-rociado sobre la unión y la fuerza de adhesión de los recubrimientos por termo-rociado, o por una rutina supervisión de los trabajos de termo-rociado.

Comparativas afirmaciones están basadas en los reporte del test.

NOTA.- El método de prueba de la tensión de adhesión no es recomendada para depósitos muy delgados y porosos. En este caso, una prueba de unión ha sido probada por ser más apropiada.

## 2.- REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones los cuales, a través de referencia, constituye disposiciones de esta Norma Internacional.

## 3.- TERMINOS Y DEFINICIONES

Para los objetivos de esta Norma Internacional se aplica la siguiente definición:

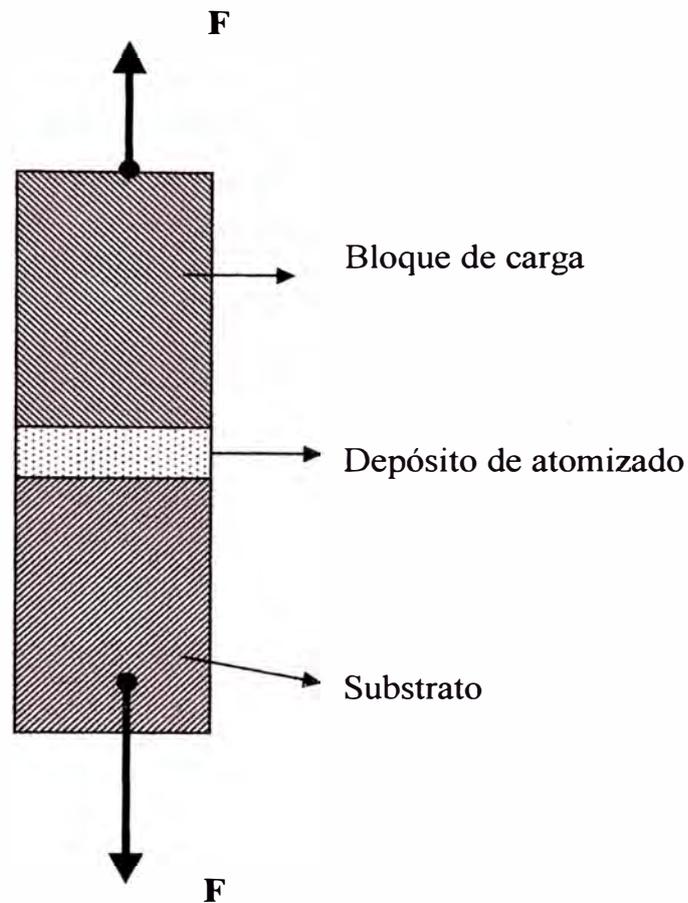
### 3.1.-Fuerza de adhesión $R_H$

Resistencia obtenida en la prueba de tensión, calculada del cociente de la máxima carga,  $F_m$ , y el área de sección de la zona fracturada.

## 4.- EQUIPAMIENTO

La máquina de prueba de tensión está de acuerdo con la Norma ISO 7500-1, Clase 1, y un sistema de apriete o fijación son usados para asegurar la concentricidad y someter a carga la muestra, según figura 19.

Figura 19. Esquema de la prueba de adherencia



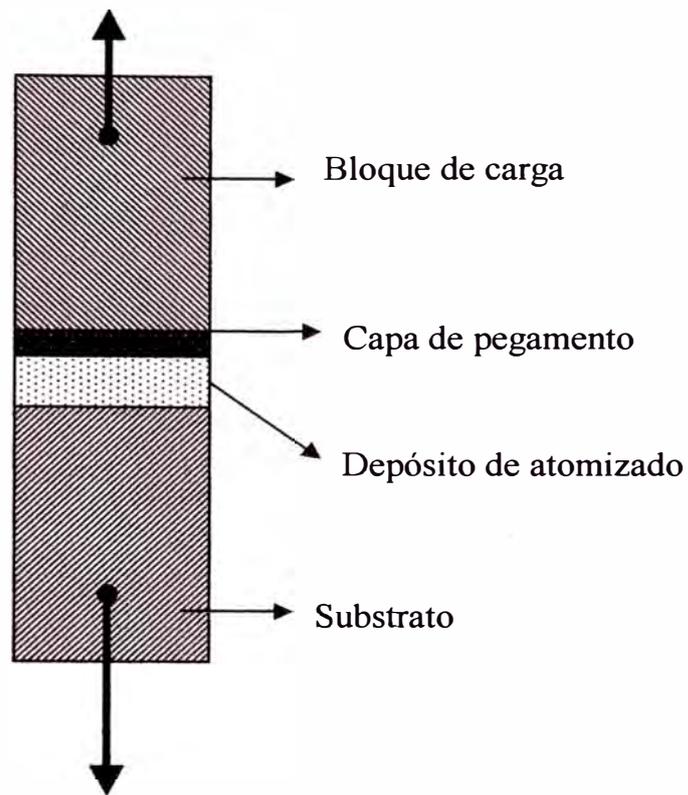
## 5.- MUESTRA

### 5.1.- FORMA

Para determinar la resistencia de adhesión en la prueba de tensión, las muestras de forma A y B de 25 mm y 40 mm de diámetros son especificados.

La muestra A (ver figura 20) consiste de un bloque de material en el cual el depósito es aplicado en la cara frontal, y el bloque carga es cual es adherido a la cara en donde está el depósito.

Figura 20. Prueba de adherencia.



Cuando se preparan las muestras, tener cuidado con la deflexión, deben ser totalmente cilíndricos, el ensamble debe ubicarse en una adecuada porta pieza y los ejes de las muestras deben ser perpendiculares al depósito frontal de la cara. En el caso metal base de baja resistencia será usado para la prueba, longitudes de rosca y diámetros serán variados según, y proporcionados con tuercas, si se requiere.

## 5.2.- PREPARACION.-

El extremo plano del bloque es hecho un metal específico y el depósito aplicado es tal que el material atomizado no pueda depositarse sobre la muestra cilíndrica.

Las muestras deben ser preparadas de la misma forma que la pieza de trabajo en la práctica. Entonces el depósito de atomizado debe ser apropiadamente preparado para un consecuente pegado adhesivo. El cuidado debe ser tomado

en cuenta para asegurar la perpendicularidad del área de depósito y los ejes de la muestra.

El bloque de carga es adhesivamente pegado al depósito de termo-rociado (muestra figura 20).

Para el procedimiento del pegado adhesivo y almacenaje de las muestras para una fijación del adhesivo, las especificaciones de fabricación del adhesivo será mostrado. Para la fijación del adhesivo, las partes de ensamble de prueba deben estar en posición vertical en el dispositivo de sujeción, y cargado verticalmente. Todos los detalles para la preparación de la muestra son una parte integral del reporte de prueba.

### 5.3.- NUMERO DE MUESTRAS A SER PROBADAS

Al menos tres muestras, depósitos de termo-rociado en un ciclo, deberán ser probados.

## 6.- PROCEDIMIENTO

La muestra con el dispositivo de sujeción es insertada en la máquina de prueba y lleva a tensión en una proporción constante hasta que la fractura ocurra. El incremento en la tensión por segundo no debería exceder los  $1000 \pm 100$  N.

La prueba será ejecutada a temperatura ambiente.

Para una serie de pruebas, iguales condiciones de prueba deben ser mantenidas.

## 7.- EVALUACION

El diámetro del bloque debe ser medido con una exactitud de 0.1 mm. Para esto, el corte transversal de la muestra en el área de la superficie de adhesión del depósito de termo-rociado debe ser calculado.

Sólo los resultados de estas muestras que muestren una fractura en el área de pegado del depósito de termo-rociado con el metal base son usados para el cálculo. Cuando la fractura es encontrada en la zona de pegado, esta muestra no debe ser incluida para el cálculo de la resistencia de adherencia.

## 8.- REPORTE DE LA PRUEBA

El reporte de la prueba debe contener la siguiente información acerca de factores para cada muestra probada de acuerdo con esta Norma Internacional:

- a) Hoja de inspección, inspector, fecha;
- b) Metal base;
- c) Pre calentamiento;
- d) Preparación de la superficie del metal base (parámetros de arenado, rugosidad);
- e) Material depositado en el termo-rociado;
- f) Método de aplicación y procedimiento;
- g) Espesor del depósito, en milímetros, con 0.01 mm de exactitud;
- h) Tratamiento posterior del depósito de termo-rociado ;
- i) Características del elemento de unión y procedimiento de aplicación;
- j) Forma y diámetro de la muestra, en milímetros, con 0.01 de exactitud;
- k) Número, colocación y posición de las muestras durante el termo-rociado;

- l) La resistencia de adhesión, en  $R_H$ , en  $N/mm^2$  para cada muestra individual, y evaluación de los valores de resistencia;
- m) La ubicación de la fractura (en el área de la superficie de adhesión, en el depósito de termo-rociado, en el material adhesivo o sobre la junta entera);
- n) Particularidades;

### 9.- POSIBLES FALLAS EN LA PREPARACION DE LA MUESTRAS Y EN LA PRUEBA

- a) Pared cilíndrica contaminada a través de adhesivo y/o depósitos de termo-rociado;
- b) Desplazamiento angular y/o posicional de los bloques;
- c) Máquina de prueba, velocidad de carga, momento final de la muestra en la máquina;
- d) Depósito de termo-rociado no uniforme en espesor;
- e) Depósito dañado a través de inadecuado tratamiento posterior al termo-rociado;
- f) No observaciones de las instrucciones del adhesivo dadas por el fabricante (humedad, almacenamiento, endurecimiento, y carga en el endurecimiento).

### 3.3.3 NORMA ISO 6508-1: 1999: Test de dureza rockwell – materiales metálicos

#### PARTE 1:

Método de prueba: escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T.

## 1.- ALCANCE:

Esta parte de la Norma ISO 6508 especifica el método Rockwell y prueba de dureza superficial Rockwell (escalas y campos de aplicación en concordancia con la tabla 1) para materiales metálicos.

Para materiales específicos y/o productos, otras Normas Internacionales se aplican (por ejemplo ISO 3738-1 e ISO 4498-1).

Nota: Para ciertos materiales, los campos de aplicación pueden ser reducidas, para estas indicaciones.

## 2.- REFERENCIAS NORMATIVAS:

Los siguientes documentos normativos contienen provisiones los cuales a través de la referencia en esta parte, constituye disposiciones de esta parte de la Norma ISO 6508.

### **3.3.4 NORMA ISO 6508-2: 1999: Test de dureza Rockwell – materiales metálicos**

#### PARTE 2:

Verificación y calibración de máquinas de ensayo: escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T.

## 3.- PRINCIPIOS

Forzando un medidor de dureza (cono de diamante, bola de acero o metal duro) sobre una superficie de una pieza de prueba en dos pasos bajo condiciones específicas.

La medida de la profundidad  $h$  de la penetración sobre una fuerza de prueba preliminar después de remover con una fuerza de prueba adicional.

Del valor de  $h$  y los números constantes  $N$  y  $S$  la Dureza Rockwell es calculada siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza Rockwell} = \frac{F_N - h}{S}$$

#### 4.- SIMBOLOS Y DESIGNACIONES

Ver tabla siguiente:

Escala de Dureza Rockwell	Símbolo de la Dureza	Tipo de penetración Mm	Test con Fza preliminar	Test con Fza adicional	Test con Fza Total
			$F_{0N}$	$F_{1N}$	$F_N$
A	HRA	Cono de diamante	98.07	490.3	588.4
B	HRB	Bola 1.5875 mm	98.07	882.6	980.7
C	HRC	Cono de diamante	98.07	1373	1471
D	HRD	Cono de diamante	98.07	882.6	
E	HRE	Bola 3.175 mm	98.07		
F	HRF	Bola 1.5875 mm	98.07		
G	HRG	Bola 1.5875 mm	98.07		
H	HRH	Bola 3.175 mm	98.07		
K	HRK	Bola 3.175 mm	98.07	1373	

#### 3.4 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS

La selección de un material apropiado como recubrimiento involucra un trabajo de ingeniería, el cual debe determinarse de acuerdo a las condiciones de trabajo

de la pieza a recubrir, por ejemplo alojamientos de rodamiento, de retén, medio exterior, por ejemplo erosión, abrasión o corrosión, y de las propiedades físicas y químicas de ambas, del recubrimiento y el sustrato.

Considerando siempre una limitación de este recubrimiento, el de no someterse a golpe por ejemplo dientes de piñones, cucharón de cargador frontal.

Ver Anexo II adjunto para materiales de recubrimiento.

### **3.4.1 NORMA ISO 14919: 2001: TERMO-ROCIADO – Alambres, varillas y cables para el termo-rociado por flama o arco – clasificación y suministros técnicos**

#### **1.- ALCANCE**

Esta norma especifica los principales materiales usados para el termo-rociado los cuales son los polvos, alambres y varillas, los dos últimos usados por las pistolas de flama y arco eléctrico y el primero por el proceso HVOF, láser y plasma.

### **3.5 RECTIFICADO Y PULIDO DE LOS RECUBRIMIENTOS**

La manera principal de realizar el acabado de un recubrimiento termo-rociado es mediante el rectificado con rueda de esmeril abrasiva.

Según el material a rectificar se definirá un abrasivo adecuado, cada esmeril cuenta con la siguiente codificación:

1	2	3	4	5
Abrasivo Tipo	tamaño de grano	Dureza	Estructura	Tipo de liga
	<b>36</b>	<b>L</b>	<b>5</b>	<b>V</b>

Donde:

- (1) Tipo de abrasivo. La letra A indica que es Oxido de Aluminio y C que es Carburo de Silicio.
- (2) Tamaño de grano. Que indica la cantidad de granos por pulgada lineal, existen los tamaños 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 36, 46, 54, 60, 80, 90, 100, 120, 150, 180 y 220.
- (3) Dureza. Desde la letra A súper blanda y Z con alta dureza.
- (4) Estructura. Indica el grado de porosidad de la rueda.
- (5) Tipo de liga. V para tipo vitrificada y R tipo resinoide.

Variables para el rectificado:

- (1) Velocidad de la rueda
- (2) Velocidad de trabajo
- (3) Área de contacto
- (4) Refrigeración

El nivel de rugosidad alcanzado después del rectificado es el tipo N7 aproximadamente 1.6  $\mu\text{m}$ .

Los diferentes niveles de rugosidad:

▽	N11	25 μm
▽▽	N9	6.3 μm
▽▽▽	N7	1.6 μm
▽▽▽▽	N3	0.1 μm

## **CAPITULO IV**

### **PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD**

#### **4.1 ENTRENAMIENTO, PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD**

Este capítulo involucra la certificación del operador, pruebas, equipamiento, adherencia.

##### **4.1.1 ISO 14918: 1998: TERMO-ROCIADO      Appraisal Testing of Thermal Sprayers**

###### **1.- ALCANCE**

Esta Norma brinda procedimientos reglamentarios para evaluación de termo-rociadores. Se define requerimientos fundamentales, rangos de aprobación, condiciones de prueba, requerimientos de aceptación y certificación para una aprobada evaluación del rendimiento del termo-rociado.

Durante la prueba el termo-rociador debe demostrar una adecuada experiencia práctica y conocimiento del procedimiento de termo-rociado, materiales y requerimientos de seguridad, la información de estos aspectos se dan en el Anexo A.

Esta Norma debe ser usada cuando los clientes, inspectores de inspección u otras organizaciones lo soliciten o requieran.

## 2.- DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma las definiciones en EN 657 y las siguientes se aplicarán:

2.1.- Termo-rociador: una persona que ejecuta el termo-rociado con un manual o sistema mecanizado.

2.1.1.- Termo-rociado manual: Donde la pistola de atomizado es operada manualmente.

2.1.2.- Termo-rociado mecanizado: En donde algunos aspectos del proceso son mecanizados.

2.1.3.- Termo-rociado automático: Todas las operaciones típicas del proceso de termo-rociado son totalmente mecánicas incluyendo el manipuleo, por ejemplo la carga y descarga de una pieza de trabajo, son integradas en un sistema programado.

Los términos de termo-rociado manual, mecanizado y automático se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: Términos del termo-rociado

Término	Movimiento de la pistola	Movimiento de la pieza de trabajo	Carga/descarga de la pieza de trabajo
Manual	Manual	Manual/Mecanizado	Manual/Mecanizado
Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado	Manual
Automático	Mecanizado	Mecanizado	Mecanizado

2.2.- Gremio examinador o examinante: una persona u organización quien verifica la conformidad con la aplicación de la norma.

2.3.- Criterios específicos de aceptación: un documento que proporciona en detalle el criterio por el cual el termo-rociador puede ser probado para ser aprobado por una particular técnica de termo-rociado o área de aplicación.

2.4.- Probeta: es la pieza usada para la prueba.

2.5.- Muestra de prueba: una porción de corte de la probeta a fin de ejecutar una prueba específica.

2.6.- Prueba: una serie de operaciones los cuales incluyen el termo-rociado de una probeta y posteriormente un ensayo no-destructivo y/o destructivo con reporte de resultados.

### 3.- REQUERIMIENTOS INDISPENSABLES PARA APROBADAS PRUEBAS

### 3.1.- GENERAL

El criterio especificado en esta cláusula podrá ser examinado a fin de identificar la habilidad del termo-rociador en estas áreas.

Las pruebas para el termo-rociador deber ser llevadas a cabo sobre las probetas.

Para todos los procesos y operaciones de termo-rociado existen conocimientos específicos relativos al proceso, sobre los cuales el termo-rociador debe ser probado, ver Anexo A.

### 3.2.- OPERACIÓN DEL EQUIPAMIENTO

El termo-rociador debe ser probado para determinar su conocimiento del equipamiento. Para mas detalle ver Anexo 4.3.

### 3.3.- PROCEDIMIENTO DE PROTECCION

El termo-rociador debe ser probado para determinar su conocimiento adecuado del procedimiento de protección para ambas superficies preparadas y atomizadas.

### 3.4.- PREPARACION DE LA SUPERFICIE

El termo-rociador debe aprobar la preparación adecuada de la superficie a termo-rociar de la probeta el cual se usa para su calificación. El debería también mantener una apropiada preparación de la superficie durante la prueba de calificación.

### 3.5.- CONDICIONES AMBIENTALES

El termo-rociador debe dar visto bueno de las condiciones ambientales tales como la temperatura, humedad, punto de rocío, los cuales son adecuados para el atomizado de la probeta.

## 4.- LIMITE DE APROBACION

### 4.1.- GENERAL

Los termo-rociadores deben ser calificados en el proceso y método de aplicación de termo-rociar un recubrimiento específico. La calificación debe ser sólo válida para el proceso y método de aplicación. Los procesos y métodos de aplicación de termo-rociar cubiertas en esta norma son identificadas en el punto 5.2.

### 4.2.- PROCESOS DE TERMO-ROCIADO

4.2.1. Agrupación de procesos de termo-rociado: Esta norma cubre los siguientes procesos de termo-rociado:

- Atomizado por flama
- Atomizado por arco
- Atomizado por plasma
- Atomizado por alta velocidad de flama
- Atomizado por polvo

4.2.2. Método de aplicación:

- Manual

- Mecanizado

4.2.3. Materiales: Los materiales dados en el Anexo B son los materiales específicos a ser usados para la prueba. Los siguientes materiales son dados sólo para información, el cual muestra que cada material es apropiado para cada proceso.

Apropiados materiales para varios procesos:

Atomizado por flama: polvo, alambres: / Atomizado por arco:

- e. Metales y aleaciones (para propósitos de ingeniería)
- f. Zinc y aluminio y sus aleaciones (para protección de corrosión).

Atomizado por flama: Polvo, alambres:

- g. Metales y aleaciones.

Atomizado por Plasma

- h. Metales y aleaciones
- i. Cerámicas
- j. Metales base carburados

Atomizado por alta velocidad de flama

- k. Metales y aleaciones
- l. Metales base carburados

#### 4.3.- ALCANCE DE LA CALIFICACION

Los requerimientos para iniciar la calificación de los termo-rociadores serán diferentes para cada una de las clasificaciones citados en 5.2. Las calificaciones en una categoría (proceso y método de aplicación) podrían no implicar alguna habilidad o experiencia práctica en la técnica específica del termo-rociado.

Las calificaciones del nivel del termo-rociador deben ser indicadas por el proceso de termo-rociado, seguido por los métodos de aplicación.

#### 4.4.- SUPERVISION

El termo-rociado y ensayo de las probetas deben ser verificadas por un organismo certificador.

#### 4.5.- FORMAS Y DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

Las formas y dimensiones de las probetas y las pruebas de las muestras son detalladas en el criterio específico aceptado para cada proceso de termo-rociado.

#### 4.6.- METODOS DE ENSAYO

Estos deben ser detallados en el criterio específico aceptado. Cuando las muestras son metalógraficamente examinadas, entonces deben ser comparadas con las probetas los cuales son conocidas por estar satisfactoriamente, los cuales han sido montadas y pulidas en la misma forma, y al mismo tiempo, evitar la preparación de discrepancias.

#### 4.7.- REQUERIMIENTOS ACEPTADOS PARA PROBETAS

Los requerimientos aceptados para probetas son detallados en el criterio específico aceptado. Los métodos de ensayo deben ser evaluados de acuerdo a los requerimientos específicos aceptados para cada proceso de atomizado y tipo de material en el criterio específico aceptado.

#### 4.8.- MATERIAL ATOMIZADO PARA LOS ENSAYOS

Para cada categoría de equipamiento mostrada en 4.2.1 hay una variedad de tipos de consumibles como se detalla en 4.2.3. El termo-rociador puede elegir probar una de estas categorías.

### 5.- INSPECCION Y PRUEBA

El termo-rociador debe ser probado de dos maneras. Primeramente deberá completar una prueba de conocimiento del trabajo para determinar su conocimiento del proceso, y segundo deberá experimentar una prueba práctica para demostrar sus habilidades en el área apropiada.

#### 5.1.- PRUEBA DE CONOCIMIENTO DE TRABAJO

El termo-rociador debe completar satisfactoriamente una prueba que involucre un proceso apropiado de recubrimiento, método de aplicación y material. La prueba escrita debe ser preparada por el certificador, para aspectos particulares de prueba, ver anexo A.

#### 5.2.- PRUEBA PRÁCTICA

El termo-rociador debe ser probado para determinar si tiene las habilidades prácticas necesarias para el proceso de termo-rociado, como se detalla en el criterio específico aceptado (de acuerdo al Anexo A y Anexo B).

## 6.- RE-ENSAYO

### 6.1.- GENERAL

En el caso de encontrar falla del termo-rociador a los requerimientos de esta norma, una re-evaluación puede ser programada, pero tomando en cuenta un adicional entrenamiento y normalmente dentro de los tres meses de la última prueba.

### 6.2.- PRUEBA ADICIONAL

Si durante el atomizado el termo-rociador puede mostrar que existe algo anormal que pueda afectar a la probeta, un nuevo intento puede ser hecho cuando la falla ha sido corregida.

## 7.- PERIODO DE VIGENCIA

### 7.1.- APROBACION INICIAL

La vigencia de aprobación del termo-rociador se inicia desde la fecha cuando todos los requerimientos de la prueba han sido satisfactoriamente completados. Esta fecha puede ser diferente a la fecha emitida marcada en el certificado.

Una aprobación de termo-rociador debe quedarse vigente por un periodo de tres años.

## 7.2.- PROLONGACION

### 7.2.1.- PERIODO

Un termo-rociador debe requerir una recalificación cada tres años.

### 7.2.2.- TERMO-ROCIADOR Y PRODUCCIÓN DE ATOMIZADO

Los termo-rociadores deben llevar a cabo la producción de atomizado dentro del intervalo de 6 meses o mas.

### 7.2.3.- PERIODOS DE INTERRUPCION EN LOS TRABAJOS DE TERMO-ROCIADO

Un termo-rociador quien no ha llevado a cabo la producción de termo-rociado por un periodo de seis meses debe seguir el procedimiento inicial de calificación para recobrar un estado de calificación.

## 7.3.- REQUERIMIENTOS

Después de la caducación del certificado, los requerimientos de recalificación deben ser satisfechos.

## 7.4.- PROGRAMACIÓN

Debe ser responsabilidad del termo-rociador y el empleador para asegurar que la recalificación tome lugar como programado.

## 7.5.- TERMO-ROCIADOR CON UNA CALIFICACION CADUCADA O CANCELADA

El termo-rociador con una calificación caducada o expirada no debe ser permitido ejecutar operaciones de termo-rociado.

## 8.- CERTIFICACION

### 8.1.- APROBACION FINAL

La aprobación final depende de la habilidad del termo-rociador para demostrar satisfactoriamente su destreza en operación de equipamientos y atomizado de recubrimientos.

### 8.2.- RECORDS

Los record de calificación y resultados de prueba deben ser mantenidos el agente certificador por un periodo de diez años.

## 9.- DESIGNACION

El test aprobado de termo-rociador debe ser designado por las siguientes informaciones:

- m. Número de esta norma
- n. Proceso de termo-rociado
- o. Método de aplicación

El test aprobado de termo-rociador EN ISO 14918 Manual de Atomizado por flama.

### 4.1.1.1 ANEXO A: CONOCIMIENTO DEL TRABAJO

## A.1 GENERAL

Para la calificación inicial del termo-rociador la prueba de conocimiento del trabajo es requerido.

Este anexo bosqueja el conocimiento de trabajo que un termo-rociador debe tener para asegurar que los procedimientos seguidos y comúnmente practicados sean obedecidos.

El test actual de conocimiento del trabajo del termo-rociador puede ser dado por uno de los siguientes métodos o combinación de estos métodos:

- p. Test escrito
- q. Examen oral
- r. Prueba de computación
- s. Prueba de demostración/ observación

## A.2 REQUERIMIENTOS

El trabajo de conocimiento del termo-rociador debe ser probado específicamente en las siguientes áreas:

### A.2.1. EQUIPAMIENTO DE TERMO-ROCIADO

Fundamentos: incluyen suministro de dispositivos de gas/energía eléctrica, componentes esenciales, sistemas de enfriamiento, para el proceso específico en el cual el termo-rociador desea pasar la prueba de calificación.

### A.2.2. PROCESO DE TERMO-ROCIADO

Fundamentos: incluyen la preparación de la pieza de trabajo, aspectos geométricos, protección, métodos de medición durante el termo-rociado, control de parámetros, almacenaje de la pieza de trabajo y post tratamiento.

A.2.3. Materiales base y consumibles (incluyen identificación, almacenaje y manipuleo).

#### A.2.4. SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

Fundamentos: incluye seguridad de ensamble, protección personal, riesgo de fuego, explosiones de polvo, riesgos eléctricos, retorno de llama, detección de fugas, radiación, ruido de acuerdo al proceso.

#### A.2.5. MÉTODOS DE PRUEBA DE RECUBRIMIENTOS DE TERMO-ROCIADO

La inspección visual, conocimientos básicos acerca de prueba de adhesión, estructura de recubrimientos e imperfecciones de los recubrimientos.

### A.3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DURANTE LA CALIFICACIÓN DE LA PRUEBA

El termo-rociador debe demostrar un entendimiento de las interacciones de limpieza, desengrase, métodos de preparación, precalentamiento y almacenaje.

El termo-rociador debe ser capaz de reconocer la aplicabilidad, aparte de eso, proponer el sistema de recubrimiento de una superficie.

El termo-rociador debe demostrar un conocimiento de los efectos del arenado y perfil y también de que nivel de preparación es requerido para diferentes tipos de recubrimientos.

Para propósitos de inspección, inapropiado, apropiadas superficies de probetas deben de presentar el termo-rociador como sigue:

- a) Superficie arenada con granalla para limpiar la superficie pero sin crear un perfil afilado;

- b) Superficie arenada por corto tiempo, deja excesiva contaminación;
- c) Superficie arenada demasiado, conduce a la pérdida del perfil.
- d) Superficie contaminada con aceite o polvo.
- e) La superficie arenada correctamente, deja una superficie con un perfil apropiado para el tipo de recubrimiento. La superficie preparada debe estar libre de polvo.

#### A.4 Otros factores a ser comprobados durante la calificación del test

##### A.4.1 Almacenaje del material

El termo-rociador debe demostrar su conocimiento con respecto a las condiciones de almacenaje y manipuleo de materiales para atomización (consumibles) y su influencia sobre la calidad del recubrimiento.

##### A.4.2 Procedimiento de protección

El termo-rociador debe demostrar su conocimiento del procedimiento de protección para ambas superficies la preparada y la atomizada. Donde ciertas áreas de una pieza de trabajo no han sido atomizadas, estas deben generalmente protegidas.

Esto puede ser hecho usando una variedad de técnicas, los cuales pueden ser apropiados dependiendo de la geometría de la pieza y del tipo de recubrimiento que ha sido aplicado.

##### A.4.3 Operación del equipamiento

El termo-rociador debe demostrar su conocimiento del equipamiento. Debe proceder con la operación del equipamiento de termo-rociado de acuerdo a los manuales proporcionados por el fabricante. El conocimiento

del termo-rociador no debe estar limitado a la operación normal; preferentemente, debe ser lo suficientemente hábil para reconocer cuando el equipo no está funcionando correctamente.

#### A.4.4 Aplicación del recubrimiento

El termo-rociador tiene que mostrar que es capaz de evaluar la preparación de la parte a ser atomizada, considerando factores geométricos tales como agujeros, roscado, etc. y operando el equipo, atomizando el recubrimiento y evaluando el resultado.

#### A.4.5 Aspectos relacionados a la seguridad de la salud personal, manipuleo seguro del equipamiento y requerimientos de seguridad ambiental.

El termo-rociador debe demostrar su conocimiento sobre estas áreas durante la prueba práctica. Sobre todo especial atención con las conexiones eléctricas, gas o de aire, ya que los principales accidentes derivan de estas conexiones.

### 4.1.1.2 ANEXO B: CRITERIOS ESPECÍFICOS DE ACEPTACION

B.1.- Atomizado por arco o flama: Zinc, aluminio y sus aleaciones para protección de la corrosión.

Instrucciones:

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y que las áreas estén de espesor uniforme.

#### Producción de la probeta

La probeta es un acero de bajo carbono de 150 mm de longitud de circunferencia, 8 mm de espesor como mínimo y 500 mm de longitud debe ser preparada arenándola y el termo-rociador no debe atomizarla sin antes aceptar la calidad de la preparación, entonces el termo-rociador debe atomizar el recubrimiento de aluminio con un espesor de 0.15 mm.

#### b) Prueba del recubrimiento atomizado

##### Prueba de espesor

El termo-rociador debe suministrar una pieza con un recubrimiento con espesores uniformes.

##### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

##### Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

#### B.2.- Atomizado por arco o flama: Metales y aleaciones para propósitos de ingeniería

##### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y que las áreas estén de un espesor uniforme.

Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo especificado debe ser cilíndrica de acero de bajo carbono de 75 mm de diámetro por 250 mm de longitud,

b) Prueba del recubrimiento atomizado

Prueba de espesor

El termo-rociador debe suministrar una pieza con un recubrimiento con espesores uniformes.

Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser maquinada para confirmar un adecuado espesor de recubrimiento.

Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

B.3.- Atomizado por flama: Aleaciones fundidas para propósitos de ingeniería

Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y si las áreas son un espesor uniforme.

Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo especificado debe ser cilíndrica de acero de bajo carbono de 75 mm de diámetro por 250 mm de longitud, los dos extremos deben ser maquinados hasta 50 mm de diámetro por cada lado.

b) Prueba del recubrimiento atomizado

Prueba de espesor

El termo-rociador debe suministrar una pieza con un recubrimiento con espesores uniformes.

Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser maquinada para confirmar un adecuado espesor de recubrimiento.

Prueba de dureza

Como se ha descrito en una de las normas.

B.4.- Atomizado por plasma - Metales y aleaciones: materiales para propósitos de ingeniería

#### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y si las áreas son un espesor uniforme.

#### Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo especificado debe ser cilíndrica de acero de bajo carbono de 50 mm de diámetro por 250 mm de longitud, maquinarse una profundidad de 0.5 mm por una longitud de 150 mm centralmente.

b) Prueba del recubrimiento atomizado

#### Prueba de espesor

El termo-rociador debe suministrar una pieza con un recubrimiento con espesores uniformes.

#### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

#### Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser maquinada para confirmar un adecuado espesor de recubrimiento.

### Prueba de dureza

Como se ha descrito en una de las normas.

## B.5.- Atomizado por plasma - Metales carburados: materiales para propósitos de ingeniería

### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

#### a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y si las áreas son un espesor uniforme.

### Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo especificado debe ser un tubo de acero de bajo carbono de 50 mm de diámetro por 5 mm de espesor de pared y 150 mm de longitud.

#### b) Prueba del recubrimiento atomizado

### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

### Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser rectificada hasta remover la capa de atomizado.

### Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

#### B.6.- Atomizado por plasma: materiales para propósitos de ingeniería - Cerámicas:

##### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

##### a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

Puntos particulares a notar es que la pistola de atomizado es usado en un rango de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, a una distancia de la superficie y que el recubrimiento producido esté libre de protuberancias, inclusiones de polvo y si las áreas son un espesor uniforme.

##### Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo requerido debe ser un tubo de acero de bajo carbono de 50 mm de diámetro por 5 mm de espesor de pared y 150 mm de longitud.

##### b) Prueba del recubrimiento atomizado

##### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

##### Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser rectificada hasta remover la capa de atomizado.

##### Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

B.7.- High Velocity flame spraying: materiales para propósitos de ingeniería – metales y aleaciones:

#### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

#### Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo requerido debe ser un tubo de acero de bajo carbono de 50 mm de diámetro por 5 mm de espesor de pared y 150 mm de longitud.

Material a atomizarse 316L.

b) Prueba del recubrimiento atomizado

#### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

#### Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser rectificada hasta remover la capa de atomizado.

#### Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

B.8.- High Velocity flame spraying: materiales para propósitos de ingeniería metales carburados

#### Instrucciones

El equipamiento de cualquier tipo, debe ser operado por el termo-rociador en concordancia con las instrucciones de los fabricantes.

a) Prueba práctica de las habilidades del termo-rociador

#### Producción de la probeta

La probeta de acuerdo a lo requerido debe ser un tubo de acero de bajo carbono de 50 mm de diámetro por 5 mm de espesor de pared y 150 mm de longitud.

b) Prueba del recubrimiento atomizado

#### Calidad del atomizado

Usando la pieza atomizada el inspector debe inspeccionar la textura del recubrimiento y libre de protuberancias, inclusiones de polvo.

#### Prueba de maquinado

Después de una inspección visual la pieza debe ser rectificada hasta remover la capa de atomizado.

#### Prueba de adhesión

Como se ha descrito en una de las normas.

Adicionalmente de esta prueba del termo-rociador, el componente trabajado cuenta con una característica muy importante, denominada la medida final de acabado inspeccionada por Control de Calidad, en la cual nos basaremos en la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 9001: 2001, en su punto 7.6 Control de los dispositivos de seguimiento y medición, en la cual se refiere a que el equipo de medición debe:

- a) calibrarse o verificarse a intervalos especificados o antes de su utilización, comparado con patrones de medición trazables a patrones de medición Peruanos o internacionales;

- b) ajustarse o reajustarse según sea necesario;
- c) identificarse para poder determinar el estado de calibración;

Con el objeto de verificar las mediciones de la zona recuperada.

#### 4.1.2 ISO 14922-1: 1999: TERMO-ROCIADO: REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE ORGANIZACIONES DE TERMOROCIADO

Esta norma especifica directivas para describir requerimientos de calidad adecuados aplicables por las empresas que trabajan con procesos de termorociado.

La siguiente tabla todos los requerimientos de calidad para una instalación.

Tabla 2. Requerimientos de calidad para una instalación

<b>Requerimientos de calidad</b>	<b>Check list</b>
Revisión de contrato	
Revisión del diseño	
Sub-contratista	
Termorociador	
Coordinación del termorociado	
Inspección del personal	
Equipamiento de producción	
Descripción del equipamiento	
Aplicación del equipamiento	
Mantenimiento del equipamiento	
Aspectos de salud y ambiente	
Planes de producción	
Especificaciones del procedimiento de termorociado	
Instrucciones de trabajo	
Documentación	
Pruebas de los materiales consumibles	
Almacenamiento y manipuleo de los consumibles	
Almacenamiento y manipuleo de los componentes	
Inspección y prueba antes del termorociado	
Inspección y prueba durante el termorociado	
Inspección y prueba después del termorociado	

Inspección y estado de la prueba	
No conformidades y actividades correctivas	
Calibración	
Registros de calidad	

## 4.2 SEGURIDAD

Es recomendado que todo el personal deba estar familiarizado con las prácticas de seguridad y las normas de seguridad. Como normas aplicables se muestran en la parte 14.2.

### 4.2.1 Consideraciones de seguridad en las instalaciones

#### 4.2.1 Prevención y protección contra incendio

Manipule con cuidado las pistolas de termo-rociado durante su operación para evitar incendio o causar daño (según AWS Safety and Health Fact Sheet No 6).

#### 4.2.2 Consideraciones de operación seguras

Todo almacenaje, manipuleo y uso de oxígeno y todo cilindro con gas combustible debe estar en concordancia con la norma ANSI/AWS Z49.1, Safety in Welding and Cutting.

#### 4.2.3 Equipos de termo-rociado por flama

Los equipos deben ser mantenidos conforme a las recomendaciones del fabricante.

#### 4.2.4 Equipos de termo-rociado por Arco y plasma

Los métodos de plasma y arco involucran aparatos no usados en otros equipamientos de termo-rociado. Alto voltaje y amperajes representan un riesgo eléctrico. El operador debe estar capacitado en la operación antes de usarlos. Las operaciones efectuadas deben estar de acuerdo con ANSI Z49.1 y AWS Safety and Health Fact Sheet No 5.

#### 4.2.5 Máquinas de granallado

Las máquinas de arenado deben ser mantenidas de acuerdo a recomendaciones del fabricante, con adecuado mantenimiento de las válvulas y mangueras.

### **4.2.2 Consideraciones de seguridad del personal**

#### Protección del personal

Los requerimientos generales para la protección de operadores de termo-rociado son las mismas que de los soldadores, como se publican en ANSI/AWS Z49.1, Safety in Welding and Cutting; Standard Practices for Occupational and Educational Eye and Face Protection; ANSI Z88.2, Normas Prácticas para Protección de la Respiración; y ANSI Z89.1, Standard Practices for Industrial Head Protection with Low Voltaje Hazards.

4.2.2.1 Protección de los ojos. Casco, guantes, caretas, o gafas son necesarias para proteger los ojos durante el termo-rociado u operaciones de arenado. Estos son descritos en ANSI Z87.1 y Z89.2. es necesario para los operadores usar gafas para protección contra la radiación infrarroja y ultravioleta. En la figura 21 muestra los efectos de radiación del proceso HVOF.

El casco, la careta o gafas deben ser equipados con un adecuado filtro protector de los ojos.

4.2.2.2 Protección de la respiración. Las operaciones de termo-rociado y arenado requieren dispositivos de protección de respiración usadas por el operador. La selección de estos dispositivos debe ser en concordancia con ANSI Z88.2

4.2.2.3 Protección contra ruido. Todo personal en las cercanías donde se opera el proceso de termo-rociado deben ser provistos con protectores de oídos si los niveles de ruido exceden los límites establecidos por la OSHA (Occupational Safety and Health Act) en el párrafo 1910.95 titulado "Occupational Noise Exposure". La siguiente tabla muestra los niveles de intensidad de ruido para varios procesos de termo-rociado. La figura 22 muestra una comparación entre todos los niveles de ruido que se presentan en la faceta diaria comparadas con el sistema HVOF.

Tabla 3: Niveles de intensidad de ruido para los procesos

	<b>LVOF</b>	<b>HVOF</b>	<b>Arc</b>	<b>Plasma Arc</b>
Temperature	to 5000°F	To 6000°F	4000– 15,000°F	4000 –15,000°F
Velocity	40 m/s (<Mach 1)	600–1000 m/s (to Mach 5)	100 m/s (<Mach 2)	200 – 300 m/s (to Mach 2)
Dba (Sound Level)	110	150	115	132
Spray Distance	10–25 cm	15–45 cm	6-15 cm	6-15 cm

Tabla 4. Niveles aproximados de la intensidad de ruido para varios procesos de termo-rociado según Sulzer METCO.

Equipamiento	Sistema de fijación	Nivel dB
Pistolas de arco eléctrico	Steel 24V/200A.	111
	Steel 32V/500A	116
Pistolas de polvo	Acetylene w/o Spray booth	89-93
	Acetylene w/spray booth	90-94
	Acetylene w/spray booth and air jet cooling	111
	Hydrogen w/o spray booth	100
	Hydrogen w/ spray booth	101
Pistolas de combustión	Acetylene	114
	Propane	118
	Propane and non-load hardware	125
Pistolas de plasma	Nitrogen – 600A	135
	Nitrogen / Hydrogen – 600 <sup>a</sup>	133
	Argon – 1000A	128
	Argon/Hydrogen – 600A	132
	Argon / Helium – 600A	127
	Argon / Nitrogen – 1000A	131
Pistolas HVOF	Standard Air-Cooled Diamond Jet (all gases)	140
	Diamond Jet Hybrid (all gases)	150
Equipamiento de arenado		80-85
Equipamiento exhaustor		>90

Tabla 5. Duración en horas por día del nivel de ruido permisible

Duración (horas/día)	Nivel de ruido permisible (dB)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 o menos	115

Equipamiento aislado. Es nivel de ruido puede ser aislado con un equipamiento acústico. El cual se presenta en la figura 23.

Proveer con protectores de oído. Según los reglamentos de la OSHA, se deben proporcionar protectores de oído.

4.2.2.4.- Ropa protectora.- Ropa protectora adecuada se requiere para cualquier operación de termo-rociado o arenado.

### 4.2.3 Condiciones Generales

Ventilación. La zona en donde realiza el termo-rociado o arenado debe contar con un exhaustor con ductos flexibles y con un colector de mangas que retenga las partículas. Este aspira todo el polvo dejando la zona con la visibilidad adecuada. Un sistema de colección de polvo es presentado en la figura 24.

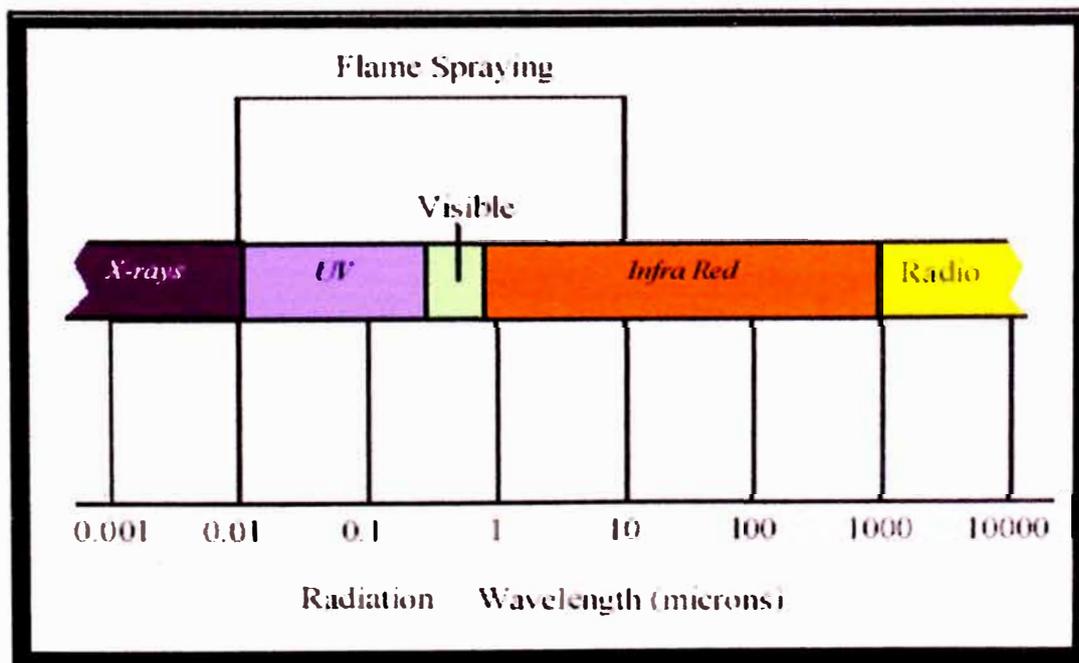


Figura 21. Efectos de radiación del proceso de termo-rociado por HVOF

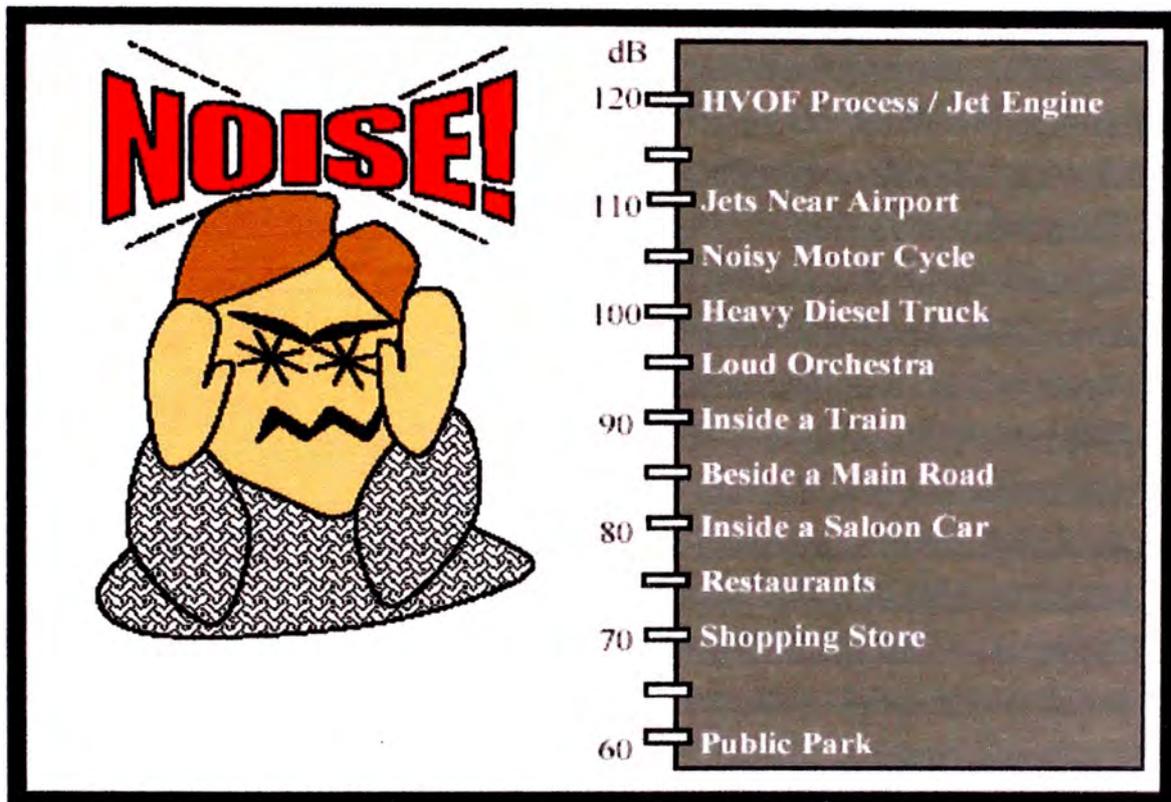


Figura 22. Comparación del nivel de ruido del proceso de termo-rociado por HVOF, comparado con el nivel de ruido diario.

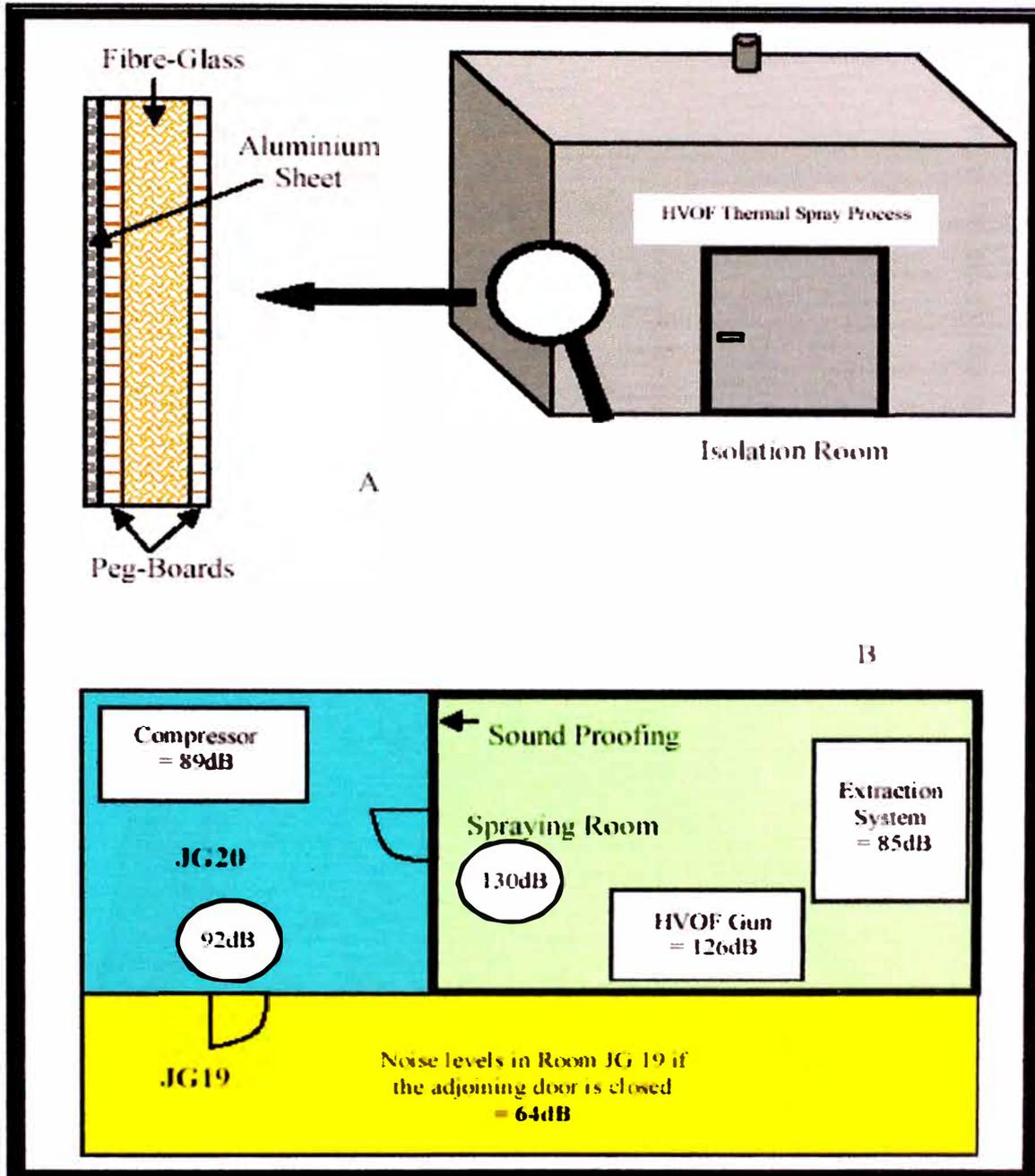


Figura 23. Esquema de corte de un sistema acústico de una sala de termo-rociado por HVOF (A) y la ubicación de los niveles de ruido medidos.

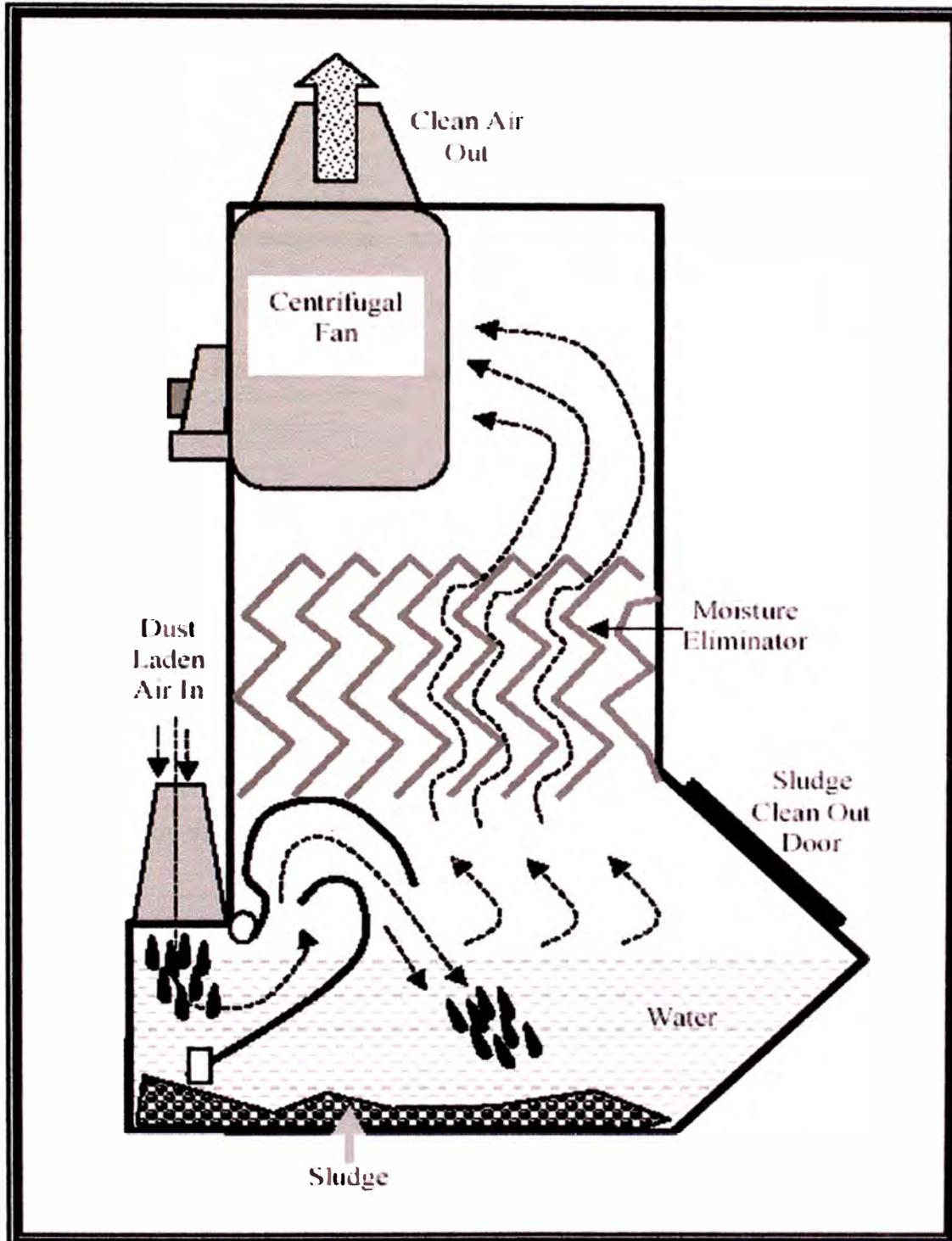


Figura 24. Esquema de un colector húmedo.

### **4.2.3 NORMA ISO 14231: 2000: Inspección adecuada de equipamientos de Termo-Rociado**

#### **1.- ALCANCE**

Esta Norma Internacional especifica requerimientos para una inspección adecuada para equipamiento de termo-rociado, incluyen plantas de atomizado por plasma, arco y llama que producen alta calidad de recubrimientos atomizados.

#### **2.- PROPOSITO**

El propósito de la aceptada inspección de equipamientos de termo-rociado es comprobar que el equipamiento es adecuado para producir recubrimientos por termo-rociado de calidad uniforme para cumplir los requerimientos de esta Norma Internacional, como programa del aseguramiento de la calidad total.

Esta Norma Internacional también pretende formar los principios de condiciones Técnicas.

Comprobar la adaptabilidad de los equipamientos de termo-rociado cuando se envía una unidad de atomizado por primera vez, pero también puede ser verificada por el usuario según se describe en estas cláusulas. Los valores obtenidos deberán ser registrados según formatos descritos. Los equipamientos de termo-rociado pueden ser considerados adecuadamente diseñados si todos los requerimientos especificados en las cláusulas son confirmados y cumplidos correctamente.

### 3.- CONDICIONES PARA UNA ACEPTADA INSPECCION

Los equipamientos de termo-rociado deben cumplir con todos los requerimientos aplicables de seguridad. El equipamiento debe ser instalado tal que el proceso de termo-rociado no sea deteriorado por otro equipamiento de producción en condiciones ambientales.

El suministro de gas proporcionado debe ser adecuado en volumen y limpieza.

Todos los equipamientos deberán operar con un manual de instrucción de operación y mantenimiento.

### 4.- ESPECIFICACION

Adecuada inspección de equipamientos de termo-rociado deberán ser especificados según lo siguiente:

**Inspección adecuada de acuerdo a la Norma ISO 14231.**

### 5.- PRINCIPIOS DE INSPECCION ADECUADA

#### 5.1.- EQUIPAMIENTO DE TERMO-ROCIADO POR PLASMA

##### 5.1.1.- ENERGIA ELECTRICA

El máximo nivel de energía debe ser mantenido para operación continua de equipamientos de atomizados por plasma, prever que la pistola de atomizado esté diseñada para tales límites funcionamiento.

### 5.1.2.- DISPOSITIVO DE IGNICION DE ALTO VOLTAJE

Otros componentes y funciones de los equipamientos de termo-rocido no deben ser afectados por operación de los dispositivos de ignición de alto voltaje.

### 5.1.3.- CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO POR AGUA

El circuito de enfriamiento por agua debe ser adecuadamente dimensionada y debería incluir dispositivos para mantener y controlar la calidad del agua, temperatura y nivel de flujo.

### 5.1.4.- GASES

Una unidad de termo-rocido por gases deberá diseñarse para permitir atomizarse con gases o una mezcla de gases especificados por el uso.

### 5.1.5.- TOBERA PARA EL PLASMA

En el proceso de termo-rocido con polvo no debe producir ningún depósito sobre y/o la tobera, que interfiera con el proceso de termo-rocido.

### 5.1.6.- CONTROL Y MONITOREO DE LA UNIDAD

Las desviaciones de los valores fijos de la presión de gas, razón del flujo del volumen de gas, razón de la alimentación de polvo, el amperaje y el voltaje del arco durante el proceso de termo-rocido debe ser monitoreado y controlado por medio de instrumentos

apropiados que puedan leer claramente y correctamente. Estos valores deben ser guardados durante una inspección aceptable.

## 5.2.- EQUIPAMIENTO DE TERMO-ROCIADO POR ARCO

### 5.2.1.- ENERGIA ELECTRICA

El máximo nivel de energía debe ser mantenido constantemente durante la continua operación de un sistema de termo-rociado por arco.

### 5.2.2.- ALIMENTACION DEL AIRE A PRESION

Las mangueras y los dispositivos de control deben ser diseñados para asegurar una correcta operación.

### 5.2.3.- SISTEMA DE TOBERA

El sistema de tobera, deben permitir un constante atomizado sin la creación de depósitos que interfieran en la operación.

### 5.2.4.- SISTEMA DE ALIMENTACION DE ALAMBRE

Un sistema de alimentación de alambre debe ser proporcionado, una pre-condición será aire a presión constante y adecuado suministro de energía eléctrica.

#### 5.2.5.- MONITOREO

Desviaciones de los valores fijados de la presión de aire, la corriente o voltaje durante el proceso de termo-rociado debe ser capaz de ser monitoreado y controlado por medio de apropiados instrumentos que pueden ser leídos claramente y correctamente. Estos valores deben ser guardados.

#### 5.3.- EQUIPAMIENTO PARA TERMO-ROCIADO CON LLAMA DE POLVO, ALAMBRE Y VARILLA

##### 5.3.1.- GASES

El equipamiento de termo-rociado con llama debe permitir termo-rociar con el gas combustible por el cual fue diseñado, así como del atomizado y transporte de gases.

##### 5.3.2.- TOBERAS

El proceso de termo-rociado debe ser posible sin la formación de depósitos de material quemado que interfieran con las operaciones de termo-rociado.

##### 5.3.3.- UNIDAD DE ALIMENTACION DE MATERIAL PARA TERMO-ROCIAR

LA unidad de alimentación de material a termo-rociar debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) La unidad debe permitir uniformizar el proceso de los consumibles por el cual fueron diseñados.
- b) La proporción de alimentación del material de termo-rociado debe ser capaz de ser regulado.

#### 5.3.4.- MONITOREO

Algunas desviaciones de los parámetros seleccionados, presión de aire y flujo de aire, que ocurren durante el proceso de termo-rociado debe ser capaz de ser monitoreado y controlado por medio de apropiados instrumentos que pueden leerse claramente y correctamente.

Por último en toda infraestructura siempre debe haber carteles de seguridad, como la que se muestra en la figura 25.

Figura 25. Señales de seguridad para equipamientos de termo-rociado

	Dust mask must be worn.		Ultraviolet, infra-red or other damaging light radiation present.
	Protective clothing must be worn.		Noise hazard present.
	Sound attenuating ear protection must be worn.		Highly flammable material (this symbol may appear on material product labels)
	UV Eye protection must be worn.		Irritant present (this symbol may appear on material product labels)
	Respiratory protection must be worn.		Poisonous material present (this symbol may appear on material product labels)
	Hand protection must be worn.		Fire and open flames prohibited.
	Explosion hazard, explosive material present.		Use of grease or lubricants prohibited.
	Flammable material or presence of high temperatures.		Smoking is prohibited.

## **CAPITULO V**

### **EQUIPAMIENTO DE PROCESO HVOF**

Este proceso permite aplicar recubrimientos de modo continuo y de calidad igual o superior, ya que la velocidad a la que viajan las partículas (2 a 4 veces la velocidad del sonido) desde la pistola hasta la pieza a recubrir es un factor crítico en estos sistemas.

La mayoría de los recubrimientos que se hacen por proyección térmica trabajan a tracción. Estas tensiones son originadas por contracción de enfriamiento de las partículas y cada una tiende a separarse de las otras y de la base. Esto puede provocar fisuras o deformar la pieza dándole una curvatura cóncava. Las magnitudes de las tensiones se incrementan con el espesor del depósito y pueden en algún momento vencer la resistencia de adherencia y separar el recubrimiento de su base.

El recubrimiento HVOF produce recubrimientos que trabajan a compresión. Esta condición, es muy deseable, permite aplicar espesores sin riesgo a agrietar o desprender, las tensiones residuales a compresión de los materiales aportados por este proceso proviene de una menor temperatura de las partículas y de su alta velocidad de impacto.

#### **5.1 PRINCIPIOS**

El objetivo del proceso HIGH VELOCITY OXY-FUEL (HVOF) es transferir energía cinética y térmica a partículas de polvo, con alta efectividad. Esta energía es conseguida por una combinación de gases que combustionan y propulsan estas partículas. El sistema de termo-rociado por HVOF consiste de

una unidad suministradora de gas, unidad flujómetro, unidad alimentadora de polvo, una pistola Diamond Jet (DJ). La descripción de esta unidad y sus principios de trabajo son presentados en esta parte. Ver esquema figura 26.

## **5.2 UNIDAD SUMINISTRADORA DE GAS**

El sistema de termo-rociado HVOF usa oxígeno y propileno como gas de combustión. Oxígeno es usado como un oxidante durante la combustión, y se requiere alta proporción de flujo. Propileno es usado como combustible durante la combustión. Aire comprimido es también usado por el sistema por dos razones. Una pequeña proporción del aire comprimido es usado como enfriamiento de la cámara de la combustión de la pistola (cuando la pistola es enfriada por aire), mientras que la mayor cantidad de aire a través de la tobera acelera las partículas hacia el substrato. El aire comprimido requiere de una unidad de control de aire, para filtrar y controlar la presión de aire hacia la pistola. La presión del aire comprimido está en el rango de 6.8 a 10.2 Bar, y el flujo desde 300 a 1500 SLPM (Standard Litres Per Minute).

La presión óptima de estos gases depende del material en polvo usado para la deposición y la presión requerida puede ser encontrada en cuadros del fabricante.

Un ejemplo del cuadro para la aplicación de polvo de carburo de tungsteno al cobalto, se muestra en la tabla 6.

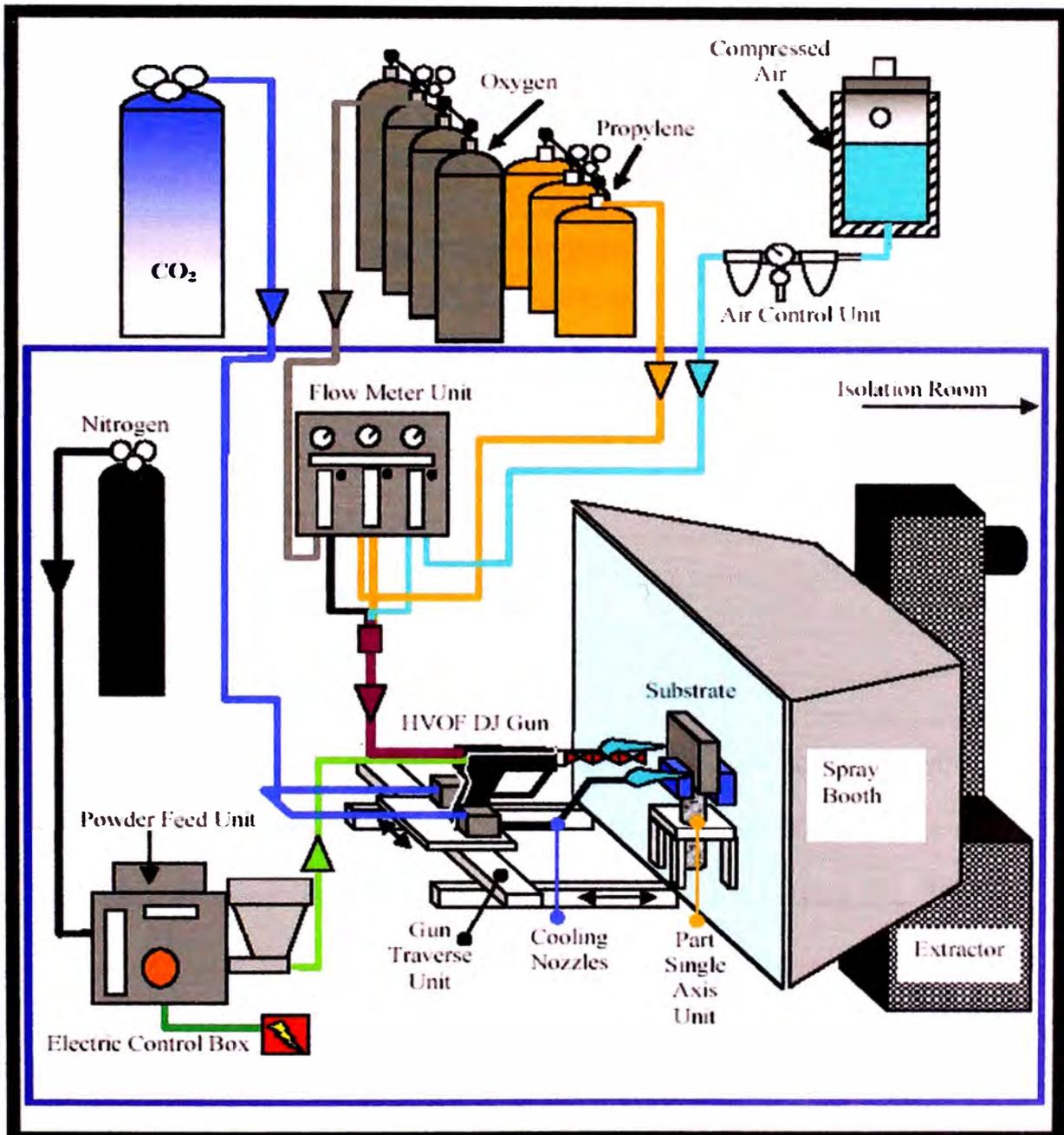


Figura 26. Esquema de unidad de termo-rocido HVOF.

Tabla 6. Parámetros de atomización sugeridos por Sulzer Metco para la deposición de Carburo de Tungsteno al Cobalto

	Carburo de Tungsteno al Cobalto
Parámetros de Atomizado	
• Presión de Oxígeno (Bar)	10.0
• Flujo de Oxígeno (SLPM)	265.0
• Presión del Propileno (Bar)	6.9
• Flujo del Propileno (SLPM)	73.0
• Presión de Aire (Bar)	5.2
• Flujo de Aire (SLPM)	325.0
Distancia de atomizado (mm)	200
Flujo de alimentación del polvo (g/min)	38
SLPM = Standard Litres Per Minute	

### 5.3 FLUJÓMETRO

La proporción de flujo de cada suministro de gases, oxígeno, propileno y aire comprimido, son controlados por un Type DJF Gas Flow Meter Unit. Las proporciones son especificadas dependiendo de las condiciones de la pistola de termo-rociado y el material utilizado. El cual consiste de tres flujómetros de tubos de vidrio, los manómetros y válvulas de flujo como se muestra en la figura 27.

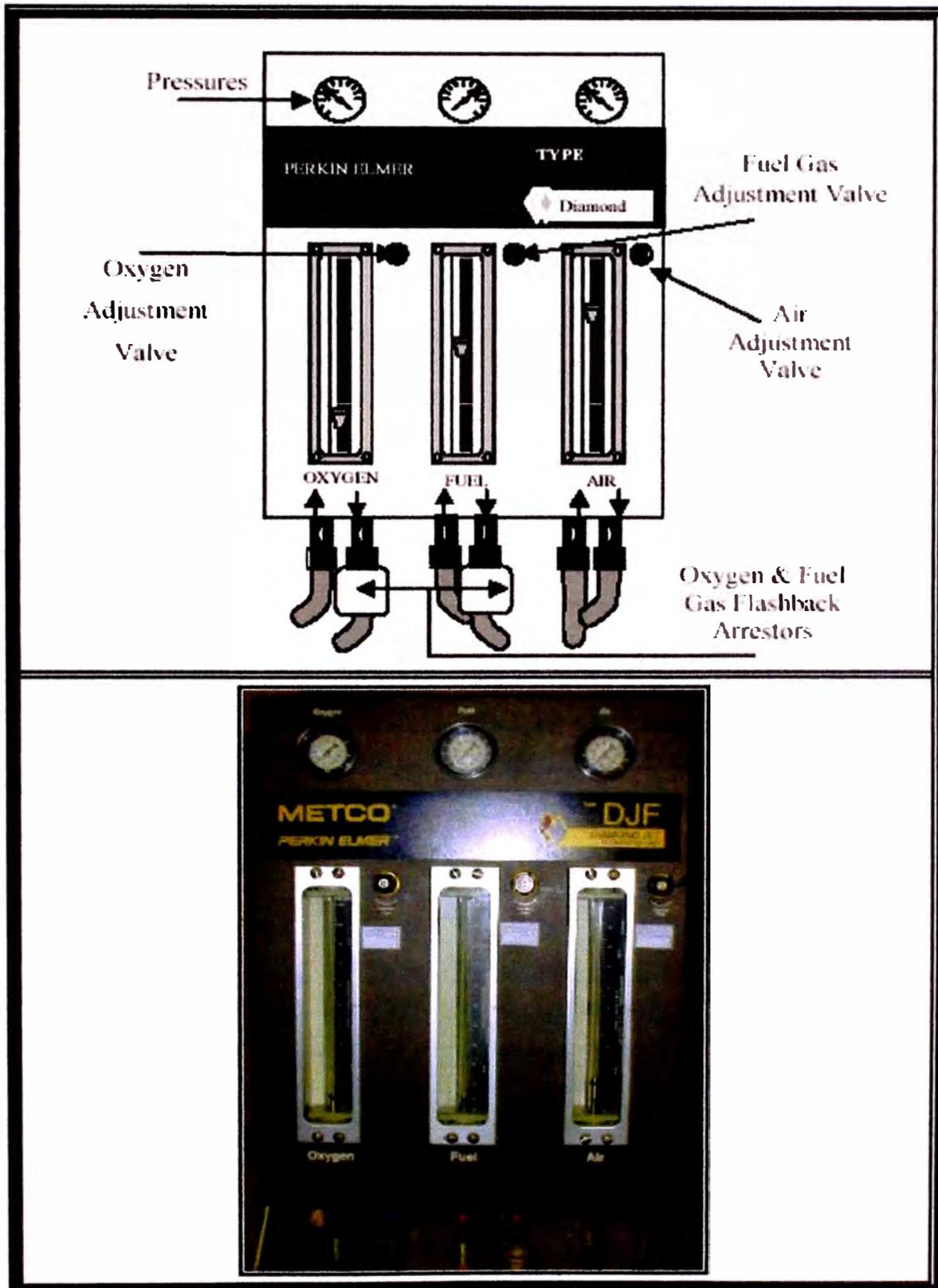


Figura 27. Flujómetro de una unidad tipo Diamond Jet en el proceso HVOF

#### **5.4 UNIDAD ALIMENTADORA DE POLVO**

La unidad alimentadora de polvo comprende de una tolva, vibrador de aire, indicador de presiones, caja metálica que controla y mide el flujo alimentación como se muestra en la figura 28. Lo que se busca es alimentar el polvo desde la unidad alimentadora de polvo por medio de transporte de gas. El material polvo es colocado dentro de la tolva, por presión de gas (nitrógeno) dentro de la cámara y por la acción de un vibrador de aire, el polvo cae a la salida (figura 29) el nitrógeno transporta el flujo de gas a través de este punto, mientras se realiza ello, el polvo sigue un trayecto hasta la cámara de combustión de la pistola. Desde que el nitrógeno es un gas inerte, pueden ser colocados en un área cerrada. La alimentación del polvo hacia la cámara de combustión dentro de la pistola Diamond Jet, es activada por un interruptor y la cantidad de flujo de material termo-rociado es en libra/hora.

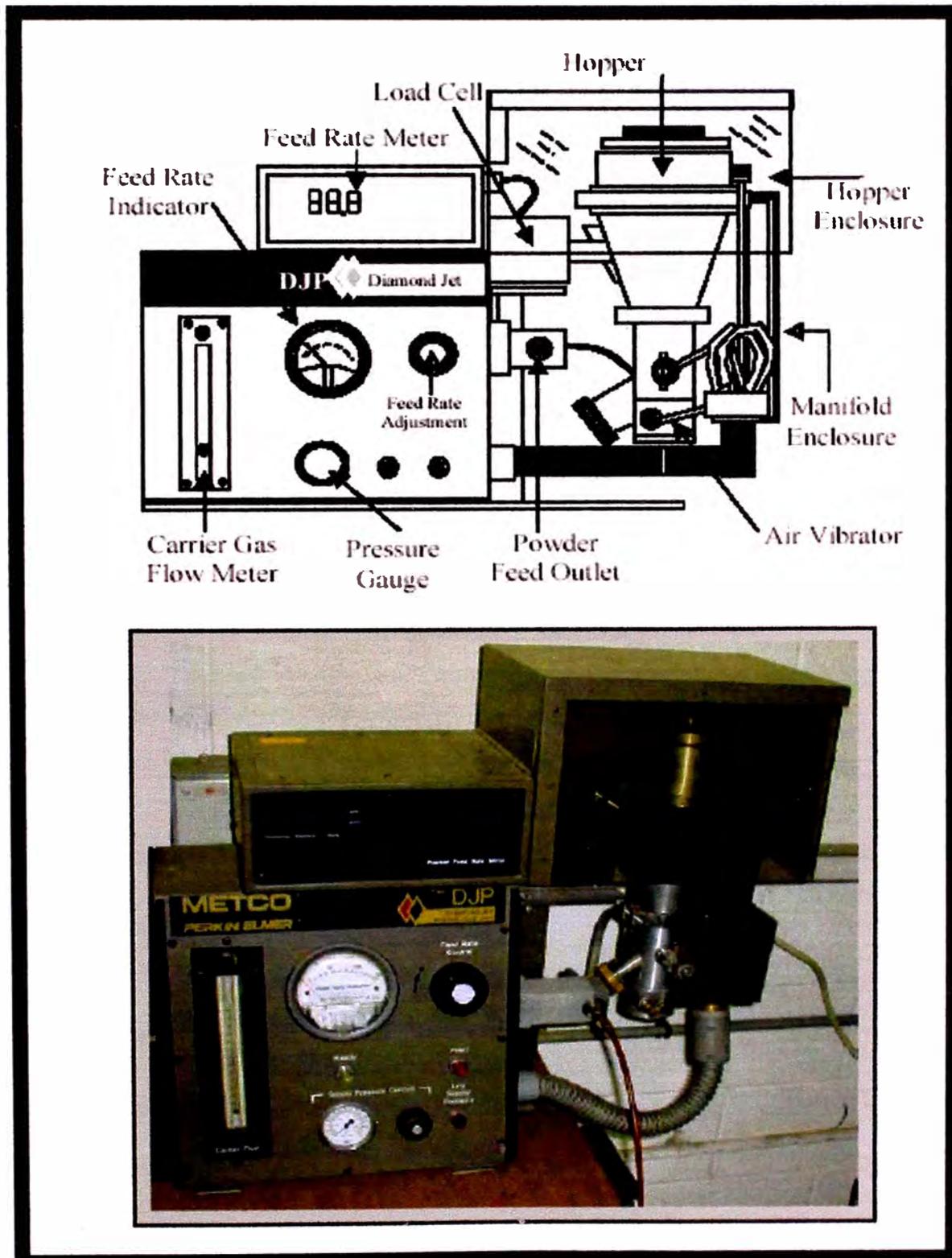


Figura 28. Unidad de alimentación usada en el proceso HVOF

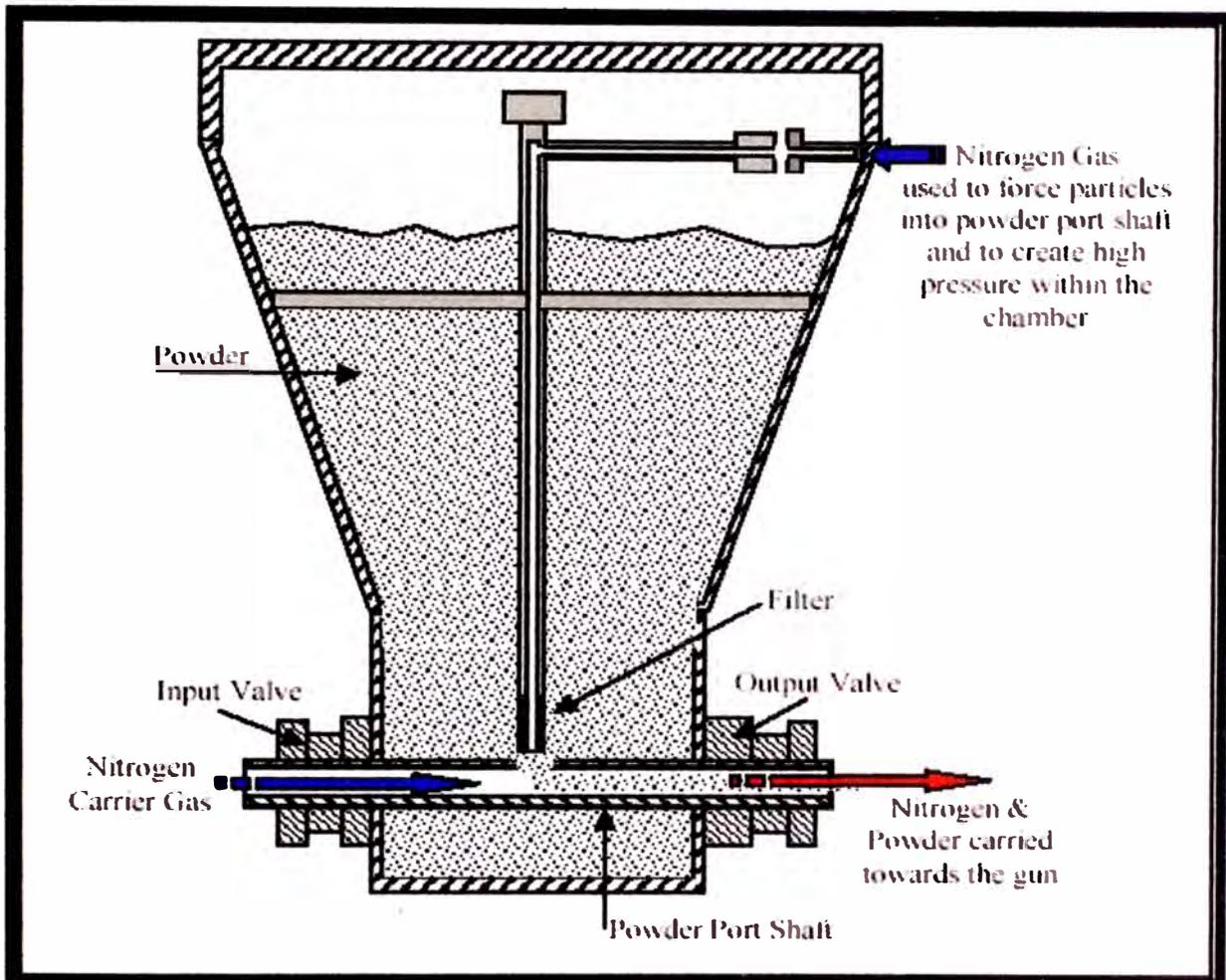


Figura 29. Corte de sección del ensamble de la tolva sobre la unidad de alimentación de polvo en el DJP

### 5.5 DIAMOND JET (DJ) GUN

Una muestra y foto de una pistola Diamond Jet (DJ) se muestra en la figura 30. La pistola pesa aproximadamente 2.27 kg. El sistema de gases y polvo ingresan por la parte trasera pasan axialmente a través de él hacia el frente donde se mezclan los gases y la combustión ocurre por encendido de la pistola en el frente. El frente consiste de varias toberas e insertos para controlar los flujos individuales de los gases. Estas toberas e insertos incrementan la presión de los

gases y esto, juntos con la combustión de los gases, incrementan la velocidad de las partículas mayores de 1350 m/s. Los tamaños de las toberas e insertos pueden ser cambiados dependiendo del tipo de polvo a usar. Los materiales tienen diferente temperatura de fusión y tamaños de grano, por consiguiente la variación del flujo de gas incrementa o disminuye la temperatura de combustión (para la fusión de las partículas) en la cámara, y la velocidad del polvo material. La parte frontal de la pistola consiste de cuatro concéntricos ensambles, un inyector de polvo, sifón conector, una tobera y válvula de aire (air cap), como se muestra en la figura 31.

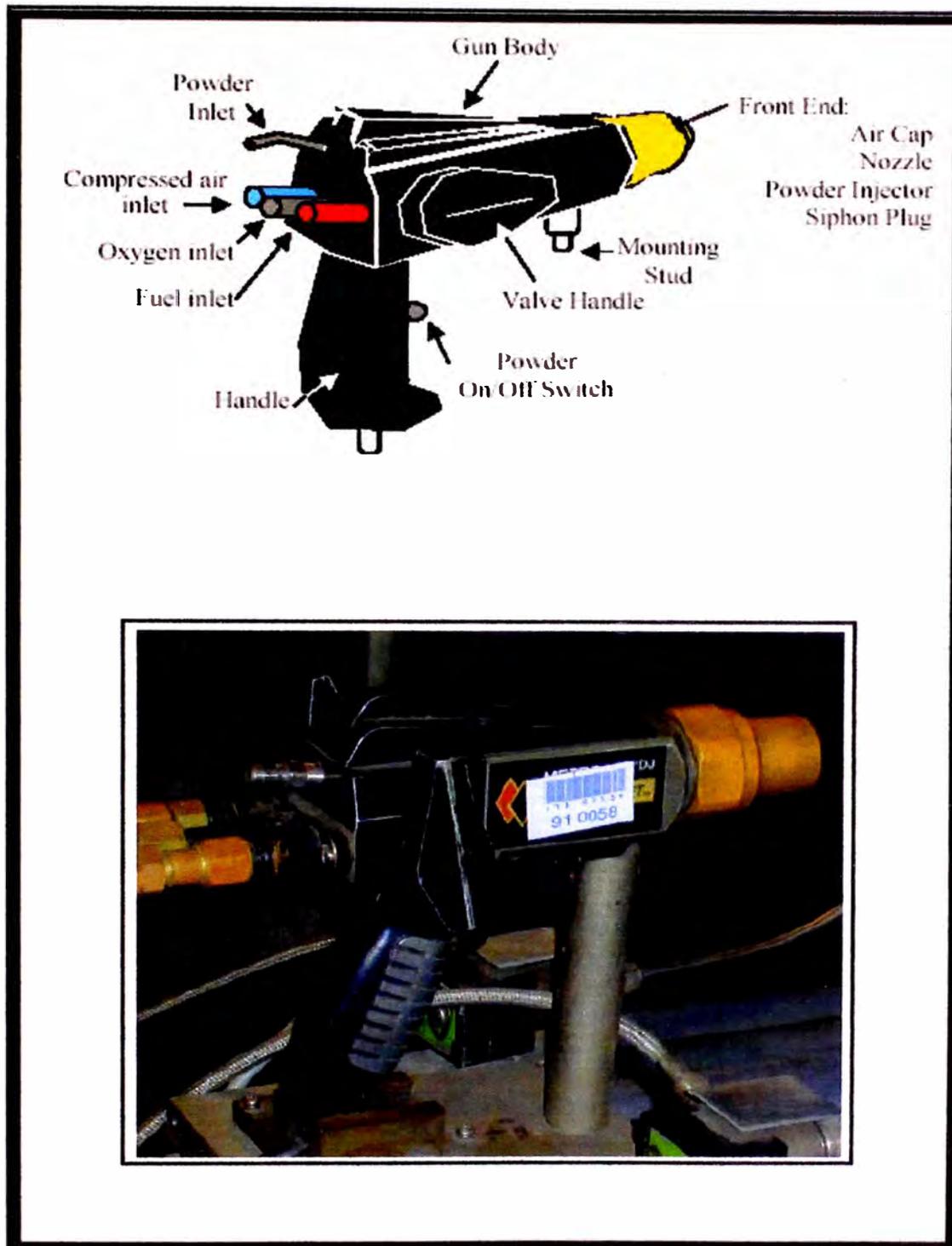


Figura 30. Pistola HVOF

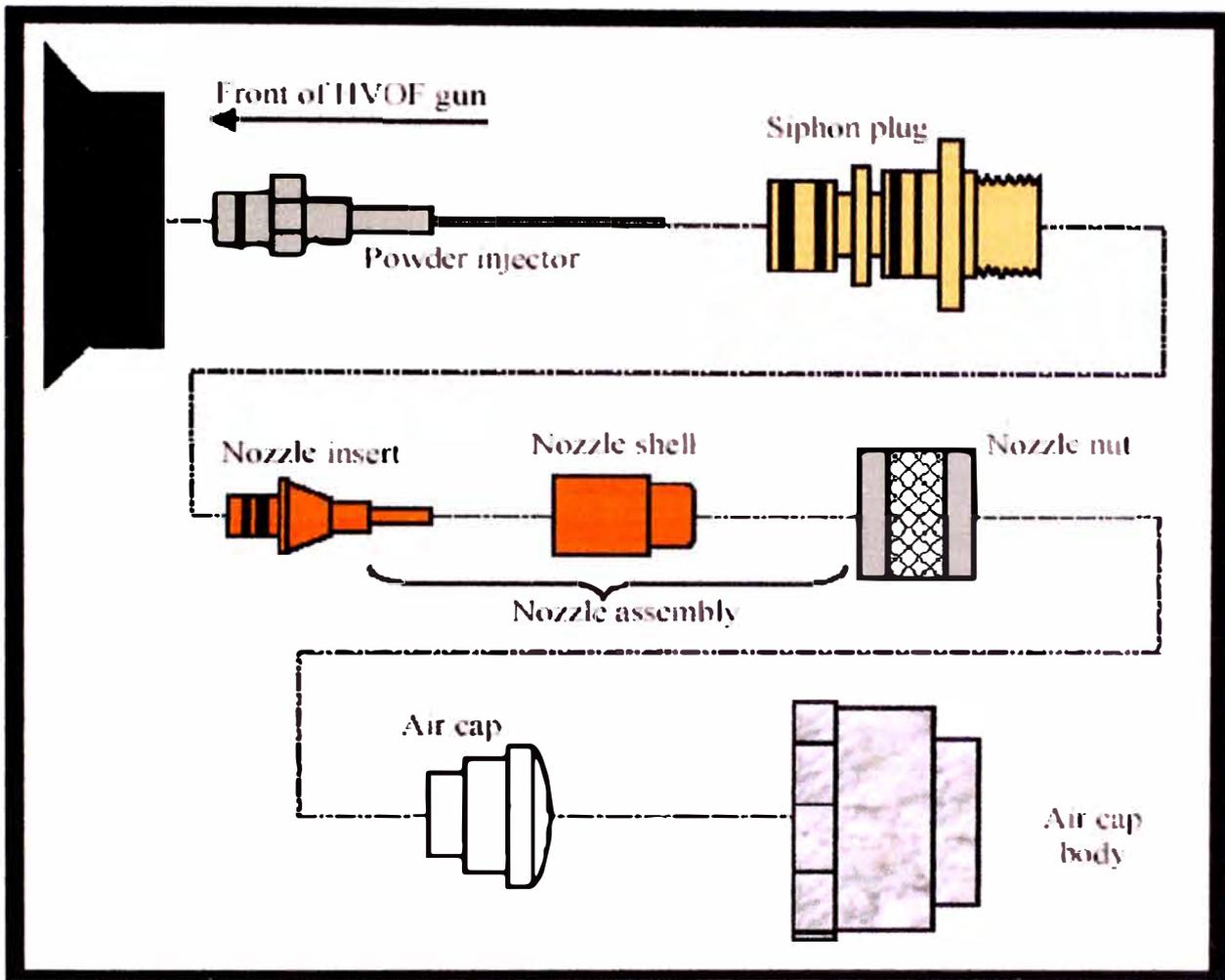


Figura 31. Esquema de desensamble de una pistola HVOF

### 5.5.1 Inyector de polvo

Como las partículas de polvo son transportadas hacia la zona de combustión, el inyector de polvo limita el rango de alimentación y conduce las partículas desde la región 1 axialmente hacia la zona de la combustión, como se muestra la región 4 en la figura 32. Una vez que las partículas parten del inyector de polvo (con un determinado ratio de alimentación), ingresan a la cámara de combustión donde las partículas son fundidas y propulsadas por los gases de la combustión a altas velocidades.

### 5.5.2 Sifón conector

El sifón conector ocupa la zona central de la parte frontal (regiones 2 y 3 en la figura 32). En la región 2, los gases propileno y aire fluyen paralelamente hacia el cuerpo de la pistola, mientras que el oxígeno viaja oblicuamente. Los tres gases son mezclados en la región 3 y pasan hacia el ensamble de la tobera.

### 5.5.3 Ensamble Tobera

La función de la tobera es acelerar los gases para dar a las partículas de polvo altas velocidades de impacto. El ensamble está compuesto de tres componentes una boquilla, un inserto y ellos están encerrados por una tuerca hasta el sifón conector.

### 5.5.4 Ensamble válvula de aire

Este ensamble comprende de una válvula de aire y cuerpo de válvula de aire. La combustión del polvo material ocurre dentro de la válvula de aire (región 4) y desde allí, el material fundido es propulsado a alta velocidad hacia una superficie conocida como substrato. El cuerpo de la válvula de aire bloquea todos ensambles mencionados, hacia el cuerpo de la pistola. Aire comprimido también circula dentro del cuerpo de la válvula de aire (región 5) para enfriar el ensamble mientras la combustión toma lugar.

La temperatura de combustión (para carburo de tungsteno al cobalto) se aproxima a 2800 °C y la alta presión debido a la llegada de los gases desde el ingreso producto de la combustión producen velocidades supersónicas de 1350 m/s.

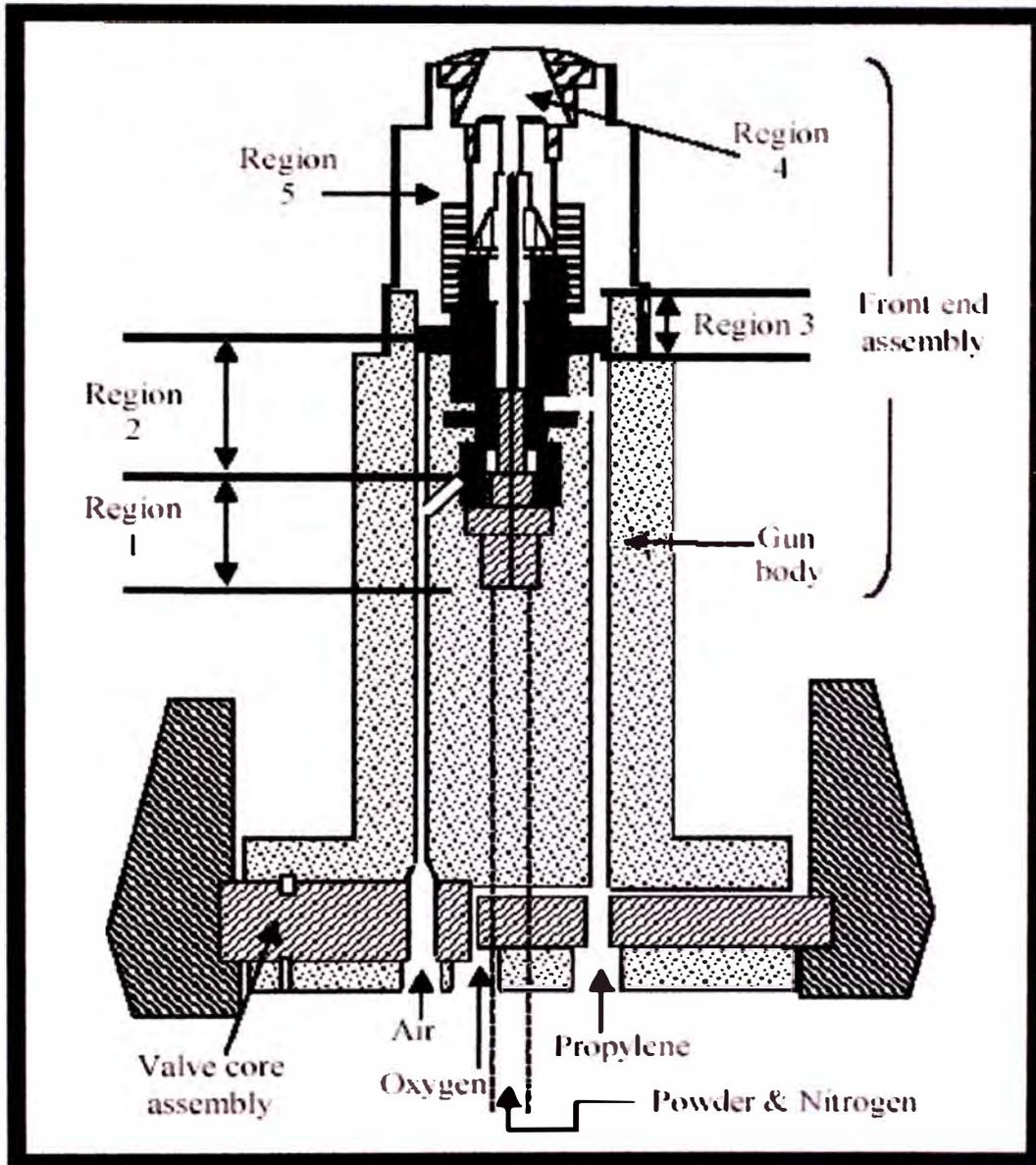


Figura 32. Esquema de una sección del ensamble de una pistola HVOF

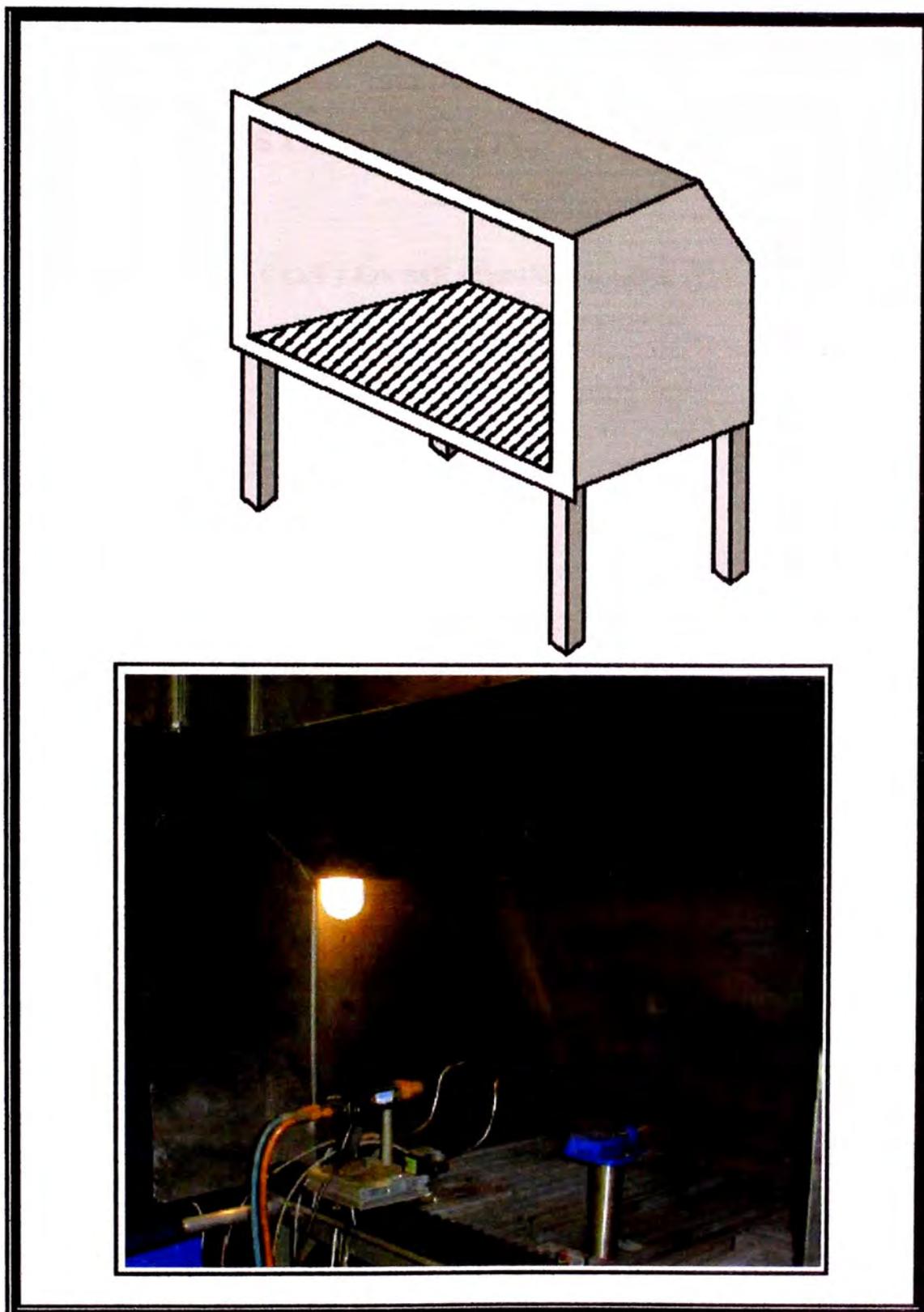


Figura 33. Cabina usada para contener las cenizas y humo en el sistema HVOF

## CAPITULO VI

### ANALISIS COMPARATIVO Y APLICACIONES

#### 6.1 COMPARACION CON LOS METODOS TRADICIONALES

A continuación se muestran cuadros comparativos entre el proceso de termo-rociado y procesos tradicionales.

##### 6.1.1 COMPARACIÓN CON RESPECTO AL CROMADO DURO.

Características del sistema HVOF vs. El Cromo Duro		
CARACTERISTICA	HVOF	CROMO DURO
Costo de instalación	Bajo	Alto
Requerimientos de espacio	Bajo	Alto
Espesor de recubrimiento	Uniforme, alto	Variable, limitado
Control de la solución química	Ninguna	Crítica
Problemas de eliminación	Ninguna	Sí
Contaminante	No	Sí
Pasos del proceso	3	6-8
Velocidad de deposición	Muy rápida	Muy lenta
Limitación en el tamaño de la pieza	Ninguna	Sí
Portátil	Sí	No

### 6.1.2 COMPARACIÓN CON RESPECTO AL PROCESO DE SOLDADURA

PROCESO DE TERMO ROCIADO	PROCESO DE SOLDADURA
<u>Temperatura de aplicación:</u> 80°C – 100°C, es decir un frío metalúrgico, no altera la estructura metalográfica	<u>Temperatura de aplicación:</u> alto ciclo de calentamiento y enfriamiento entre 400° - 175°C
<u>Dureza del recubrimiento:</u> mantiene la dureza homogénea en todo el espesor y superficie	<u>Dureza del recubrimiento:</u> Es heterogéneo dependiendo del ciclo térmico
<u>Porosidad:</u> Mínima	<u>Porosidad:</u> se presenta porosidad que obliga a corregir
<u>Deformación:</u> Ninguna	<u>Deformación:</u> el proceso causa deformación por lo que obliga a controlar la misma
<u>Acabado:</u> por ser un recubrimiento uniforme en toda la superficie, el mecanizado es mucho mas rápido	<u>Acabado:</u> el relleno no es uniforme, para dar medida se da un gran exceso por lo que el mecanizado se hace mas largo.
<u>Vida útil:</u> mayor vida útil debido a que no afecta al material base	<u>Vida útil:</u> hasta que el grado de deformación sea tal que lo saque de servicio

## **6.2 APLICACIONES**

### **6.2.1 APLICACIONES DEL TERMOROCIADO**

Cuando la solución técnica buscada sea:

- Resistencia al desgaste por adherencia
- Resistencia al desgaste por abrasión
- Resistencia al desgaste de la superficie por fatiga
- Resistencia al desgaste por erosión.
- Resistencia al calor y a la oxidación
- Resistencia del Acero contra la Corrosión Marina o Atmosférica

#### **a) RESISTENCIA AL DESGASTE POR ADHERENCIA**

El desgaste por adherencia se presenta cuando dos superficies se deslizan una sobre la otra, originándose fuerzas adhesivas que arrancan los fragmentos de una superficie que se adhieren a la otra. Este tipo de transferencia metálica a menudo ocurre cuando la lubricación es inadecuada y cuando los materiales son incompatibles.

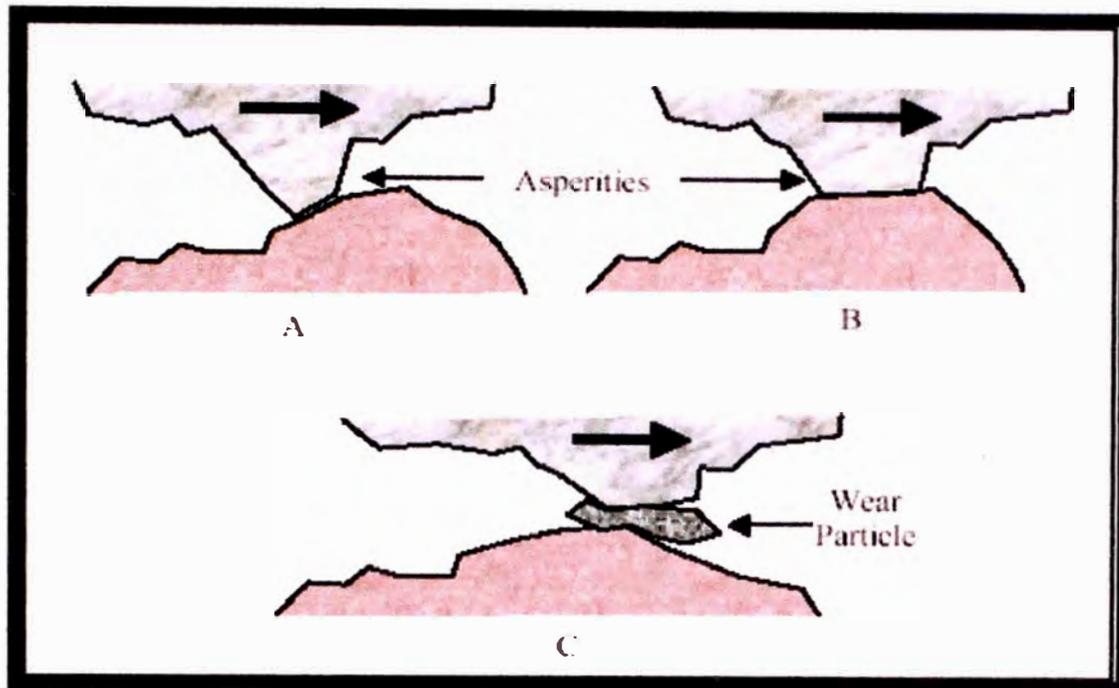


Figura 31, esquema de la generación del desgaste de una partícula como resultado del proceso de desgaste por adherencia.

Para combatir el desgaste por adherencia utilice los recubrimientos por termo-rocido que actúen como:

#### SUPERFICIES BLANDAS DE DESLIZAMIENTO

En aquellas piezas que necesiten de una superficie:

Que sea de baja rugosidad y costo destinada a desgastarse en beneficio a la superficie con que está en contacto.

Que contenga pequeños poros capaces de retener aceite y liberarlo, según sea necesario, proporcionando auto lubricación.

Que se deforme con el fin de que los descansos puedan alinearse.

Ejemplos:

- Descansos o cojinetes de bronce y de babbit.
- Camisas de prensas hidráulicas
- Cilindros de pistones
- Cojinetes de compresores

## SUPERFICIES DURAS DE DESLIZAMIENTO

En aquellas piezas que necesiten de una superficie:

Que sea dura y que tenga alta resistencia al desgaste.

Que reduzca el desgaste abrasivo.

Que contenga pequeños poros capaces de retener aceite y liberarlo, según sea necesario, proporcionando auto lubricación.

Que tenga cierta porosidad capaz de retener aceite y liberarlo según sea necesario, por lo tanto, que proporcione auto lubricación.

Que no sólo tenga alta dureza, sino que también sea compatible con otros materiales.

Ejemplos:

- Camisas de desgaste.
- Ejes impulsores de bombas, zona de sellos.
- Ejes y tapas de motores de motores eléctricos.

Selección de Materiales:

- t. Metal babbit
- u. Bronce
- v. Acero al Molibdeno
- w. Acero inoxidable

### b) RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION

El desgaste por abrasión ocurre cuando partículas extrañas y duras como son arena, sílice, ceniza de carbón, etc., en el medio ambiente y los desechos de metal, se adhieren entre las superficies de fricción y desgastan el material de ambas.

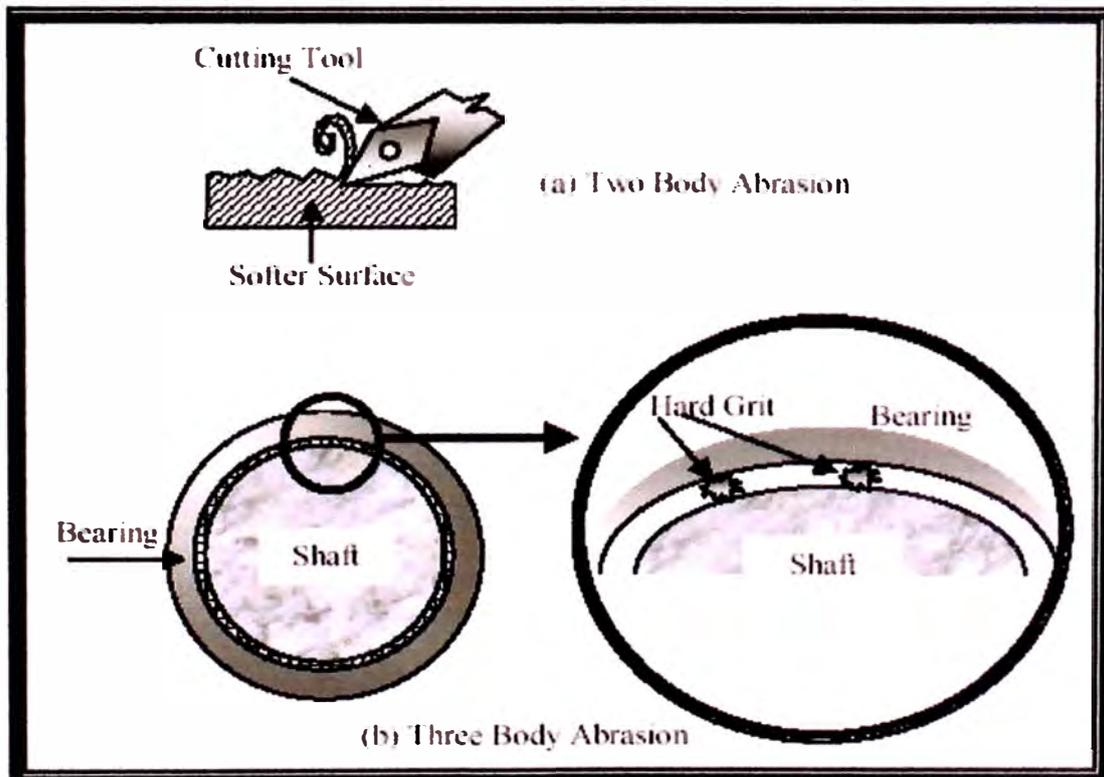


Figura 32, Esquema del fenómeno de desgaste abrasivo

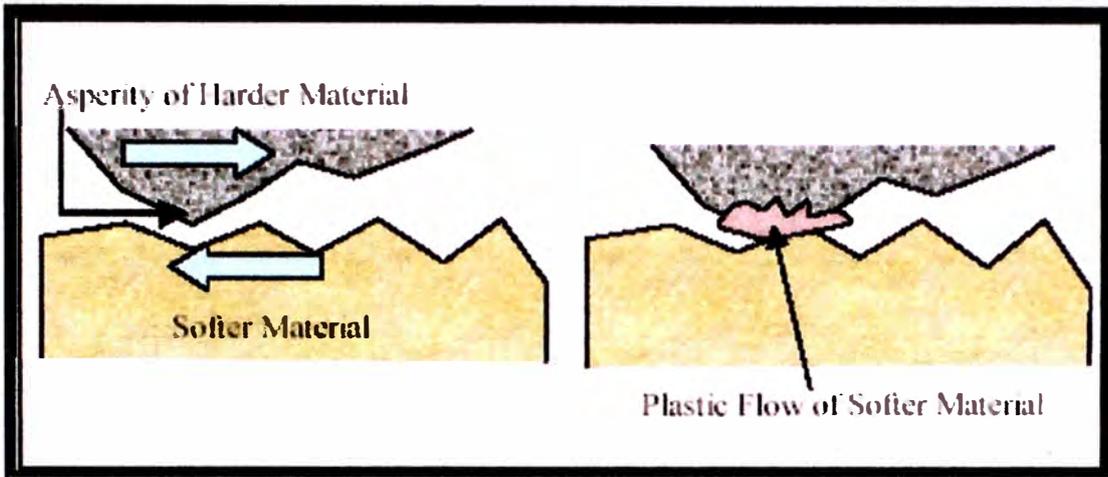


Figura 33, la abrasión en microescala

Para combatir el desgaste por abrasión utilice los recubrimientos por termorociado que resistan:

#### PARTICULA ABRASIVAS

En aquellas piezas que requieran de una superficie:

Que resista la acción de partículas extrañas rayen las superficies en contacto.

Que tenga una dureza mayor que la de las partículas abrasivas.

Ejemplos:

- Embolos de bombas de lodo
- Ventiladores de extracción

#### SUPERFICIES DURAS

En aquellas piezas:

Que deban resistir el desgaste que ocurre cuando una superficie rugosa y dura o una blanda que contenga partículas duras, se deslicen sobre el recubrimiento.

Que necesiten de una superficie lisa para reducir la severidad del desgaste.

Que tenga un coeficiente de fricción adecuado entre la superficie dura y el recubrimiento.

Que deban resistir el desgaste que presenta sobre superficies de la maquinaria, cuando fibras e hilos corren a altas velocidades.

Ejemplos:

- Tambores de trefilación
- Sellos de bombas
- Rodillos de laminación
- Piezas de textilería como guías de hilo
- Rodillos quebradores en la siderúrgica

Selección de materiales:

- x. Carburo de tungsteno
- y. Carburo de Cromo
- z. Oxido Cromo
- aa. Oxido de Aluminio

### c) RESISTENCIA AL DESGASTE DE LA SUPERFICIE POR FATIGA

El desgaste de la superficie por fatiga se produce por un golpeteo producido por cargas y descargas constantes causan una tensión cíclica, la cual eventualmente forma grietas en la superficie o bajo ella.

Con el tiempo se agrieta la superficie causando la pérdida de fragmentos.

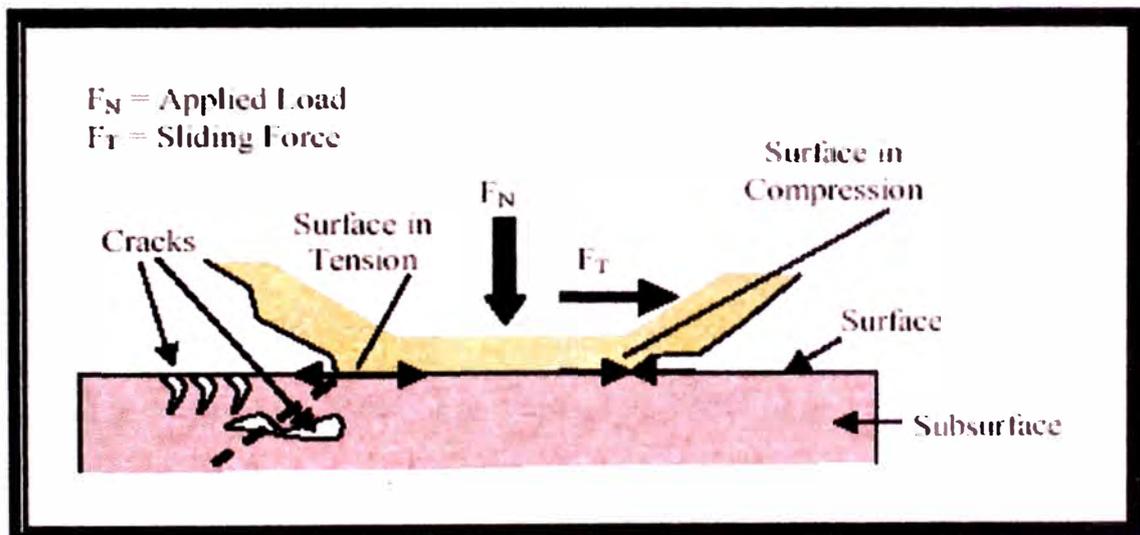


Figura 34, esquema del desgaste por fatiga.

Para combatir el desgaste por fatiga utilice recubrimientos:

#### FATIGA SUPERFICIAL CAUSADA POR MOVIMIENTO INTENCIONAL

En aquellas piezas que requieran de una superficie:

Que resista el desgaste causado por el deslizamiento o impacto repetido sobre una superficie. La vibración es una causa común de este tipo de desgaste.

Que tenga suficiente dureza para soportar el impacto continuo.

Ejemplos:

- Ejes de leva.
- Camisas de cilindro.
- Válvulas de automóvil.

FATIGA SUPERFICIAL CUANDO NO EXISTE MOVIMIENTO INTENCIONAL

En aquellas piezas que requieran de una superficie:

Que resista el desgaste causado por el deslizamiento oscilatorio de las superficies en contacto.

La vibración es una causa común de este tipo de desgaste.

Que tenga suficiente dureza para soportar el impacto continuo.

Ejemplos:

- Asientos de rodamiento de bola.

#### **d) RESISTENCIA AL DESGASTE POR EROSION**

El desgaste por erosión se presenta cuando partículas que son arrastradas por gases o líquidos golpean a cierta velocidad y ángulo, una superficie.

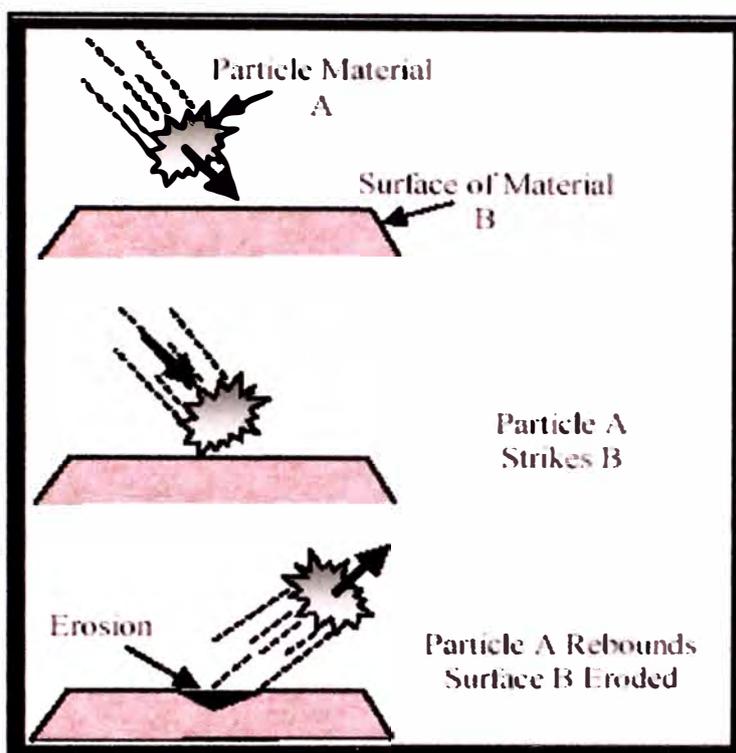


Figura 35, esquema del desgaste por erosión

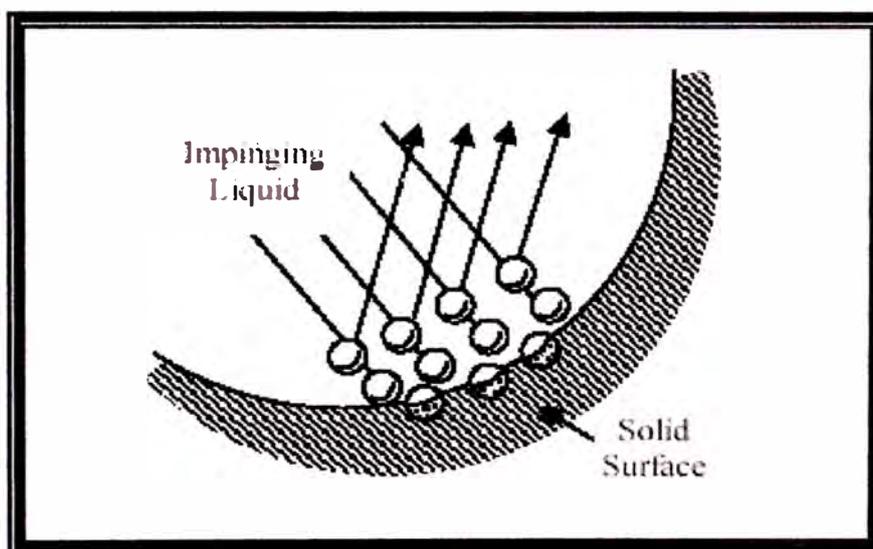


Figura 36, esquema de la erosión por cavitación debido al impacto de burbujas de líquido

## CAVITACION

En aquellas piezas que necesiten una superficie:

Que resista el desgaste causado por impacto mecánico inducido por cavitación en flujos líquidos.

Que tenga firmeza y alta resistencia al desgaste por corrosión.

Que se endurezca como consecuencia del impacto repetitivo de la cavitación.

Ejemplos:

- Impulsores de bombas.
- Anillos de desgaste, asientos e inyectores de válvulas hidráulicas en turbinas de centrales hidroeléctricas.

Para combatir el desgaste por erosión utilice los recubrimientos que resistan:

## LA EROSION DE PARTICULAS

En aquellas piezas que necesiten una superficie:

Que resista el desgaste causado por partículas duras y cortantes que impactan la superficie con velocidad. Las partículas pueden ser arrastradas tanto por líquidos como por gases.

Que evite el desgaste abrasivo causado por partículas que golpean la superficie a un ángulo menor que  $45^\circ$ .

Que sea fuerte a la vez lisa para evitar la remoción de material causado por partículas que impactan la superficie a más de  $45^\circ$ .

Que resistan la corrosión del líquido que transporta las partículas.

Ejemplos:

- Extractores
- Válvulas hidroeléctricas
- Colectores de polvo
- Asientos e inyectores de válvulas de descarga y extractoras
- Rodetes de turbinas Pelton y Francis.

#### **e) RESISTENCIA AL CALOR Y A LA OXIDACION**

Utilice los recubrimientos que:

MEJOREN EL COMPORTAMIENTO DE PIEZAS A ALTAS  
TEMPERATURAS

En aquellas piezas que necesitan de superficies:

Que protejan contra atmósferas oxidantes.

- Resistiendo la difusión del oxígeno desde la atmósfera.
- Resistiendo la difusión rápida dentro del substrato.
- Teniendo un punto de fusión superior a la temperatura de operación.

Que protejan contra los ambientes gaseosos, corrosivos y erosivos a temperaturas iguales o superiores a los 816 °C (1500 °F).

Que actúen como una barrera térmica proporcionando aislamiento, que evite que el metal base alcance su temperatura límite.

Ejemplos:

- Silenciadores de escape
- Exteriores e interiores de horno giratorios
- Boquillas y cámaras de reacción de cohetes
- Reactores, ductos e intercambiadores de calor en plantas de ácido sulfúrico.

Selección de materiales:

bb. Aluminio

cc. Nickel

dd. Cromo

ee. Aleaciones de Aluminio

## **f) RESISTENCIA DEL ACERO CONTRA LA CORROSIÓN MARINA O ATMOSFÉRICA**

Recubrimientos por termo-rociado son usados para protección del fierro o del acero en ambientes corrosivos. Se han documentado efectividades en instalaciones industriales y marinas. Zinc y Aluminio proporciona la más amplia protección atmosférica, y su elección de uso es a menudo basado en su relativa facilidad de aplicación y costos comparativos para un caso específico.

Ellos son más resistentes que el acero. El Zinc y Aluminio son anódicos para el acero. Ellos también protegen al substrato ferroso en soluciones electrolíticas. El recubrimiento sirve como ánodo de sacrificio y se consume en el tiempo.

El tamaño o forma de la estructura a ser protegida no es una limitación.

Ejemplos:

- Gruas
- Buques y embarcaciones
- Tuberías
- Estaciones
- Postes
- Válvulas de vapor
- Tubos de escape
- Puentes

Selección de materiales:

ff. Zinc

gg. Aluminio

## CAPITULO VII

### CASOS PRACTICOS

#### 7.1 CASO 1: Proceso de recuperación por termo-rociado en diámetros interiores de Cabezal delantero de Perforadora Cop 1238.

Luego del chequeo dimensional para verificar zonas con desgaste, se procede a su recuperación con el siguiente material de aporte:

Material de aporte: Alambre de Acero Inoxidable 420

**Dureza** : 45-50 HRC

**Adherencia** : 10 000 psi

**Espesor de recubrimiento** : Hasta ½ “

**Composición química** :

Cr	Ni	C	Mn	Si
12- 14	---	0.15 max	1.0 max	1.0 max

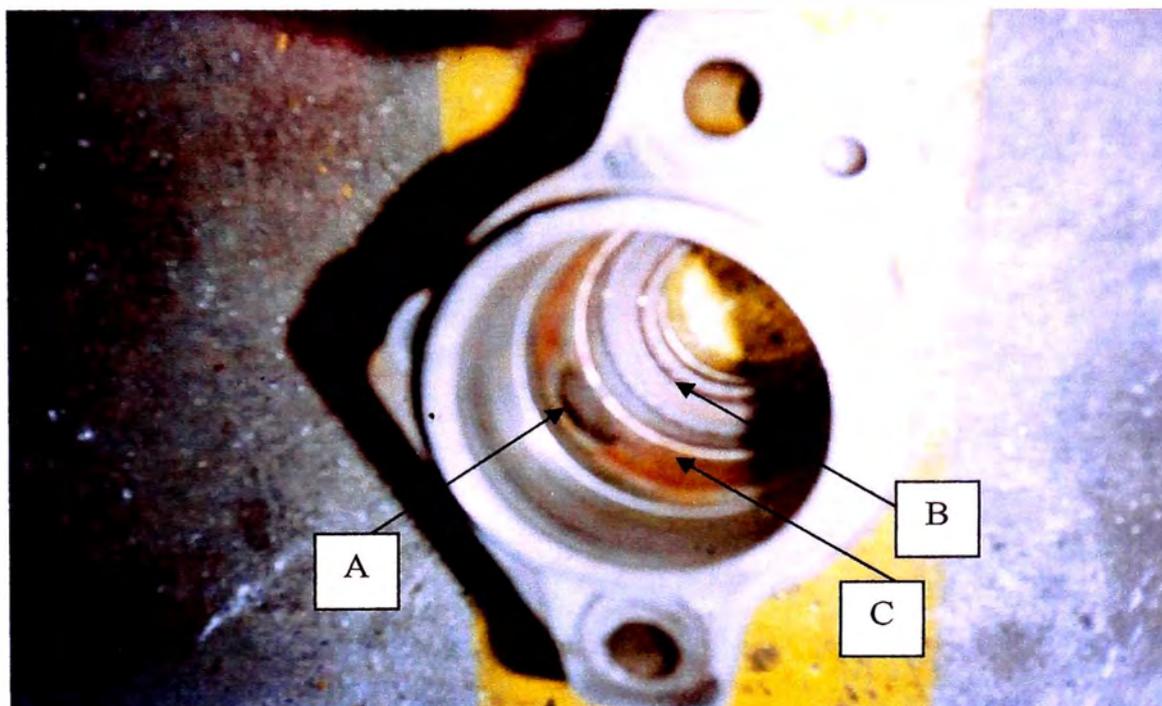


Figura 37. Cabezal delantero en la que se muestra zonas erosionadas.

A : Alojamiento de placa de conexión

- B : Tope axial de cabezal de barrido  
 C : Alojamiento de cabezal de barrido



Figura 38. Cabezal delantero terminado (después de su rectificado), se ha obtenido como medida final los diámetros estándares.

## 7.2 CASO 2: Proceso de aplicación de recubrimiento por termo-rociado a aguja de Turbina Pelton y álabe Directriz de Turbina Francis

Material de aporte: Carburo de Tungsteno

- Dureza** : 65 – 70 HRC  
**Adherencia** : 12 000 psi  
**Espesor de recubrimiento** : Hasta 0.5 mm  
**Composición química** :

%Co	%Cr	%C	%Tungsteno
10	4	5	Resto



Figura 39. Aplicación de recubrimiento a aguja de turbina Pelton.

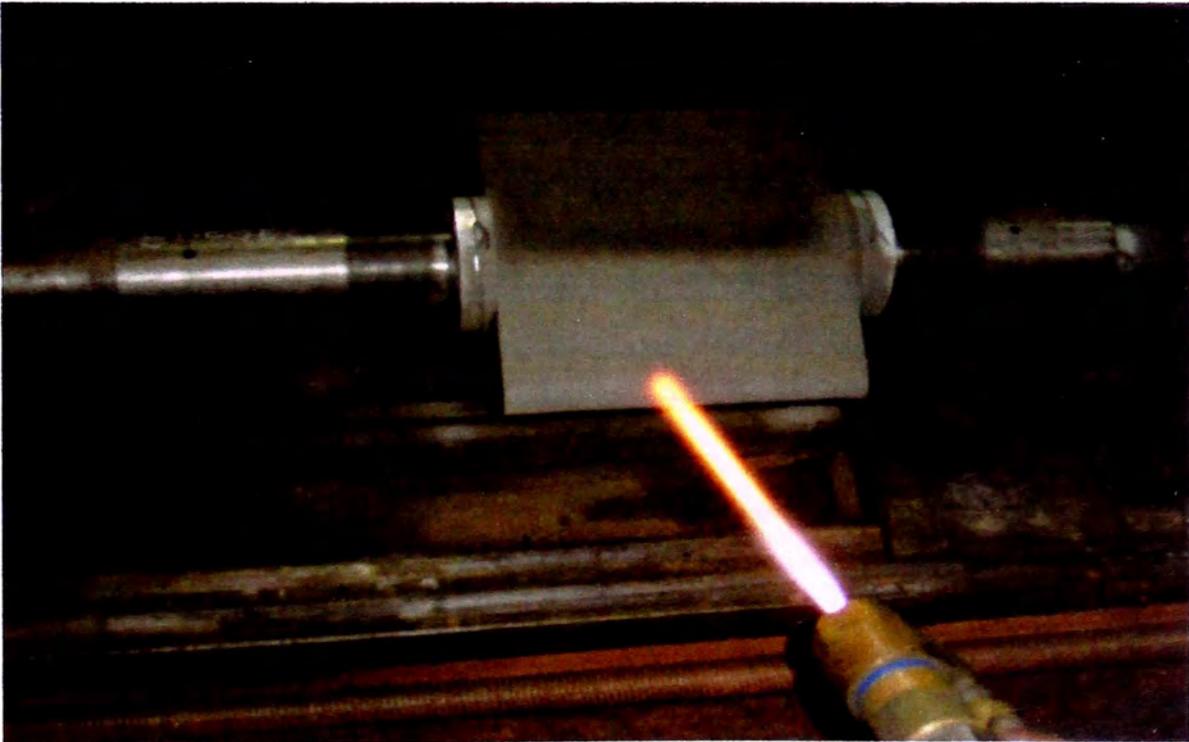


Figura 40. Aplicación de recubrimiento a álabe directriz de turbina Francis.

## CAPITULO VIII

### NORMAS GENERALES APLICABLES

14.1 El siguiente cuadro presenta todas las normas para los proceso de Termo-  
rociado, con equivalencia entre las Normas DIN e ISO.

(February 2002)

<b>Thermal spraying</b>				
EN/prEN	Title	Public ation	Connection with	
			DIN	ISO
EN 582	Thermal spraying – Determination of tensile adhesive strength	1993	DIN EN 582	ISO 14916
EN 657	Thermal spraying – Terminology, classification	1994	DIN EN 657	ISO 14917
EN 1274	Thermal spraying – Powders – Composition – Technical supply conditions	1996	DIN EN 1274	ISO 14232
EN 1395	Thermal spraying – Acceptance inspection of thermal spraying equipment	1996	DIN EN 1395	DIS 14231
EN 13214	Thermal spraying – Thermal spray coordination – Tasks and responsibilities	2000	DIN EN 13214	WI 17833
EN 13507	Thermal spraying – Pre-treatment of surfaces of metallic parts and components for thermal spraying	2001	DIN EN 13507 DIN 8567	WI 17835
EN ISO 14918	Thermal spraying – Approval testing of thermal sprayers (ISO 14918:1998)	1998	DIN EN ISO 14918	ISO 14918
EN ISO 14919	Thermal spraying – Wires, rods and cords for flame and arc spraying – Classification – Technical supply conditions (ISO 14919:2001)	2001	DIN 8566-1 bis -3 DIN EN ISO 14919	ISO 14919
EN ISO 14920	Thermal spraying – Spraying and fusing of self-fluxing alloys (ISO 14920:1999)	1999	DIN EN ISO 14920	ISO 14920
EN ISO 14921	Thermal spraying – Procedures for the application of thermally sprayed coatings for engineering components (ISO 14921:2001)	2001	DIN EN ISO 14921	ISO 14921
EN ISO 14922-1	Thermal spraying – Quality requirements of thermally sprayed structures – Part 1: Guidance for selection and use (ISO 14922-1:1999)	1999	DIN EN ISO 14922-1	ISO 14922-1
EN ISO 14922-2	Thermal spraying – Quality requirements of thermally sprayed structures – Part 2: Comprehensive quality requirements (ISO 14922-2:1999)	1999	DIN EN ISO 14922-2	ISO 14922-2
EN ISO 14922-3	Thermal spraying – Quality requirements of thermally sprayed structures – Part 3: Standard quality requirements (ISO 14922-3:1999)	1999	DIN EN ISO 14922-3	ISO 14922-3
EN ISO 14922-4	Thermal spraying – Quality requirements of thermally sprayed structures – Part 4: Elementary quality requirements (ISO 14922-4:1999)	1999	DIN EN ISO 14922-4	ISO 14922-4
prEN ISO 14923	Thermal spraying – Characterization and testing of thermally sprayed coatings (ISO/DIS 14923:2000)	2000	E DIN EN ISO 14923	DIS 14923
prEN ISO 14924	Thermal spraying – Post-treatment and finishing of thermally sprayed coatings (ISO/DIS 14924)			DIS 14924 <sup>1)</sup>

prEN ISO 17834	Thermal spraying – Coatings for protection against corrosion and oxidation at elevated temperatures (ISO/DIS 17834:2001)	2001	E DIN EN ISO 17834	DIS 17834
prEN ISO 17836	Determination of the deposition efficiency for thermal spraying (ISO/DIS 17836:2001)	2001	E DIN EN ISO 17836	DIS 17836
EN 22063	Metallic and other inorganic coatings – Thermal spraying – Zinc, aluminium and their alloys (ISO 2063:1991, modified)	1993	DIN EN 22063	ISO 2063

### Explicación de notas y abreviaciones:

DIN = Norma Alemana

E DIN = Norma Alemana Propuesta

EN = Norma Europea (European Standard)

prEN = Norma Europea propuesta (Draft European Standard)

ISO = International Standard

DIS = Norma Internacional Propuesta (Draft International Standard)

WI = Work item (project)

## **7.2 Normas de seguridad.**

Los reglamentos de seguridad han sido establecidos por la Occupational Safety and Health Administration - OSHA. Otras normas:

- American National Standards Institute (ANSI). Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes, Z49.1.
- Safety Practices for Occupational and Educational Eye and Face Protection, Z87.1, available from American National Standards Institute.
- Safe Practices for Respiratory Protection, Z88.2, available from American National Standards Institute.
- Safety Requirements for Industrial Head Protection, Z89.1, available from American National Standards Institute.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Code of Federal Regulations, Title 29 Labor, Chapter XVII, Parts 1901.1 to 1910.1450, Order No. 869-019-00111-5.

- National Fire Protection Association (NFPA). Standard for Fire Prevention in Use of Cutting and Welding Processes, NFPA Standard 51B, available from National Fire Protection.
- Standard for the Design of Oxygen-Fuel Gas Systems for Welding and Cutting and Allied Process, NFPA Standard 51, available from National Fire Protection Association.
- Compressed Gas Association (CGA). Safe Handling of Compressed Gas Cylinders, CGA P-1, available from Compressed Gas Association.
- Robotic Industries Association (RIA). Safety Requirements for Industrial Robots and Robot Systems. RIA R15.06, available from the Robotic Industries Association (RIA).
- American Welding Society (AWS). Thermal Spraying, available from American Welding Society.

## CONCLUSIONES

Miles de dólares se ahorran anualmente debido a la amplia variedad de uso del sistema de termo-rociado.

Entre los muchos beneficios de los procesos de Termo-Rociado podemos nombrar:

- La recuperación y puesta en servicio de partes desgastadas.
- Tiempo de recuperación del componente mucho más rápido, un punto importante para el personal de mantenimiento frente a la falla de una pieza crítica.
- El aumento de la duración en servicio de la pieza recuperada la que excede al de la pieza original.
- La reducción de los niveles de stock de repuestos.
- La recuperación de piezas nuevas mal mecanizadas.
- El costo de reparación es menor que el costo de un reemplazo, generalmente el costo de la reparación no excede al 50% del costo de reemplazo.

- La fabricación de piezas originales con recubrimientos incorporados y protección de equipos industriales.
- El mejoramiento de las características de piezas originales alargando el tiempo entre mantenciones programadas.
- Frente a condiciones severas de operación del equipo, podemos alargar la vida útil de sus componentes aplicando un recubrimiento protector.
- Debido al fácil transporte del equipamiento de termo-rociado y sus accesorios, es posible la aplicación de los recubrimientos (para recuperar y/o proteger) in-situ, sobre todo ofrece ventajas para componentes de gran tamaño en la cual es casi imposible su desmontaje.
- Una característica importante que está siendo considerada a nivel mundial que es un sistema no contaminante.
- La aplicación de la TEROLOGIA en la industria indice favorablemente en los flujos netos de la empresa debido a la reducción de los costos de mantenimiento y mayor productividad de los equipos.

En la actualidad para que una empresa ofrezca un producto, bien o servicio con calidad requiere adaptarse a las reglamentaciones o normas internacionales, ya que ello trae consigo que el producto, bien o servicio ofrecido sea competitivo a nivel internacional.

## **BIBLIOGRAFIA**

- THERMAL SPRAYING: Manual de la American Welding Society
- METCO FLAME SPRAY HANDBOOK: Handbook by METCO
- GUIDE FOR THERMAL SPRAY OPERATOR AND EQUIPMENT QUALIFICATION: Manual de la American Welding Society
- RECOMMENDED METHODS FOR INSPECTION OF METALLIZING: by Canadian Government
- RECOMMENDED SAFETY PRACTICES FOR THERMAL SPRAYING: by American Welding Society
- NORMAS ISO: Proporcionadas por INDECOPI

# **ANEXOS**

## **ANEXO I: PAGINAS WEBS RECOMENDADOS**

Sulzer Metco proporciona ayuda al cliente para asegurar que su instalación reúna con los requisitos para las reglamentaciones de seguridad. Para más información visite el enlace de Seguridad en el website <http://www.safetylink.com>.

NFPA - The National Fire Prevention Association - La Asociación Nacional de Prevención de Fuego es responsable de la adopción y ejecución del diseño e instalación de dispositivos de seguridad en equipos eléctricos.  
[www.nfpa.org](http://www.nfpa.org)

OSHA - La Seguridad Profesional y Administración de Salud está atareada con asegurar que lugares de trabajo estén lo razonablemente seguro posible. Las Hojas de Datos de Materiales de Seguridad (MSDS) Material Safety Data Sheets - son unas exigencias de OSHA así como la publicación y notificación de riesgos del obrero en materiales y equipos.  
[www.osha.gov](http://www.osha.gov)

ANSI - American National Standards Institute es responsable para establecer las pautas para el diseño y funcionamiento de los equipos que son utilizados por OSHA y otras entidades reglamentarias.  
[www.ansi.org](http://www.ansi.org)

Procesos de termorociado:  
[www.hvof.com](http://www.hvof.com)

[www.thermalspray.com](http://www.thermalspray.com)

## ANEXO II

## Sulzer Metco Materials

## PURE METALS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Al 99% Spheroidal, Gas Atomized	Metco 54NS-1	-75 +45 $\mu\text{m}$ (-200 +325 mesh)	Corrosion resistant in coastal and industrial atmospheric conditions  Good electrical and thermal conductivity  Relatively soft and ductile, can be used to repair aluminum and magnesium base alloy parts  Non-magnetic, can be used for electromagnetic shielding
	Metco 54NS	-90 +45 $\mu\text{m}$ (-170 +325 mesh)	
Cu 99% Spheroidal, Gas Atomized	Metco 55	-90 +45 $\mu\text{m}$ (-170 +325 mesh)	Good electrical and thermal conductivity. Used in the paper and printing industry to resist the corrosive effects of inks.  Can be used for build-up and repair of copper base alloys

## COBALT BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Co Ni Cr WC Spheroidal, Gas Atomized	AMDRY X40	-106 +37 $\mu\text{m}$ (-140 +400 mesh)	Primarily used for surface restoration of worn or damaged parts, e.g. combustors, airfoils, blades and vanes in the gas turbine industry
	AMDRY MM509	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	

Co 28Mo 8Cr 2Si (Similar to Tribaloy* 400) Water Atomized	Metco 66F- NS	- 45+15 $\mu\text{m}$ (- 325mesh +15 $\mu\text{m}$ )	Coatings have high temperature capability of 760C (1400F), low coefficient of friction and good corrosion resistance
--	------------------	--	--

### COPPER BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Cu 9.5Al 1Fe Aluminum Bronze Spheroidal, Gas Atomized	Metco 51NS	- 125+45 $\mu\text{m}$ (- 120+325 mesh)	Moderate oxidation, wear and fretting resistance at low temperatures, good emergency dry running properties  Can be used for build-up and repair of copper base alloy parts
	Metco 51F- NS	- 53+11 $\mu\text{m}$ (- 270mesh +11 $\mu\text{m}$ )	
Cu 38Ni Spheroidal, Gas Atomized	Metco 57NS	- 75+45 $\mu\text{m}$ (- 200+325 mesh)	Coatings are very dense with low porosity and oxide content

### IRON BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Fe 17Cr 12Ni 2.5Mo 1Si0.1C (Al Si type 316 stainless steel) Water Atomized	Metco 41C	- 106+45 $\mu\text{m}$ (- 140 +325 mesh)	Premium grade austenitic nickel-chrome stainless steel  Coatings can be easily machined
Fe 17Cr 12Ni2.5Mo 1Si 0.1C (Al Si type 316 stainless steel) Water Atomized	Diamalloy 1003	-45 +11 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Recommended for cavitation and low temperature erosion resistance
Fe 16Cr 2Ni 0.2C (Al Si type 431 stainless steel)	Metco 42C	- 106+45 $\mu\text{m}$ (- 140+325 mesh)	Corrosion resistant coating used mostly for repair and wear applications requiring a hard ground finish

Fe 10Cr 7Al 5Mo 3TiO <sub>2</sub> Clad	AMDRY 4742	-125 +45 μm (-120 +325 mesh)	Corrosion resistance on blanket and impression cylinders for duplicators  Abrasive resistance, adhesive wear resistance, and mild corrosion resistance on buildup applications of chrome plating  Corrosion and abrasion resistance on hydraulic rod buildup and resurfacing applications
Fe 30Mo 2C Blend	Diamalloy 4010	-45 +5.5 μm (-325 mesh +5.5 μm)	Developed as an alternative to hard chrome plating  Recommended to protect against abrasive grains, wear from hard bearing surfaces and fretting
Fe 3Al 3Mo 3C 0.1B Clad	Metco 449P	-125 +45 μm (-120 +325 mesh)	Recommended for salvage and build up of ferrous base substrates, such as crankshaft journals  High carbon "steel" composite

### MOLYBDENUM BASE P POWDERS

<b>P powder Type</b>	<b>P roduct</b>	<b>Nominal P article Size and/or Comparable Specification</b>	<b>Typical P roperties and Applications</b>
Mo + 25(NiCrBSiFe) Blend	AMDRY 1371	-90 +45 μm (-170 mesh +325 mesh)	Self-fluxing, produces coatings which have high wear resistance, a low coefficient of friction and good scuff resistance  Can be used for hardfacings, hard bearing surfaces and abrasive wear resistant coatings up to approx. 350C (660F) . Used in piston ring applications

### NICKEL BASE POWDERS

Powder Type	Designation	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Ni 20Cr Water Atomized	Metco 43C-NS	-106 +45 $\mu\text{m}$ (-140 +325 mesh)	Coatings designed to resist oxidation and corrosive gases in temperatures to 980C (1800F)
	Metco 43F-NS	-53 +11 $\mu\text{m}$ (-270 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Used to resist heat and prevent scaling of carbon and low alloy steels in hot atmospheres
	Metco 43VF-NS	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	Metco 43C-NS can be used as a bond coat under ceramic coatings
Ni 16Cr 8Fe Water Atomized	Metco 44	-106 +45 $\mu\text{m}$ (-140 +325 mesh)	Produces machinable "stainless" coatings which are useful for salvage and build-up applications on corrosion resistant steels, nickel, or nickel alloy substrates where high hardness is not required
Ni 8.5Cr 7Al 5Mo 2Si 2B 2Fe 3TiO <sub>2</sub> Clad	Metco 442	-125 +45 $\mu\text{m}$ (-120 +325 mesh)	Hard, "stainless" type coatings with excellent wear resistance and very good corrosion and oxidation resistance  Coatings are self bonding and therefore do not require a separate bond coat
(NiCr)6Al Clad	Metco 443NS	-125 +45 $\mu\text{m}$ (-120 +325 mesh)	Thermospray coatings are not self bonding but can be used as abradable coatings, undercoats for ceramics or to resist oxidation and corrosion
Ni 5Al Clad	AMDRY 956	-90 +45 $\mu\text{m}$ (-170 +325 mesh)	Coatings are dense and resistant to oxidation and abrasion  Recommended for use as oxidation resistant bond coats which can be used up to 800C (1470F)

Ni 5Al Spheroidal, Gas Atomized	Metco 480NS	-90+45 $\mu\text{m}$ (-170+325 mesh)	Typical applications include salvage and build up on machinable carbon steels and corrosion resistant steels, particle erosion resistant coatings on exhaust valve seats, and oxidation resistant coatings on exhaust mufflers and heat treating fixtures
Ni 9.5Cr 2.5Si 1.5B 0.5Al Blend	Metco 451	-106 +22 $\mu\text{m}$ (-140 +22 $\mu\text{m}$ )	Coatings are recommended for resistance to abrasive grains, particle erosion, cavitation resistance and salvage and build-up on grindable carbon and corrosion resistant steels

### CERMET POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 30(Ni 20Al) Blend	Metco 410NS	-90 +15 $\mu\text{m}$ (-170 mesh +15 $\mu\text{m}$ )	Coatings are denser, stronger, more abrasion and shock resistant than pure ceramics  Coatings are very hard and smooth
65 MgZrO <sub>3</sub> 26Ni 7Cr2Al Blend	Metco 441NS-1	-90 +11 $\mu\text{m}$ (-170 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Developed to be used as the intermediate coating in a three part graded coating system consisting of Magnesium Zirconate ceramic top coats and NiCr metallic bond coats.

### TUNGSTEN CARBIDE BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specifications	Typical Properties And Applications
W <sub>2</sub> C 12Co Fused	Metco 71NS	-125 +31 $\mu\text{m}$ (-120 +31 mesh)	Resistant to abrasion and erosion
	Metco 71VF-	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	Good sliding wear resistance

	NS	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )  -45 +5.5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5.5 $\mu\text{m}$ )	Coatings are hard and dense, with good bond strengths  Good fretting resistance  Used for machine parts, pump housing, etc.
WC 12Co Sintered	Metco 71VF-NS-1		
WC 12Co Sintered	Metco 72F-NS	-45 +15 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +15 $\mu\text{m}$ )	
W <sub>2</sub> C 12Co Fused	AMDRY 301	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	Do not use above 500C (930F) or in corrosive media
	AMDRY 302	-125 +45 $\mu\text{m}$ (-120 +325 mesh)	
75 (WC 12Co) 17.5 Ni 4.3Cr 1.0Fe 1.0Si 1.0B 0.2C Blend	Metco 1123	-75 +45 $\mu\text{m}$ (-200 +325 mesh)	Coatings have excellent erosion and abrasion resistance  Applications include induced draft centrifugal fan blades found in coal, oil and gas fired power plants
WC 17Co Spheroidal, Agglomerated and Densified	AMDRY 983(0)  AMDRY 983(1)	-53 +20 $\mu\text{m}$ (-270 mesh +20 $\mu\text{m}$ )  -53 +10 $\mu\text{m}$ (-270 mesh +10 $\mu\text{m}$ )	Typical applications include mid-span stiffeners (gas turbine engine blades), aircraft flap tracks, sucker rod couplings, extrusion dies and exhaust fans
WC 17Co Spray Dried/Sintered	Diamalloy 2006	-30 +5.5 $\mu\text{m}$	Do not use above 500C (930F) or in corrosive media
WC 20Co Sintered	Metco 76F-NS	-53 +11 $\mu\text{m}$ (-270 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Coatings are very dense and can be applied up to 1.25 mm (0.050") thick  Suitable for combustion spraying
(WC 12Co) 25(Ni Base Superalloy) Blend	Sulzer Metco 5803	-45 +11 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Hard chrome replacement material Excellent corrosion resistance  Coatings resist abrasion, fretting and fatigue cracking

WC 12Co Spherical Composite	Sulzer Metco 5810	-63 +11 $\mu\text{m}$ (-230 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Produces smooth, hard, abrasion resistant coatings
(WC 12Co) 35(Cr 3C 2Ni 20Cr) Blend	Sulzer Metco 5860	-45 +4.4 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5.5 $\mu\text{m}$ )	Hard chrome replacement material  Excellent corrosion resistance  Coatings resist abrasion, erosion and fretting

### CHROMIUM CARBIDE BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specifications	Typical Properties and Applications
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> Sintered, Crushed	Metco 70C- NS	-106 +30 $\mu\text{m}$ (-140 mesh +30 $\mu\text{m}$ ) PWA 1306	Coarse grade crystalline chromium carbide powder
	Metco 70F- NS	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	Produces hard porous coatings with relatively poor interparticle strength
Cr 28Ni 12Co 6C 2Al 2Mo 1B 1Si Blend	Metco 430NS	-53 +11 $\mu\text{m}$ (-270 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Coatings are recommended for resistance to wear by abrasive grains, hard surfaces, fretting and particle erosion at temperatures between 540-815C (1000-1500F)
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> 25(Ni- 20Cr) Blend	Metco 81NS	-106 +11 $\mu\text{m}$ (-140 mesh +11 $\mu\text{m}$ )	Good abrasion, particle erosion, cavitation and fretting resistance up to 815C (1500F)
	Metco 81VF- NS	-45 +5 $\mu\text{m}$ (-325 mesh +5 $\mu\text{m}$ )	Good corrosion resistance  Good hot gas corrosion resistance, particularly in sulfurous gases

### CHROMIUM OXIDE BASE POWDERS

Powder Type	Product	Nominal Particle Size and/or Comparable Specification	Typical Properties and Applications
----------------	---------	---	--

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Blocky Chemical Precipitate	AMDRY 6417	-22 +5µm	Dense, corrosion resistant coatings used on pump seal areas, grounds, rolls and wear rings
	AMDRY 6420	-45 +22 µm (-325 mesh +5 µm)	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2TiO <sub>2</sub> Angular/Blocky Fused and Crushed	Metco 106	-125 +11 µm	Recommended for resistance to wear by abrasive grains, hard surfaces, particle erosion and cavitation all at temperatures below 540C (1000F)  Coatings are insoluble in acids, alkalis and alcohol
	Metco 106F	-88 +3.9 µm	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5SiO <sub>2</sub> 3TiO <sub>2</sub> Clad	Metco 136CP	-106 +16 µm (-170 mesh +16 µm)	High wear and corrosion resistance  Tough finish resists mechanical shock better than other ceramics  Good low friction characteristics
	Metco 136F	-88 +11 µm (-200 mesh +11 µm)	

### NON-FERROUS BASED WIRES

Wire Type	Product	Wire Size and Comparable Specification	Typical Properties and Applications
Al 99.0%	Metco Aluminum AW (Arc Wire)	14 gauge	Resulting coatings are resistant to atmospheric, chemical and heat corrosion
Al 99.0%	Metco Aluminum	1/8" 3/16"	Coatings are also electrical and heat conductive
Cu 99.8%	Metco Copper AW (Arc Wire)	14 gauge	Coatings can be used for electrical work (carbon brushes, resistors), replacing copper in copper brazing; decorative
Cu 99.8%	MetcoCopper	1/8" 3/16"	Coatings and as protective coatings for drill samples during shipping and handling from oil drilling sites to laboratory

C-276 Ni Alloy Alloy Wire Similar to Hastelloy C- 276	Sulzer Metco 8276	14 gauge	Excellent corrosion resistance  Recommended for repair and restoration of components in severe corrosive environments
Sn 7.5Sb 3.5Cu 0.25Pb	Sprababbitt® A	3/16" 1/8" 14 gauge	Coatings are dense and particularly suitable for high speed and heavy duty bearings
Sn 99.9%	Metco Tin	1/8"	Block tin wire  Uses include protection of food vessels, repair of glass-lined tanks and solderable surfaces for electrical connections
Mo 99.9%	Sprabond®	1/8"	Typical uses include salvage and repair to cracked engine blocks, heads and similar castings; damaged lathe ways; mold patterns and match plates
Cu 9Al 1Fe	Sprabronze AA	1/8" 3/16"	Produce dense, wear resistant coatings which are especially good for machine element work  Coatings have twice the strength and hardness of other bronzes
Zinc 99.9% +	Metco Zinc	1/8" 3/16"	Used for the protection of iron and steel against corrosion both in atmosphere and when immersed in either fresh or salt water

### FERROUS BASED WIRES

Wire Type	Product	Wire Size	Typical Properties and Applications
Fe 18Cr 8Ni 2Mn 0.75Si 0.08C 0.03P 0.03S	Metcoloy® 1	1/8"	Very low carbon stainless steel  High-shrink material with

			<p>good wearing qualities and high corrosion resistance</p> <p>Excellent machine finish</p>
<p>Fe 13Cr 0.5Si 0.5Ni 0.5Mn 0.35C</p>	Metcoloy® 2	<p>1/8" 3/16" 11 gauge 14 gauge</p>	<p>High chromium stainless steel wire</p> <p>Excellent wearing qualities and fair corrosion resistance</p> <p>The best all-purpose steel for machine element work</p>
<p>Fe 17Cr 12Ni 2.5Mo 2Mn 1Si 0.8C</p>	Metcoloy® 4	<p>1/8" 11 gauge</p>	Type 316 austenitic stainless steel
<p>Fe 18Cr 8.5Mn 5Ni 1Si 0.15C</p>	Metcoloy® 5	<p>1/8" 3/16" 14 gauge</p>	<p>Austenitic, low carbon stainless steel</p> <p>It resists corrosion as well as Metcoloy #1, but has lower shrink and better machinability</p>
<p>Ni 22.5Fe 16Cr 1.5Si</p>	Metcoloy® 33	<p>1/8"</p>	Particularly suitable for applications where resistance to heat corrosion is required
<p>Fe 0.5Mn 0.1Si 0.23C 0.04P 0.04S</p>	Sprasteel® 10	<p>1/8"</p>	<p>Rim steel</p> <p>Coatings are high shrink, wear resistant and the most machinable of the Sprasteels</p>
<p>Fe 0.8C 0.7Mn 0.1Si 0.04P 0.04S</p>	Sprasteel® 80	<p>1/8" 3/16"</p>	<p>Silicon-carbon steel</p> <p>Coatings can be used wherever hard, low shrink steel is required</p>