



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
PULVERIZADOR DE METALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A N
GUILLERMO AGUILAR MENDOZA
SERGIO HORACIO DIAZ VALDES

DIRECTOR: DR. DAVID RIOS JARA

MEXICO, D. F.

1993



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

PROLOGO.....	ii
CAPITULO I: CARACTERISTICAS Y METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS METALICOS	
I.1.ANTECEDENTES.....	1
I.2.CARACTERISTICAS DE POLVOS METALICOS.....	3
I.2.1.Introducción	3
I.2.2.Tamaño de Partícula y Distribución de Tamaño	3
I.2.3.Forma de Partícula	4
I.2.4.Composición Química	6
I.2.5.Area Superficial, Densidad, Porosidad	6
I.2.6.Densidad Aparente	7
I.2.7.Angulo de Reposo	7
I.2.8.Velocidad de Flujo	7
I.2.9.Compresibilidad	8
I.3.METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS.....	8
I.3.1.Introducción	8
I.3.2.Atomización con Gas y Agua	8
I.3.3.Atomización por Centrifugado	13
I.3.4.Atomización por Electrodo Rotatorio	14
I.3.5.Atomización por Vacío	15
I.3.6.Atomización por Rodillos	16
I.3.7.Métodos Químicos de Producción de Polvos	16
I.3.8.Producción de Polvo por Molido	17
I.4.CUADRO COMPARATIVO.....	19
I.5.RESUMEN.....	20
I.5.1.Atomización por Gas y Agua	20
I.5.2.REP	21
I.5.3.Atomización Centrifuga	21
I.6.REFERENCIAS.....	22
CAPITULO II: PROCESOS FISICOS EN LA PRODUCCION DE POLVOS	
II.1.PROCESOS DE SOLIDIFICACION.....	23
II.1.1.Introducción	23
II.1.2.Solidificación de los Metales Puros	24
II.1.3.Nucleación Homogénea	25

II.1.4.Nucleación Heterogénea	25
II.1.5.Crecimiento	26
II.2.SOLIDIFICACION RAPIDA.....	27
II.2.1.Vidrios Metálicos	27
II.2.2.Tiempo de Solidificación	28
II.2.3.Solidificación Ultrarrápida	29
II.2.4.Extracción de Calor de Polvos Producidos	29
II.3.CONOLIDACION DE POLVOS.....	30
II.3.1.Introducción	30
II.3.2.Fundamentos Mecánicos de la Consolidación	30
II.3.3.Fundamentos Físicos de la Consolidación	31
II.4.APLICACIONES.....	33
II.4.1.Introducción	33
II.4.2.Aplicaciones Industriales	34
II.4.3.Aplicaciones Médicas	37
II.4.4.Aplicaciones Varias	37
II.5.REFERENCIAS.....	39
CAPITULO III: DISEÑO DEL PULVERIZADOR CENTRIFUGO DE METALES	
III.1.INTRODUCCION.....	40
III.2.PROCESO DE DISEÑO.....	40
III.3.ORIGEN DEL PROYECTO.....	40
III.3.1.Interés de la Pulvimetalurgia en la Obtención de Aleaciones con Memoria de Forma.	41
III.4.DEFINICION DEL PROYECTO.....	43
III.5.DISEÑO CONCEPTUAL.....	43
III.5.1.Planeación	43
III.5.2.Descripción General	44
III.6.DISEÑO DE DETALLE.....	49
III.6.1.Selección de Materiales	49
III.6.2.Diseño por Secciones	51
III.7.CALCULOS DE CONDICIONES CRITICAS.....	62
III.8.REFERENCIAS.....	78

CAPITULO IV: CONSTRUCCION Y PRUEBAS PARCIALES DEL PULVERIZADOR

IV.1.CONSTRUCCION.....	79
IV.1.1. Descripción General y Presentación Gráfica del Equipo	79
IV.2.PRUEBAS PRELIMINARES.....	88
IV.3.CONCLUSIONES.....	89
APENDICE A.....	92
APENDICE B.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	94

" Es importante que uno se percate de que las ideas básicas para la creación de instrumentos nuevos proceden de la investigación pura. Nuestra técnica depende del instrumental. Las necesidades de nuestra tecnología dan pie a la creación de instrumentos que, aunque pensados para uso industrial, muchas veces facilitan la investigación en el terreno de la ciencia teórica. De esta manera, existe una estrecha vinculación entre la ciencia pura, el instrumental y la tecnología, con beneficios mutuos."

Ralph H. Munch.

PROLOGO

En el campo de la metalurgia moderna, la metalurgia de polvos ha cobrado gran importancia por la creciente variedad de aplicaciones que tiene. La metalurgia de polvos o pulvimetalurgia (PM), es la manufactura de productos a partir de metales y compuestos metálicos, finamente divididos. En algunas aplicaciones, los polvos se utilizan sin compactar y en otras se comprimen en piezas y partes. Por lo general, se requiere que estos polvos sean comprimidos para poder conformar instrumentos útiles con aplicaciones prácticas. Ello requiere de una serie de procesos donde el primero de ellos, consiste en la producción de polvos. Estos, pueden producirse por diversos métodos. Uno de ellos, desarrollado en esta tesis, es el de atomización centrífuga.

Los polvos producidos por equipos basados en este principio poseen ciertas características que los hacen útiles para determinadas aplicaciones. Tal es el caso de la producción e investigación de "Aleaciones con Memoria de Forma", uso primordial que se dará al equipo que se describe posteriormente.

La atomización en general, puede ser definida simplemente como el rompimiento de un líquido en finas gotas, típicamente de diámetros menores a $150 \mu\text{m}$. La atomización centrífuga, se basa en el principio del mismo nombre, donde el metal previamente en estado líquido, se deposita sobre la superficie de un disco rotatorio, el cual a su vez se encarga de dar la energía necesaria para expulsar de su periferia, disperso en pequeñas partículas, al metal depositado. El proceso de solidificación se realiza durante el trayecto que las pequeñas partículas tienen hasta la pared del contenedor del aparato. Usualmente, este proceso se lleva a cabo en una atmósfera inerte.

Normalmente, las aplicaciones prácticas a las que dan lugar estos polvos, requieren antes de procesos adicionales tales como el compactado y sinterizado; que son procesos que proporcionan geometrías, durezas y otras características determinadas a los cuerpos conformados a partir de los polvos previamente producidos.

El diseño y construcción de un equipo productor de estos polvos, las características del proceso de atomización centrífuga y las de otros procesos de pulverización, ventajas y desventajas de estos polvos frente a los obtenidos por las demás técnicas, etc., serán temas que serán abordados a continuación.

El objetivo del presente trabajo es el diseño de un pulverizador centrífugo de metales, que tiene como fin servir de apoyo a proyectos de investigación del Instituto de Investigaciones en Materiales.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos divididos de la siguiente manera: en el primero de ellos, se explican brevemente los antecedentes de la pulvimetalurgia, la forma de caracterizar a los polvos y se describen los métodos más frecuentemente usados para la producción de éstos. Al final de este capítulo se presenta un cuadro comparativo y las ventajas del proceso sobre el cual se basa el diseño del equipo que dio lugar a esta tesis. En el segundo capítulo se describen los procesos físicos asociados con la solidificación, así como una descripción breve de los procesos de compactado y sinterizado que se requieren para dar formas coherentes a los polvos producidos; así mismo, se exponen algunas aplicaciones prácticas de la pulvimetalurgia.

En el tercer capítulo se muestra la selección de los materiales que constituyen a las piezas fabricadas, el detalle del diseño conceptual y dimensional del equipo construido y las funciones de los elementos del mismo. También se muestran los cálculos asociados con elementos críticos del diseño. Finalmente, en el último capítulo se presentan ilustraciones de la construcción del equipo, resultados de las pruebas preliminares y conclusiones del trabajo. La lista de partes comerciales adquiridas y las especificaciones de ellas, se muestran en los apéndices en la última parte del trabajo.

CAPITULO I: CARACTERISTICAS Y METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS METALICOS

I.1. ANTECEDENTES

Introducción

En las últimas dos décadas, se han desarrollado y perfeccionado nuevos métodos de producción de diversos elementos mecánicos que, por la complejidad de sus geometrías o características de sus materiales aleantes, no se habían podido fabricar mediante los procesos convencionales. Tal es el caso de los procesos de *Pulvimetalurgia (PM)*.

Como definición formal de pulvimetalurgia, podemos citar aquella dada por la American Society for Metals: "Arte y/o técnica de producir piezas de metal con base en polvos metálicos individuales, mezclados o aleados, compactándolos por presión o alguna otra técnica tal como vibración o decantación..."(1).

La metalurgia de polvos fue una técnica poco utilizada hasta antes del siglo XVIII; de hecho, sólo tuvo ciertas aplicaciones ornamentales en pinturas, tintas y cosméticos utilizados por algunas civilizaciones como la egipcia hacia el año 3000 A.C.. Los polvos de metales utilizados fueron de Oro, Cobre, Bronce y diversos óxidos. Sin embargo desde hace casi dos siglos, se han venido desarrollando varios métodos de producción de polvos metálicos, comenzando por polvo de Platino hasta aleaciones complejas.

Los objetivos esenciales de la pulvimetalurgia moderna son la obtención de polvo y su consolidación en un sólido mediante la aplicación de presión y calor a una temperatura menor a la del punto de fusión del constituyente mayoritario.

Primeros Usos

La pulvimetalurgia (PM) se usó antes de que el hombre pudiese fundir metal. Los egipcios desarrollaron una "esponja metálica" en base a óxidos metálicos (2).

Los Incas y sus predecesores realizaron prácticas de PM en la fabricación de Platino antes de la llegada de Colón, ellos utilizaron técnicas similares a las usadas actualmente en la fabricación de carburos cementados (3).

Platino

La pulvimetalurgia del platino, practicada a partir del siglo XIX en Europa, es considerada una de las etapas más importantes en el desarrollo de la PM moderna, ya que representa la primera vez que se tienen referencias y datos de los diferentes métodos utilizados en la producción de polvo y su proceso de consolidación.

Entre 1750 y 1825, se dio considerable atención a la manufactura del Platino. Por el año de 1820 el inglés Wollaston desarrolló un proceso para fabricar Platino compacto a partir de polvo de ese metal. Su principal contribución fue el uso de una prensa, desarrollada por él, mediante la cual aplicaba considerable presión en el conformado de compactos (4).

Desarrollos Posteriores

El uso de la PM para desarrollar elementos de formas intrincadas fue iniciado en el s.XIX. En 1830, Osann (5) desarrolló un proceso para realizar impresiones en monedas con el uso de polvo de Cobre producido mediante la reducción de Carbonato de Cobre precipitado.

En 1870 se realizaron una serie de innovaciones respecto a los cojinetes autolubricados. Se utilizaron como constituyentes para formar un sólido una mezcla de 99 partes de polvo de estaño y 1 parte de petróleo a la que se aplicó presión y temperatura (6).

Desarrollos Comerciales

La primera aplicación comercial que tuvo la PM fue el desarrollo de filamentos para lámparas, originalmente con el uso de polvos de Carbón, Osmio, Zirconio, Vanadio. Actualmente los filamentos se hacen de Tungsteno. Estos se compactan a partir de polvos, dando lugar a pequeños lingotes que son calentados posteriormente a una temperatura mucho menor a la de fusión; estos lingotes frágiles a temperatura ambiente, se pueden entonces conformar a temperaturas próximas a las de sinterizado.

Algunos de los procesos desarrollados en la producción de Tungsteno, fueron adaptados a la manufactura del Molibdeno. Estos dos metales, junto con el Tantalio, son los tres materiales refractarios más importantes que se utilizan actualmente en electrónica, producción de rayos-X e industria química. Otros metales refractarios de menor importancia fueron desarrollados mediante PM, sin embargo, el progreso de éstos no fue tan significativo como el producto al que dieron origen: los carburos cementados. Estos son compuestos de partículas cerámicas duras unidas con una matriz metálica suave. El compuesto combina una alta dureza y capacidad de corte, manteniendo buena resistencia al impacto.

El siguiente progreso en la pulvimetalurgia fue la producción de metales compuestos. Estos compuestos constan de un metal refractario, usualmente Tungsteno, y un material cementable con un bajo punto de fusión, presente en diversas proporciones. El primer intento en producir dichos materiales se registró a principios del siglo XX.

Al mismo tiempo que los Carburos, otro desarrollo de tipo comercial fue el uso de metales porosos aplicados a cojinetes autolubricados con mezcla de aceites, polvos de Grafito y una base metálica de Cobre o Estaño. Posteriormente, los metales porosos se utilizaron en la fabricación de filtros metálicos.

Pulvimetalurgia Moderna

A la fecha esta técnica se ha sofisticado y ha logrado abarcar un espectro más amplio de aplicaciones, siendo una de las más importantes la de obtener aleaciones y mezclas que por fundición sería imposible fabricar.

Las ventajas que ofrece la pulvimetalurgia moderna en la obtención de nuevos materiales con propiedades muy particulares, son innumerables. En el siguiente capítulo se describirán aplicaciones concretas que tiene la metalurgia de polvos en nuestros días.

La industria automotriz ha sido la base en el progreso y desarrollo de nuevas aplicaciones, aún para campos no relacionados con ésta. Durante los años cuarenta y cincuenta el polvo de cobre y los cojinetes autolubricados fueron los productos principales de la metalurgia de polvos. El progreso de la tecnología espacial y nuclear ha generado la búsqueda de nuevos materiales con determinadas propiedades, que sólo se obtienen mediante pulvimetalurgia o con la intervención de ésta.

I.2. CARACTERISTICAS DE POLVOS METALICOS

I.2.1. Introducción

El éxito de un proceso de pulvimetalurgia depende en gran medida de la comprensión y evaluación de las propiedades físicas y químicas del polvo metálico, tanto en partícula individual como en conjunto o masa.

Estos polvos requieren de procesos posteriores para conformar instrumentos útiles y tener una aplicación definida. Dichos procesos son el compactado y sinterizado, que consisten básicamente en aglutinar los polvos dentro de un molde, y mediante la aplicación de presión y temperatura obtener la forma, prácticamente definitiva, de la pieza deseada.

Las características del polvo que más influyen en las propiedades físicas del producto terminado son el tamaño de partícula, distribución de tamaño, forma, microestructura y condición superficial. De igual importancia son las propiedades químicas del polvo y los contaminantes que éste pueda tener, pues afectan el compactado y sinterizado posterior.

I.2.2. Tamaño de Partícula y Distribución de Tamaño

El tamaño de partícula y la distribución de éste, tienen efectos significativos en el comportamiento del polvo metálico durante su procesado. En gran medida, estas características determinan las propiedades del producto final hecho con el polvo, por lo tanto, es de esencial importancia el determinar y caracterizar estas propiedades y el método más común de hacerlo

es mediante el uso de mallas o tamices. Sin embargo, la caracterización de esta propiedad no es fácil, los datos referentes a tamaño de partícula, en una misma muestra, pueden variar considerablemente dependiendo del instrumento o método de medición. La razón principal de tal discrepancia es el efecto que tiene la forma de partícula.

La definición de tamaño de partícula se usa sólo para aquellas de forma esférica, donde el diámetro es el parámetro característico. Sin embargo, en muchos casos la mayoría de las partículas son de forma irregular. La determinación del tamaño y distribución de estos polvos de forma irregular se basa en la medición de otras propiedades o combinación de éstas; longitud, volumen, masa, área total o área proyectada. Con la ayuda de tales mediciones, pueden calcularse los llamados diámetros equivalentes. Así, cuando la forma es irregular, se busca relacionar su volumen y masa al diámetro de la esfera equivalente.

1.2.3. Forma de Partícula

La forma y el tamaño de la partícula son características primarias del polvo, que tienen que considerarse al determinar la utilización óptima del material. El comportamiento del polvo reflejado en velocidad de flujo, densidad aparente, facilidad de sinterizado, es afectado por la forma y el tamaño de partícula. Los conceptos más comunes en la descripción y diferenciación de la forma de partícula son de tipo cualitativo.

- 1) Dimensión de partícula
- 2) Contorno superficial de la partícula

Usando estos conceptos, en las figuras 1.1 y 1.2, se muestran modelos de formas típicas.

Cuando para una partícula, su espesor es muy pequeño comparado con sus otras dimensiones, se le considera como bidimensional o plana. El contorno de éstas es comúnmente irregular. El tipo dendrítico (fig. 1.1c y 1.2c) se caracteriza por tener forma de copa de árbol y es asociada con polvos obtenidos por métodos electrofíticos. Las partículas tipo hojuela (fig. 1.1d y 1.2e) también son consideradas bidimensionales. La longitud y el ancho son sus parámetros significativos.

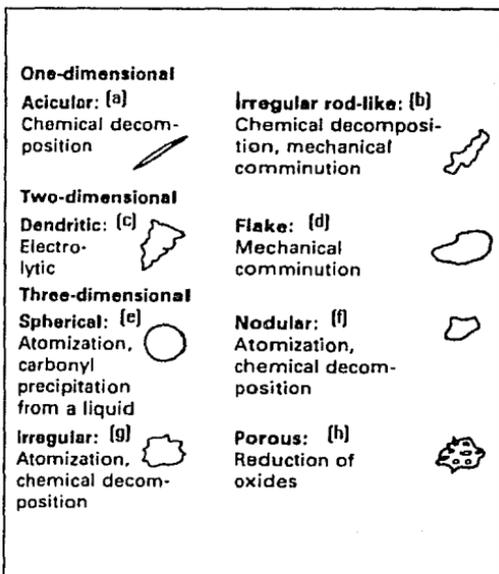


Figura 1.1: Formas comunes de polvos, y técnicas por las que se obtienen (8).

La mayoría de los polvos son clasificados como tridimensionales. La más sencilla de esta clasificación es la forma tipo esfera (fig. 1.1e y 1.2i). Semejantes a la anterior, pero de forma y contornos imperfectos, se tienen formas irregulares (fig. 1.1g y 1.2g) y formas nodulares (fig.1.2h). Las partículas porosas presentan formas irregulares pero se diferencian en su clasificación debido a la presencia de poros.

Sin embargo, los tipos ideales de formas mostradas no siempre existen. El método de atomización que se utilice tiene un efecto importante en la forma de la partícula.

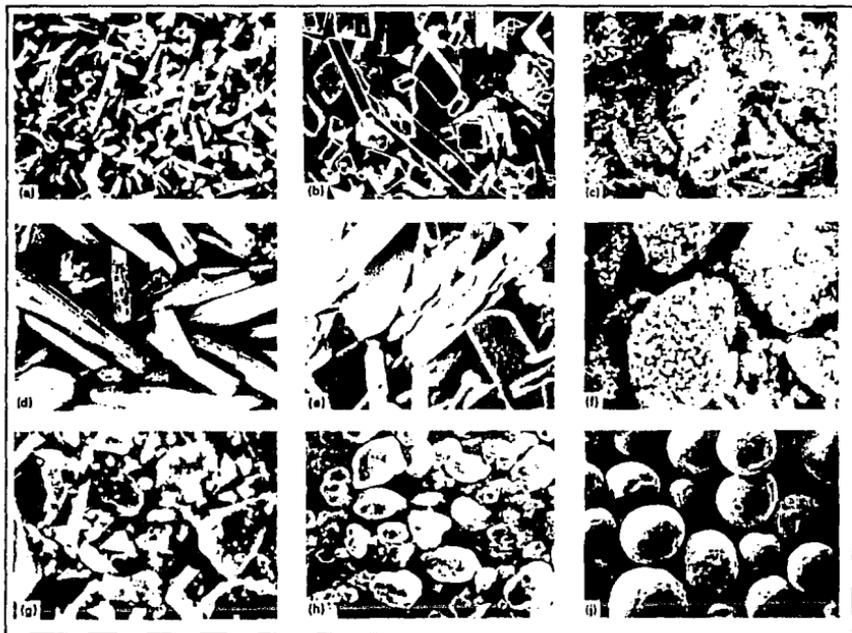


Figura 1.2: Formas típicas de las partículas según norma ISO 3252 (8).

1.2.4. Composición Química

La composición química del polvo es un factor importante que determina las reacciones que éste presenta cuando es sujeto a condiciones de compactado inicial. Durante el sinterizado, varias reacciones químicas pueden tener lugar entre el compacto y la atmósfera de sinterizado.

La composición exacta del material determina el comportamiento de estas reacciones. La composición establece la temperatura y el tipo de atmósfera requerida para el sinterizado. Por otro lado, las propiedades del material sinterizado final dependen considerablemente de la composición del material.

Usualmente, el análisis químico es dado en términos del contenido de impurezas metálicas y no metálicas, así como la forma física de la impureza.

Si bien la mayoría de los métodos para determinar impurezas se basan en la química analítica, existen diversos procedimientos que han sido desarrollados por la industria de la pulvimetalurgia para determinadas aplicaciones.

Así como el análisis químico de la partícula es de importancia, también lo es el análisis superficial para determinar problemas relacionados con la lubricación, adhesión, corrosión y fractura. El uso de técnicas de análisis superficial es de importancia esencial para comprender el efecto que tiene esta propiedad en el material consolidado, y por consiguiente, en las propiedades de ingeniería.

1.2.5. Área Superficial, Densidad, Porosidad

Al determinar el comportamiento del polvo metálico durante su procesado y las propiedades mecánicas del compacto final, el área superficial (cm^2/kg), densidad (gr/cm^3) y porosidad (%) pueden ser índices o parámetros de gran utilidad. Por ejemplo, el área superficial es de ayuda en la comprensión del proceso de sinterizado y la porosidad influye directamente en la dureza del compactado final.

Los valores de estas propiedades pueden determinarse con una variedad de métodos, de los cuales, existen algunos que fueron desarrollados para polvos de materiales no metálicos. Las técnicas de mayor uso para cuantificar estas propiedades son:

- Método de Absorción de Gas
- Medición de Permeabilidad
- Medición de Porosidad con Mercurio

Si bien área superficial, densidad y porosidad de los polvos están interrelacionadas, una muestra dada de polvo requerirá del uso de diversos métodos de prueba para obtener un análisis completo de estas características.

1.2.6. Densidad Aparente

Se define la densidad aparente de un metal en polvo al peso de éste por unidad de volumen expresado en gramos por centímetro cúbico. Esta definición resulta importante ya que interviene directamente en los parámetros de procesado tales como el diseño de la herramienta de compactado y la magnitud de la presión requerida para compactar y aumentar la densidad.

La densidad aparente de un polvo metálico depende de la densidad del material, y distribución de tamaño de partícula, forma y área superficial. La densidad aparente es afectada considerablemente por el tamaño de partícula, generalmente si este decrece la densidad aparente también decrece. A su vez, cuando la forma de la partícula es menos esférica la densidad aparente disminuye. Frecuentemente, la densidad aparente es controlada mezclando partículas de diferentes tamaños.

1.2.7. Angulo de Reposo

El ángulo de reposo es el ángulo que se forma entre la superficie libre de la masa de polvo y la horizontal. Los métodos más comunes para medirlo se muestran en la figura 1.3.

1.2.8. Velocidad de Flujo

La velocidad de flujo de un polvo metálico es el tiempo requerido para que una muestra de polvo de un peso patrón (50 g.) fluya bajo condiciones atmosféricas a través de un conducto situado en la parte inferior de la cavidad de un recipiente o contenedor (similar a un reloj de arena). La determinación de la velocidad de flujo de un polvo es de importancia en la industria que maneja grandes volúmenes de éste, ya que se requiere de un constante, rápido y uniforme llenado de cavidades. Una baja velocidad de flujo causa llenados lentos y no uniformes, con la consiguiente dificultad de asegurar un buen llenado de cavidad.

Antes de que un polvo sea usado en producción, sus características de flujo deben ser conocidas, ya que algunas herramientas de compactado requieren de polvos de flujo libre, mientras que otras pueden ser usadas con polvos de relativamente baja velocidad de flujo.

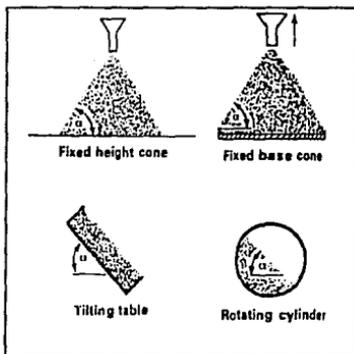


Figura 1.3: Cuatro métodos para la medición del ángulo de reposo (8).

1.2.9. Compresibilidad

Compresibilidad y compactado son términos usados para determinar cuantitativamente la capacidad que tiene una masa de polvo de aumentar su densidad mediante la aplicación de presión. Esta propiedad se toma en cuenta para el diseño de herramientas de prensado. La relación entre la densidad final de un compacto y la densidad aparente del polvo determina la profundidad o dimensiones del recipiente matriz.

La compresibilidad al igual que muchas otras propiedades, es influenciada por la dureza del material, forma, tamaño y distribución de tamaño de la partícula, porosidad interna, impurezas, así como por el uso de lubricantes sólidos o la adición de elementos aleantes.

1.3. METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS

1.3.1. Introducción

La producción de polvo metálico siempre ha sido influenciada por el costo de producción y los requerimientos de calidad del polvo que cada técnica de consolidación y aplicación necesita. Esta interrelación ha dado lugar al desarrollo de diversos procesos de producción. Estos métodos de fabricación deben ser rentables (costo) y proporcionar al producto las propiedades físicas y químicas necesarias para cada aplicación. En general, los métodos actuales proporcionan un polvo limpio, con un tamaño más uniforme y con especificaciones en rangos estrechos.

Para la fabricación de polvos, se han desarrollado diversas técnicas y equipos basados en diversos principios; tales como, atomización, pulverización mecánica, reducción química, depósito electrolítico, etc.. Cada uno de los cuales brinda al producto final ciertas características. Sin embargo, sea cual sea el proceso por el cual se obtengan los polvos, las características más importantes a evaluar son: tamaño promedio, distribución del tamaño, estado superficial, composición química y microestructura.

1.3.2. Atomización con Gas y Agua

La atomización por gas se caracteriza por un flujo continuo de gas en contacto con otro de metal. En contraste, en la atomización por agua, un flujo de agua a alta presión es forzado a pasar através de toberas para formar una dispersión de pequeñas gotas que se impactan con el chorro de metal. En términos generales, los polvos atomizados por agua presentan las características típicas de forma irregular y alto contenido superficial de oxígeno. Mientras que los polvos atomizados por gas, son generalmente más esféricos en cuanto a su forma; y si son atomizados mediante un gas inerte, poseen un bajo contenido de oxígeno.

El proceso comienza con la fusión del metal ya sea en horno eléctrico, de arco o de alta frecuencia, donde pasa a una cuchara situada en la parte superior del atomizador. A través de conductos, el metal líquido es enviado a la boquilla del atomizador donde es interceptado por chorros de gas inerte o agua a alta presión. La desintegración del metal se produce con ayuda de las fuerzas de rozamiento entre el metal líquido y el fluido. Las pequeñas gotas de metal se

enfrián y solidifican mientras se depositan en la parte baja del tanque. Este tanque ha sido "purgado" previamente con un gas inerte para minimizar la oxidación del polvo.

En contraste con otros procesos de atomización, la atomización por agua o gas no ha sido perfectamente comprendida en términos de sus principios básicos. Sin embargo, existen un sinnúmero de datos experimentales y relaciones empíricas que relacionan la distribución de tamaño de partícula con las condiciones de atomización (7).

Las variables que deben de controlarse son: distancia entre los chorros, presión de los chorros, geometría de las toberas, velocidad del fluido y del metal, y el sobrecalentamiento de este último.

En general se puede decir que los polvos atomizados por gas tienden a ser de superficies suaves y esféricas y que a más elevadas presiones y menores distancias entre chorros, se producen polvos más finos.

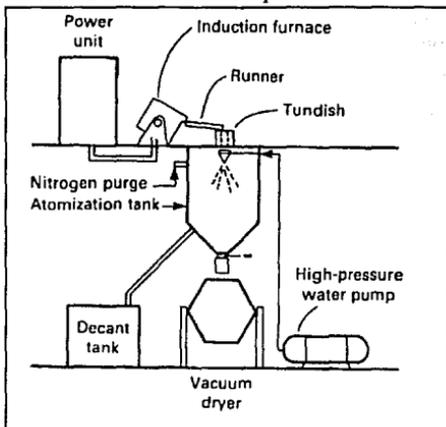


Figura 1.4: Sistema de atomización por agua (8).

Típicamente, las presiones de atomización por gas se encuentran dentro del intervalo de 1.4 a 4.2 MPa y velocidades de 50 a 150 m/s; bajo estas condiciones, la velocidad de enfriamiento es de 10^2 K/s.

En la figura 1.5, se muestra un modelo de desintegración de una "hoja líquida" mediante un chorro de gas a alta velocidad. En la etapa I, se aprecian ondulaciones que crecen en amplitud, seguidas en la etapa II de fragmentación que forma ligamentos, en la etapa III se rompen estos ligamentos formando pequeñas gotas. Es importante destacar que se ha observado que durante la fragmentación de los ligamentos (etapa III), si se tiene un material de alta tensión superficial y sometida a una baja velocidad de enfriamiento, se forman partículas de superficie regular, mientras que si se tienen aleaciones de baja tensión superficial a una alta velocidad de enfriamiento, se obtienen partículas de superficie irregular.

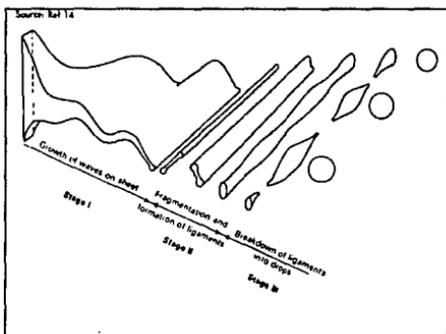


Figura 1.5: Modelo de desintegración de una hoja líquida (8).

Excepto por el medio atomizante y porque en el proceso con agua es necesario filtrar ésta en el recipiente inferior, por lo demás los procesos y diseños de atomización por agua y gas, son esencialmente iguales. Un esquema se muestra en la figura 1.6.

En la atomización por agua se utilizan presiones de alrededor de 3.5 a 21 MPa, con velocidades del agua de 40 a 150 m/s y la velocidad de enfriamiento que varían desde 10^3 a 10^7 K/s.

Tamaño, Distribución y Forma de la Partícula

El diseño de las "toberas de atomización", es un factor determinante en las características, especialmente de tamaño y forma, de las partículas. Los diseños son muy variados y se omiten en el trabajo, pues el principio de funcionamiento de cada uno de ellos no es parte fundamental del mismo.

Por lo general, las colisiones que ocurren durante la atomización son poco deseables, ya que afectan el tamaño, la distribución y la forma de la partícula. En ocasiones provocan formas irregulares así como la fragmentación de partículas ya esferoidizadas y también son responsables de que el oxígeno circundante quede atrapado.

Se ha obtenido una ecuación empírica para el cálculo del diámetro medio por atomización, que se muestra a continuación:

$$d_o = 585 \frac{\sqrt{\sigma}}{V\sqrt{\rho}} + 597 \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{\sigma\rho}} \right)^{0.45} \left(1000 \frac{Q_l}{Q_a} \right)^{1.5} \quad (8)$$

donde:

d_o - diámetro medio de la partícula [μm]

ρ - es la densidad del metal fundido [gr/cm^3]

σ - es la tensión superficial del metal fundido [dina/cm]

μ - es el coeficiente de viscosidad del metal fundido [$\text{dina s}/\text{cm}^2$]

V - es la velocidad relativa entre el aire y el metal fundido [m/s]

Q_l - es el flujo volumétrico del metal fundido [cm^3/s]

Q_a - es el flujo volumétrico del aire [cm^3/s]

Esta ecuación se obtuvo como resultado de varios experimentos con diversos líquidos de diversas tensiones superficiales y viscosidades, a temperatura ambiente y usando aire como medio de atomización.

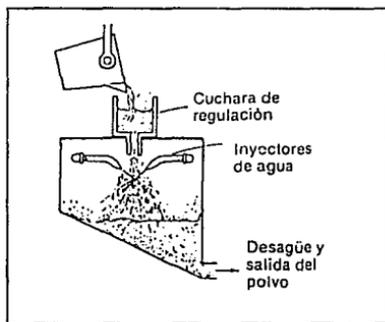


Figura 1.6: Esquema de un equipo de atomización por agua (9).

La forma que adquieren las partículas atomizadas por alguno de estos medios, es dependiente de los factores que intervienen en la velocidad de enfriamiento, así como de la esferoidización del líquido del que se trata. Comúnmente, la microestructura mostrada por una partícula de polvo atomizado es dendrítica, este tipo de microestructura se muestra en la figura 1.7.

Generalmente, las velocidades de enfriamiento para la atomización por agua son de dos o tres órdenes de magnitud mayores que aquellos por gas (nitrógeno o argón), por lo que, para el mismo tamaño de partícula, las microestructuras obtenidas son más finas.

Estas velocidades de enfriamiento se pueden determinar a través de la medición de los espaciamentos entre brazos dendríticos secundarios; mientras más grandes sean éstos, mayor es la velocidad de enfriamiento. El espaciamiento dendrítico también puede depender del tamaño de partícula y de la composición. De estos datos es posible calcular los tiempos de solidificación, los cuales son extremadamente cortos, pero mayores que el proceso de esferoidización. Siendo esta la razón por la que es frecuente obtener partículas de forma esférica.

La producción de polvos mediante atomización gaseosa permite obtener partículas metálicas de forma esférica y tamaños que van desde decenas hasta varias centenas de micras. Para el caso particular de superealeaciones, una distribución típica de tamaños de polvos tiene su máximo en aproximadamente 150 μm .

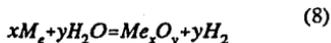
En general, para una tobera determinada, el tamaño de partícula se encuentra determinado por la presión y la velocidad a la que es expulsado el medio atomizante. Para las toberas sónicas por ejemplo, se tienen velocidades de salida del gas de alrededor de 300 m/s o menores.

Microestructura y Composición Química

Los rápidas velocidades de enfriamiento, propias de la atomización, así como la combinación con las técnicas de sinterizado para la obtención de metales con densidades predeterminadas, han llevado a la obtención de partículas con estructuras homogéneas y de microestructuras refinadas. Desde luego, cada técnica de atomización tiene características propias.

En la atomización por agua y gas, una de estas características importantes es la *Oxidación*.

Durante la atomización, la mayoría de los metales reaccionan con el agua o vapor, para formar óxidos, siguiendo la reacción química siguiente:



La oxidación generalmente se incrementa con el incremento de la temperatura de la fundición y depende del tamaño de la partícula.

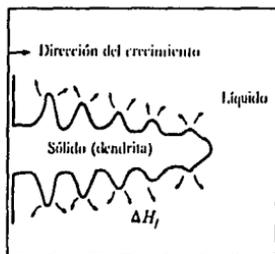


Figura 1.7: Crecimiento dendrítico (10).

Existe un tamaño crítico de la partícula para el cual la capa de óxido es mínima. Esto, es el resultado de dos factores contrarios. Mientras mayor es el tamaño de la partícula, el tiempo de enfriamiento y por consiguiente la exposición a la oxidación se incrementa, con lo que la capa crece. Contrariamente, si el tamaño de la partícula decrece, el área específica aumenta. Esto quiere decir que, mientras que las partículas pequeñas se enfrían más rápidamente y producen capas más finas de óxido, la mayor área superficial (por unidad de peso) resulta en un contenido de oxígeno mayor.

Metal	Oxygen Content, ppm
Silver	100
Gold-Nickel	< 100
Copper	< 800
Copper-tin	< 400
Nickel	< 500
Iron	1500-3000
Cobalt	2000-3000
Iron-Carbon	500
Aluminium	2000
Fe-13Cr	1000-3000
Fe-45Si	2000
Ni-Cr-B-Si	250-1000
Fe-80Mn	30 000

Tabla 1.1: Contenido de oxígeno en las partículas de atomización por agua (8).

solucionarse utilizando inoculantes que produzcan una solidificación dirigida, de forma que el frente sólido vaya desplazando al gas atrapado en la gota del líquido, o bien utilizando como gas al Nitrógeno, que al ser soluble en el metal líquido no produce porosidad.

En la solidificación de un lingote, la propia característica del proceso segrega preferentemente la escoria y otras impurezas hacia la superficie, en donde posteriormente se eliminan. Sin embargo, estas impurezas están mezcladas en forma de polvos con los propios polvos metálicos, siendo más difícil eliminarlas.

Una tabla típica del contenido de oxígeno de metales atomizados por agua es la que se muestra en la tabla 1.1. Se ha encontrado que el 80 o 90% del oxígeno recogido durante la atomización se encuentra en las capas superficiales de los polvos.

Otra de las características importantes en estos procesos es la *Segregación* que es más importante en el caso de la atomización por gas como consecuencia de la baja capacidad calorífica de éstos. Sin embargo, es posible reducir la segregación utilizando algunas técnicas que incrementen la velocidad de enfriamiento. Tal es el caso de la adición de gas a temperatura ambiente en diversas zonas del atomizador. En este mismo sentido, se pueden recoger los polvos sobre una capa de nitrógeno líquido. Sin embargo, la atomización mediante agua y gas, incorporando a un recipiente de agua como medio de enfriamiento, no es usado para metales reactivos tales como el Titanio y superaleaciones.

En la atomización con gas, se utilizan Nitrógeno o Argón como gases atomizadores; sin embargo, éste último parece favorecer la formación de porosidades internas en los polvos, las cuales son muy difíciles de eliminar posteriormente. El problema puede

El agua ha sido usada exitosamente para atomizar ciertos aceros inoxidable como lo son los aceros rápidos para herramientas, gracias a que las capas de oxígeno que se forman, pueden ser reducidas en el subsecuente sinterizado.

En particular, los polvos atomizados por gas, pueden contener microporosidades. Estas, se originan durante las colisiones de las partículas mismas. Esta tendencia se puede reducir utilizando otro proceso de atomización en el que el mecanismo de colisiones no sea un factor significativo, así como la *Atomización Centrífuga*, Atomización por Vacío y el de Electrodo Rotatorio. En términos generales, la microestructura de los polvos producidos por la atomización con gas o agua, puede ir desde estructuras amorfas hasta estructuras dendríticas y cristalinas. Por último, tras la atomización, secado y clasificación de los polvos, éstos suelen someterse a un recocido, con el objeto de reducir su contenido de oxígeno y dureza superficial.

Como en el caso de atomización por gas, la finura de la estructura obtenida depende de la velocidad de enfriamiento del polvo.

1.3.3. Atomización por Centrífuga

Mecanismo y Procedimiento

Existe una enorme variedad de técnicas de atomización, basadas en la "solidificación rápida", para propósitos de este trabajo, la más importante es la atomización por centrifugado.

Todo el sistema se sitúa en una cámara aislada. Típicamente, la aleación metálica se funde por inducción magnética en condiciones de vacío o en atmósfera inerte. Cuando la temperatura apropiada de sobrecalentamiento se obtiene, un disco es puesto a girar, para posteriormente depositar un filamento de metal fundido sobre su superficie. El metal líquido es lanzado mecánicamente fuera de los bordes del disco en forma de gotas pequeñas. La solidificación ocurre durante el trayecto de las partículas y puede ser acelerado mediante el rocío de un chorro de gas (por ejemplo helio).

Las velocidades de enfriamiento son del orden de 10^5 K/s o mayores para polvos producidos en atmósfera de helio y de diámetros medios de $100\mu\text{m}$. Sin embargo, la velocidad de enfriamiento crece exponencialmente con la disminución del diámetro medio. Se utilizan velocidades que van del orden de 4500 hasta 30,000 RPM o más, y se obtienen partículas con diámetro medio de alrededor de $50\mu\text{m}$.

Tamaño, Distribución y Forma de la Partícula

Las partículas son generalmente esféricas, con un tamaño promedio que decrece conforme aumenta la velocidad del disco. El tamaño de las partículas va desde 10 a $200\mu\text{m}$ de diámetro medio y su forma varía desde partículas cuasi-esféricas hasta largas y extendidas.

Conforme la velocidad de enfriamiento de una fundición aumenta, el tiempo disponible para la solidificación decrece. Ciertos procesos químicos tales como la difusión y la tendencia a formar precipitados masivos también se ven reducidos; mientras que las características microestructurales (espacio interdendrítico y tamaño de grano, por ejemplo) se vuelven más finas. -

Los polvos producidos mediante estos procesos son típicamente esféricos y libres de "satélites" unidos a ellos. La microestructura es dependiente tanto del tamaño de partícula como de la composición de la aleación. Por ejemplo, las aleaciones basadas en Níquel tienden a tener una estructura dendrítica.

1.3.4. Atomización por Electrodo Rotatorio

Mecanismo y Procedimiento

La principal virtud de este proceso es la de producir polvos prácticamente libres de contaminación, ya que no utiliza crisol que siempre representa una fuente de impurezas.

En este proceso (Rotating Electrode Process: REP), se construye el electrodo rotatorio con el metal que se pretende pulverizar, el proceso de fundición se realiza mediante arco eléctrico entre este electrodo y otro fijo (generalmente de Tungsteno). El metal fundido fluye hacia el borde y por acción de la fuerza centrífuga se acumula en forma de toroide alrededor de éste. El proceso se realiza en una atmósfera inerte. El tamaño y forma del polvo atomizado depende del modo en que el toroide se desintegra.

Se reconocen tres diferentes mecanismos de desintegración que tienen lugar durante la centrifugación: A) Formación Directa de Gotas (Direct Drop Formation:DDP), Desintegración de Ligamentos (Ligament Desintegration:LD) y desintegración de película (Film Desintegration: FD). La figura 1.8 ilustra este proceso.

Tamaño, Distribución y Forma de la Partícula

Cuando se tiene un buen control del diámetro del electrodo rotatorio, de su velocidad de giro y de la rapidez de fusión, tanto las partículas primarias como las secundarias que se obtienen son principalmente de forma esférica. Debido a la magnitud de la rapidez de fusión se llegan a formar ligamentos líquidos, los que se desintegran en partículas de tamaños variados.

Sin embargo, cuando la velocidad de fusión es demasiado alta, no se da a los ligamentos el tiempo necesario de evacuar el líquido y el toroide se esparce en forma de película. Entonces, la atomización se produce por desintegración de ésta y se obtienen formas irregulares.

Nuevamente, la investigación teórica que se tiene sobre este mecanismo es apenas incipiente y no existe un modelo teórico que pueda predecir el tamaño que bajo ciertas condiciones del proceso, se puede obtener.

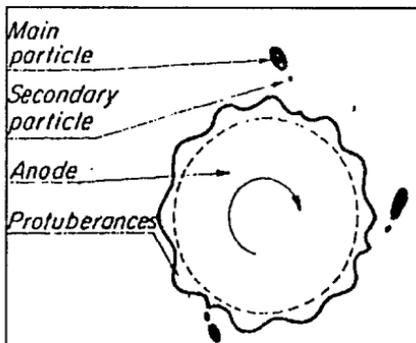


Figura 1.8: Mecanismo de desintegración (11).

Se conoce como ecuación empírica la siguiente:

$$d_{32} = 3.3 \times 10^6 \frac{1}{\omega^{1.03}} \left[\frac{\gamma}{\rho} \right]^{0.5} \frac{1}{D^{0.58}} Q^{0.02} \quad (11)$$

donde:

d_{32} = diámetro medio [m]

D = Diámetro del electrodo rotatorio [m]

Q = Velocidad de fusión del electrodo rotatorio [m^3/s]

γ = Tensión superficial del metal atomizado a la temperatura de fusión [N/m]

ρ = Densidad del metal atomizado a la temperatura de fusión [kg/m^3]

ω = Velocidad angular del electrodo rotatorio [rad/s]

Como en la mayoría de los procesos, la distribución de tamaño de los polvos, así como el resto de sus parámetros, se ven afectados por la naturaleza del metal atomizado, y el control que se tiene durante el proceso.

Microestructura y Composición Química

Como este es uno de los procesos que se realizan bajo una atmósfera inerte, la contaminación superficial especialmente de oxígeno es mínima; alrededor de 150 ppm. Sin embargo, estos polvos pueden estar contaminados por partículas de Tungsteno del electrodo fijo cuando se usa un arco eléctrico para fundir al metal. Este problema se soluciona desde luego cuando se utiliza fundición por plasma. Además, en cuanto a la presencia de impurezas en el polvo obtenido, éstas pueden considerarse casi nulas ya que el metal líquido no entra en contacto con ningún refractario mientras permanece en dicho estado.

Usualmente se observan fronteras de grano y estructuras dendríticas. Así mismo, se han llegado a distinguir cavidades en polvos de Al y Zn hechos por este método.

Para cierto tipo de materiales, como lo son los aceros AISI T1 y AISI T1S, no hay una notable diferencia en la composición química entre los polvos producidos por este método y el material (electrodo) del cual se parte. Sin embargo, para algunas otras aleaciones, tales como los carburos de Vanadio, se aprecia un cambio sustancial en la composición química final.

1.3.5. Atomización por Vacío

Mecanismo y Procedimiento

La atomización por vacío, o por gas soluble como también se le conoce, consiste en supersaturar al metal fundido con algún gas inerte dentro de un contenedor a presión. Repentinamente se expone la mezcla al vacío, el gas se expande y se aparta de la solución provocando la atomización del metal.

El polvo es producido a partir de la saturación de un metal fundido con un gas soluble o no reactivo. El chorro de metal fundido es expulsado del crisol hacia la cámara, al producir en ésta una baja presión. La mezcla íntima que se produce entre el gas y el metal provee la energía necesaria para atomizar en finas gotas a este último.

Así como en ciertos procesos el control de velocidades, temperatura, distancias, etc., son parámetros determinantes en la forma y microestructura de los polvos, en este proceso el uso de diferentes gases solubles e inertes y la saturación que se tiene de éstos en el metal líquido, son los principales factores que determinan las características de los polvos.

La fundición del metal se realiza en un horno de inducción en una atmósfera inerte.

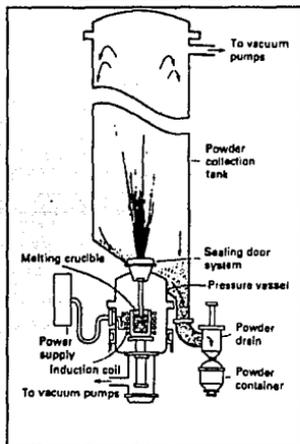


Figura 1.9: Esquema de la atomización por vacío (8).

Para Latón por ejemplo, se han obtenido partículas de tamaño medio de $220\mu\text{m}$. Este proceso es capaz de producir partículas de formas muy variadas dependiendo del espaciamiento entre los rodillos, velocidades de éstos, etc.

1.3.7. Métodos Químicos de Producción de Polvos

La producción de polvos metálicos mediante el empleo de procesos químicos o fisicoquímicos genera una gran variedad en las propiedades de dicho producto. La amplia gama de variables y parámetros de producción que actualmente se usan permite un control preciso del tamaño y forma de la partícula. Los polvos pueden ser fabricados por reducción de óxidos, precipitación de solución o gas, descomposición térmica, fragilización química, descomposición hídrica, entre otros. Los procesos de uso común de este tipo incluyen reducción de óxidos y precipitación en solución.

Tamaño, Distribución y Forma de la Partícula

Los polvos que se obtienen por este método son esencialmente esféricos con algunas partículas satélites.

La íntima mezcla del gas con el metal durante la atomización conlleva a una rápida solidificación y enfriamiento; de hecho, sin ningún tipo de enfriamiento auxiliar, estas partículas son enfriadas con mayor rapidez que en muchos otros procesos.

1.3.6. Atomización por Rodillos

El principio de este proceso consiste en la atomización de un chorro de metal fundido, que se alimenta entre dos rodillos rotatorios en sentido inverso, a velocidades del orden de 200 rev/s. Típicamente, la separación entre los rodillos es de $50\mu\text{m}$ y es sumamente importante que el calor transferido a la superficie del rodillo sea minimizada. Este proceso ha sido utilizado para la pulverización de Cobre, Latón y Plomo.

Reducción de Óxidos

La producción de polvos de Hierro, Cobre, Tungsteno, y Molibdeno a partir de sus respectivos óxidos son procesos comerciales bien establecidos. Los polvos que se obtienen por reducción presentan constantemente la presencia de poros en cada partícula, por lo que son llamados polvos esponja. Esta porosidad afecta directamente la capacidad de compactado y el sinterizado de dicho polvo.

Precipitación en Solución

La obtención de polvos por procesos hidrometalúrgicos se basa en el lavado del mineral o concentrado de éste seguido del precipitado del metal de dicha solución. La precipitación del metal de una solución puede efectuarse por electrólisis, cementación, o reducción química.

El proceso comercial de mayor empleo basado en métodos hidrometalúrgicos es la cementación, separación y precipitado de Cobre, Níquel y Cobalto en soluciones salinas por reducción con Hidrógeno.

1.3.8. Producción de Polvo por Molido

El molido de materiales, sean duros y frágiles o suaves y dúctiles, es de fundamental interés e importancia económica para la industria de la PM. El pulverizado mecánico es el método de producción de polvo de mayor uso para metales duros y polvo de óxido. El molido secundario de polvos obtenidos por reducción, atomizado o proceso electrolítico es el método más común de pulverización mecánica. La pulverización mecánica se restringe a metales relativamente duros y frágiles, algunos metales reactivos como el Berilio, metales dúctiles usados para producir polvos de forma de hojuela y materiales fragilizados químicamente.

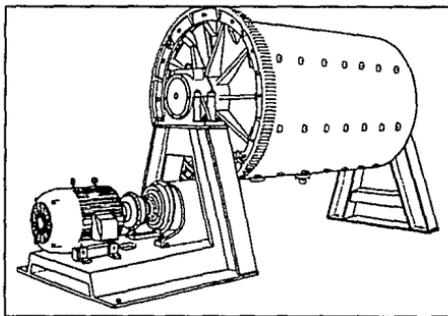


Figura 1.10: Molino para pulverizar (8).

El interés por tamaños de partícula menores a las obtenidas por atomización ha reactivado la atención sobre el molido mecánico, aunque este método ha recibido poco desarrollo.

En la mayoría de los casos, el objetivo del molido es la reducción del tamaño de partícula. El efecto específico que el molido ejerce sobre la partícula depende de las propiedades físicas del polvo y del medio gaseoso, líquido o vacío. La selección del método de molido dependerá de las propiedades del material a moler y de las características deseadas.

Los cambios en la morfología de la partícula de polvo durante el molido se producen a través de los siguientes procesos.

Microforjado

La etapa inicial y predominante durante el molido de polvo es la compresión de las partículas por impacto. Individualmente o en conjunto, las partículas reciben constantes impactos de tal manera que son deformadas sin un cambio en la masa.

Fractura

Después de la etapa inicial, la partícula llega a su límite de deformación plástica produciéndose, en consecuencia, la fractura. Fisuras, porosidades, defectos e inclusiones en la partícula favorecen la fragmentación.

Desaglomerado

La aglomeración de las partículas puede darse por soldadura, interferencia mecánica entre superficies rugosas o autoadhesión. El desaglomerado es el proceso que rompe esta ligadura sin desintegración de partículas.

Un equipo representativo del molido mecánico es el molino de bolas o esferas. En este dispositivo, se introduce el polvo dentro de un cilindro o cámara de molido, este cilindro al girar eleva diversas esferas las que al caer impactan sobre el polvo depositado en la parte baja (instantánea) del cilindro (fig.1.10).

I.4. CUADRO COMPARATIVO

El siguiente cuadro presenta las características más relevantes de los procesos descritos, particularmente las de los primeros cuatro, que son los de mayor uso dentro del campo científico.

<i>METODO</i>	<i>FORMA</i>	<i>TAMAÑO</i> (μm)	<i>CONT. DE OXIGENO</i> (ppm)	<i>VEL. DE ENFR.</i> (K/s)
Atomización por Gas	Esférica y Redondeada	1-1000 *150	60-300	10 ²
Atomización por Agua	Irregular	50-100	200-700 **8000	10 ³ -10 ⁷
Atomización Centrífuga	Esférica hasta larga y extendida	10-200 *50	50-250	Mayores 10 ⁵
REP	Esférica y libre de contaminantes	150	50-150	10 ³ -10 ⁴

* Valor característico, ** Valor máximo

Otras características importantes son las siguientes:

Atomización por Gas

Velocidad de Salida del Gas	: 50-150 m/s
Presión de Salida " "	: 14-42 x 10 ⁵ Pa

Atomización por Agua

Velocidad de Salida del Agua	: 40-150 m/s
Presión de Salida " "	: 35-210 x 10 ⁵ Pa
Espesor de Capa de Oxidos	: 3 μm

Atomización Centrífuga

Velocidad de Fundición	: 7200 Kg/hr
Velocidad de Giro del Disco	: 4500 a 30 000 RPM
Estructuras Típicas	: Dendríticas Finas

REP

Estructuras Típicas	: Dendríticas y Fronteras de Grano Visibles. Libres de Contaminantes
Velocidad de Fundición	: 60 Kg/hr

I.5.RESUMEN

I.5.1.Atomización por (Gas y Agua)

1. En la atomización gaseosa se pueden obtener polvos de morfología altamente irregular y tamaños que van desde 1 a 1000 μm y contenidos de oxígeno entre 60 y 300 ppm., tras su recocido.
2. En los polvos atomizados por agua, si no se tiene un control estricto de los parámetros, se llegan a obtener contenidos de oxígeno de hasta 8,000 ppm con espesores de capa oxidada de 3 μm . Desde luego, estas cantidades pueden reducirse a 1/4 parte o más aún, mediante la adición de antioxidantes y antiespumantes al agua de atomización.
3. En el caso de agua, existe una fuente más de posibles inclusiones difíciles de eliminar. Tal es el caso de las sales de Calcio en suspensión en el agua de atomización, por lo que es aconsejable el uso de aguas desmineralizadas.
Este tratamiento que requiere el agua de trabajo, puede resultar en un elevado del costo del mismo.
4. Los polvos atomizados por agua son generalmente bastante irregulares en forma y con alto contenido superficial de oxígeno. Mientras que los polvos atomizados por gas son generalmente más esféricos cuanto a su forma y si son atomizados mediante un gas inerte, contienen un bajo contenido de oxígeno.

Cualquiera que sea el método de pulverización, el procedimiento de fundición es generalmente un procedimiento convencional: A presión atmosférica o en vacío, mediante arco eléctrico, o en hornos de combustible.

1.5.2.REP

1. Nuevamente, como en todos los procesos, los parámetros que controlan la distribución del tamaño, microestructura, forma y demás características de estos polvos, son controlados principalmente por la velocidad de solidificación.
2. En las superficies de los polvos producidos por este método, frecuentemente se observan límites de grano y alto contenido dendrítico. También se llegan a observar cavidades como en polvos de Al y Zn.
3. Por último, se puede mencionar que la estructura química observada en los polvos de REP, prácticamente no varía en relación a la composición del electrodo del cual provienen.
4. Las aleaciones de Titanio, por ejemplo, son óptimamente producidas por este proceso, debido a la naturaleza corrosiva del Titanio fundido y la dificultad que involucra contenerlo.
5. Los polvos producidos por esta técnica, han demostrado un alto grado de esfericidad, junto con un muy buen acabado superficial.
6. La velocidad de fundición es baja (60 Kg/hr.) y el control de las geometrías de los electrodos es complicado.

1.5.3.Atomización Centrífuga

1. Los polvos que se obtienen son por lo general, esféricos y de buena calidad. Con muy pocas partículas "satélites" (pegadas a las partículas principales).
2. La distribución de tamaños de partícula es estrecha (poca dispersión) y centrada en un valor pequeño ($50\mu\text{m}$ o menores). Esto implica un tamaño de grano menor en la aleación final, lo que a su vez implica una facilidad de conformado mecánico mayor de las aleaciones.
3. El contenido de oxígeno es bajo.
4. La velocidad de fundición o de producción es alta.
5. Es un método relativamente barato, comparado con otros que permiten obtener la misma calidad de polvos.
6. Es un método menos complicado de diseñar y optimizar que el de electrodo rotatorio por ejemplo, y menos "impredecible" que el de vacío.

I.6. REFERENCIAS

1. ORTIZ PRADO Armando, Texto de la Facultad de Ingeniería: *Apuntes de Procesos de Conformado de Materiales*, p.211-236, México, 1991.
2. CARPENTER, H.C.H. and Robertson, J.M., *The Metallography of some Ancient Egyptian Implements*, J.Iron and Steel Inst.,**121**, 1930, p 417-448.
3. BERGSÖE,P., *The Metallurgy and Technology of Gold and Platinum among the Pre-Columbian Indians*, Ingeniorsvidenskabelige Skrifter (A),**44**, Copenhagen,1937
4. WOLLASTON, W.H., *On a Method of Rendering Platina Malleable*, Phil. Trans. Roy. Soc.,**119**,1829,p 1-8
5. OSANN, G., *Ann Physik Chem.*, **128**, 1841, p 406
6. U.S. Patents 101,863; 101,864; 101,866 and 101,867, 1870
7. LAWLEY, *An Overview of Powder Atomization Processes and Fundamentals*, International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology, **13**, July, 1977.
8. ASM Encyclopedia, *Powder Metallurgy*, **7**, Ed. American Society for Metals, ninth edition, Chap. Atomization, U.S.A., 1984.
9. GALLARDO José M. y HERRERA Enrique J., *Métodos de Obtención de Polvos de Aceros Rápidos*, Metalurgia y Electricidad, Sevilla, España, abril 1987.
10. ASKELAND Donald R., *La ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Cap. ocho: Solidificación y Aleación, Grupo Editorial Iberoamérica, 1a. Ed., México, 1987.
11. MPR, *Characteristics of Powders Produced by the Rotating Electrode Processes*, May 84.

CAPITULO II: PROCESOS FISICOS EN LA PRODUCCION DE POLVOS

II.1.PROCESOS DE SOLIDIFICACION

II.1.1.Introducción

En la gran mayoría de los casos, tanto los metales puros como las aleaciones, en algún momento de su procesamiento tuvieron que encontrarse en estado líquido. De manera que el proceso de solidificación es inevitable para obtener la configuración sólida de un metal. Esta configuración puede ser prácticamente definitiva una vez concluida la solidificación; o bien, procesarse posteriormente para obtener las geometrías y características requeridas. De cualquier manera, las estructuras que se producen durante la solidificación afectan las propiedades mecánicas e influyen en el tipo de procesamiento subsecuente.

La solidificación en sí, consiste en una transformación de fase líquida a sólida. En los metales puros, el tamaño de grano, la forma y las propiedades mecánicas, se pueden controlar durante la solidificación.

La adición de átomos sustitucionales e intersticiales que interfieran con el movimiento o deslizamiento de las dislocaciones, es una de tantas formas de controlar dichas características. Esta adición de elementos de aleación, puede causar que se formen dos o más fases en la microestructura del material, delimitadas por interfases. Estas interfases, son muchas veces deseadas, pues consisten en superficies en las que el ordenamiento atómico no es perfecto; por lo que el límite interfiere con el movimiento de las dislocaciones. Además, la existencia de varias fases conlleva a un endurecimiento del material conocido como "endurecimiento por dispersión o por precipitación".

Desde el punto de vista de la ingeniería, lo que resulta importante es la capacidad de dar a una material una geometría que resulte útil. Visto así, el fenómeno de solidificación resulta ser la transformación más importante. Además se debe tomar en cuenta que:

Si los aleantes a intervenir se encuentran en estado sólido, la mezcla sólo puede llevarse a cabo mediante difusión, que es un fenómeno que ocurre por lo general, muy lentamente. Mientras que en el estado líquido el mezclado puede ser tanto por difusión como por convección. Consecuentemente, la mayoría de las aleaciones son mezcladas en estado líquido y después solidificadas, para dar lugar a un material homogéneo para su posterior conformado.

II. 1.2. Solidificación de los Metales Puros

A grandes rasgos, la solidificación de un metal se lleva a cabo en dos etapas: *Nucleación* y *Crecimiento*. En la nucleación, la estructura cambia repentina y completamente con el avance de la interfase líquido-sólido. En la solidificación, la nucleación implica el ordenamiento de un grupo de átomos en el estado líquido para formar un pequeño cristal de material sólido. Esta primera partícula que sirve de "iniciador" se le conoce con el nombre de *Embrión*, y requiere de un incremento en la energía libre para su formación y obtención de un tamaño específico. Este tamaño específico o *Tamaño Crítico* es indispensable que sea alcanzado por el embrión, pues de no ser así, en lugar de crecer se vuelve a fundir, causando un decremento en la energía libre y el metal permanece líquido. Estas fluctuaciones ocurren por encima del punto de fusión, sin embargo, bajo estas condiciones, el estado líquido es más estable (tiene una energía libre asociada menor) que el estado sólido, de manera que los cristales o núcleos siempre se desintegran nuevamente al estado líquido. Estos núcleos, cuyo continuo crecimiento incrementa la energía libre del sistema, se denominan "subcríticos".

La nucleación ocurre cuando el embrión crece hasta formar una partícula sólida, denominada *Núcleo*, superior a un cierto tamaño crítico y la consecuente disminución de la energía libre. Esta nucleación sólo se lleva a cabo cuando un número suficiente de átomos se agrupa espontáneamente para producir un sólido con radio mayor que el *Radio Crítico*, que corresponde a la curva que se muestra en la figura 2.1.

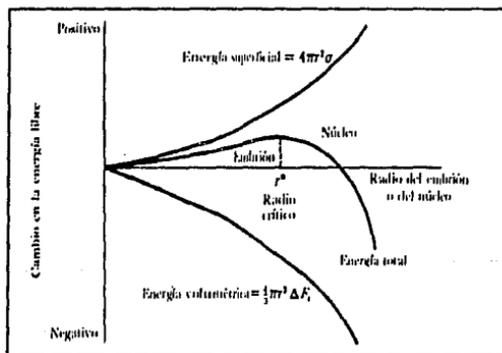


Figura 2.1: Cambio de energía libre en función del radio del embrión (1).

La ecuación para la determinación del *Radio Crítico* se obtiene de la derivada de la ecuación de energía libre volumétrica E(2.1); es decir: $d(\Delta G)/dr = 0$. Y es la siguiente:

$$r^* = \frac{-2\gamma_{SL}}{\Delta G_v} \quad (1)$$

El radio crítico es alcanzado cuando la energía libre ΔG_v iguala justamente a la energía libre superficial por unidad de volumen del núcleo.

El crecimiento del sólido ocurre cuando los átomos del líquido se unen al sólido diminuto hasta que el líquido se acaba.

II.1.3. Nucleación Homogénea

La nucleación homogénea se presenta cuando el líquido se enfría bastante por debajo de la temperatura de solidificación en equilibrio, esto se debe a que a esta temperatura los átomos se reúnen para formar un embrión de radio mayor que el radio crítico. Sin embargo, la nucleación homogénea rara vez ocurre en procesos de solidificación comunes y corrientes, pues como se describirá a continuación, basta añadir pequeñas impurezas o la presencia de las mismas en el recipiente donde se solidifica el metal, para que se presente una nucleación heterogénea.

II.1.4. Nucleación Heterogénea

Cuando se tiene una impureza en el líquido metálico, ya sea intencional o no, se proporciona una superficie pequeña para que un sólido se forme con un radio mayor que el radio crítico; es decir, un sólido que se forma con una impureza puede adquirir el radio crítico con un menor incremento en la energía superficial. Así, la nucleación heterogénea puede darse con subenfriamientos relativamente bajos. Además, si el sólido cristaliza sobre el substrato sólido de algún tipo (como puede ser una inclusión o la superficie misma del crisol que contiene al líquido), la energía superficial del metal solidificado por unidad de volumen, es la suma de varios términos de energía superficial. En otras palabras: Si un núcleo se forma de manera homogénea, se necesita que cristalicen una gran cantidad de átomos antes de que se alcance el radio crítico r^* . Por el contrario, si una partícula que es factible de ser mojada, se encuentra inmersa, el número de átomos que deben cristalizar alrededor de esta última para proveer un radio de curvatura r^* es mucho menor, figura 2.2.

Este tipo de nucleación, es de vital importancia para los materiales de uso en ingeniería, pues en casi todos ellos se presenta este tipo de nucleación durante la solidificación. La razón de su importancia es que entre mayor sea la superficie de límites de grano que exista en el metal, mayor será el bloqueo a los deslizamientos, lo que produce un *Endurecimiento* por fronteras de grano.

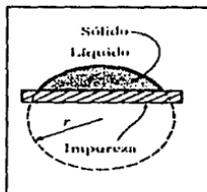


Figura 2.2: Sólido que se forma sobre una impureza (1).

II.1.5. Crecimiento

En el crecimiento de los cristales, debe haber una continua transferencia de átomos de un líquido desordenado a un cristal ordenado, con una mayor tendencia a unirse al cristal en crecimiento que a apartarse de él.

La energía de un átomo tiende a decrecer con el número de vecinos cercanos que tiene. Una superficie con una estructura ordenada y plana como la de la figura 2.3, minimiza la energía de la superficie debido a que los átomos ahí, tienen una mayor cantidad de vecinos cercanos.

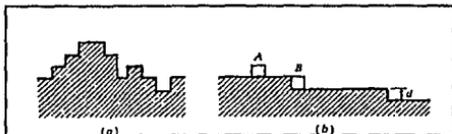


Figura 2.3: a) Representación esquemática de superficie desordenada; b) Superficie ordenada (1).

En los metales puros, el crecimiento depende de la forma en la que se extrae el calor del sistema líquido-sólido. Como ya se habló anteriormente, se deben liberar dos tipos de calor: Específico y Latente de Fusión. Particularmente, el mecanismo de crecimiento y la estructura final del material depende de la manera en la que se libera el calor latente de fusión.

Existen 2 formas de crecimiento:

a) **PLANAR**: Se produce cuando una pequeña protuberancia, que empieza a crecer en la interfase es rodeada por el metal líquido que está a una temperatura superior a la de solidificación. Este mecanismo, detiene el crecimiento de la protuberancia hasta que el resto de la superficie la alcanza.

b) **DENDRITICO**: Cuando la nucleación no es grande, el líquido puede subenfriarse por debajo de la temperatura de solidificación. En estas condiciones, pequeñas protuberancias llamadas *Dendritas*, se forman en la interfase y comienzan a crecer. En los metales puros, este crecimiento representa sólo una pequeña fracción del crecimiento total. De manera simplificada, el espacio interdendrítico se puede conocer a través de la siguiente ecuación:

$$EBDS = k t_s^n \quad (1)$$

EBDS- Espaciamento de los Brazos Dendríticos Secundarios.

n y k- constantes que dependen de la composición del material.

t_s - tiempo de solidificación

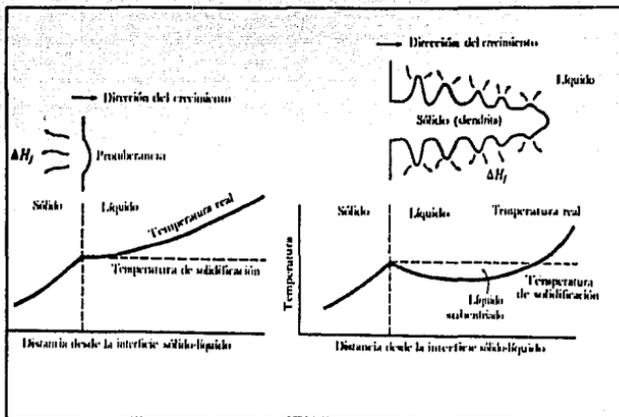


Figura 2.4: Crecimiento dendr6tico (1).

En general, un tiempo de solidificaci6n corto produce un tama1o de grano m1s fino. Tambi6n el tama1o dendr6tico se ve afectado. As6 mismo mientras el espaciamiento de los brazos dendr6ticos secundarios es menor, se observan resistencias mayores y una ductilidad mejor. Esto tiene ventajas desde el punto de vista industrial ya que es m1s f1cil conformar el material.

Hasta ahora se ha hablado sobre la solidificaci6n que ocurre a velocidades de enfriamiento bajas, menores a 10^4 K/s, sin embargo las velocidades de enfriamiento pueden ser superiores, teniendo as6 una solidificaci6n r1pida.

II.2.SOLIDIFICACION RAPIDA

II.2.1. Vidrios Met1licos

Cuando se lleva la velocidad de enfriamiento de ciertas aleaciones met1licas en estado l6quido a valores muy elevados, puede *no* llegar a presentarse la nucleaci6n del s6lido cristalino; en su lugar se forma un s6lido amorfo o vidrio met1lico. En una inspecci6n superficial, podr6a no llegar a diferenciarse un vidrio met1lico de un metal cristalino. Estos primeros, se caracterizan por tener uni6n met1lica entre sus 1tomos y la ausencia de una periodicidad cristalina tridimensional a largo alcance. Carecen de fronteras de grano, dislocaciones y caracter6sticas de segregaci6n, t6picas de los materiales cristalinos.

Cabe aclarar que un s6lido amorfo, no siempre se obtiene a partir de una solidificaci6n r1pida, por ejemplo, puede obtenerse tambi6n por sublimaci6n o "chisporroteo". Sin embargo, las diferencias que se encuentran en los patrones de difracci6n del mismo material para uno u otro caso, son muy peque1as.

Estos metales pueden presentar características físicas interesantes, como lo son una alta resistencia mecánica y ductilidad; y en algunas aleaciones un comportamiento magnético de características particulares.

Características Térmicas

El comportamiento térmico de los metales amorfos se puede dividir en dos categorías: aquella asociada únicamente con la estructura amorfa y la relacionada con efectos de recristalización. Dentro del comportamiento intrínseco de un material amorfo está el calor específico. El incremento repentino en el calor específico del vidrio, ΔC_p , es una manifestación térmica que se conoce como *transición vítrea*.

Algunas de las desventajas de los vidrios metálicos son las fases tan frágiles que presentan a temperaturas relativamente bajas (350 a 500 °C). Este fenómeno los hace poco confiables para aplicaciones donde se requieren temperaturas dentro de este rango. Además, debido a las altas velocidades de extracción de calor durante el proceso, normalmente estos materiales son fabricados en forma de hojas delgadas, cables, listones, etc., lo que limita la fabricación de productos voluminosos. Finalmente, cabe mencionar que muchas de las aleaciones amorfas son inestables, y evolucionan hacia el estado cristalino en tiempos que pueden no ser suficientemente largos como para ser utilizados en aplicaciones tecnológicas.

II.2.2. Tiempo de Solidificación

Para obtener metales amorfos se requieren velocidades de enfriamiento del orden de 10^5 K/s o superiores. Para ello, se necesita que el proceso de enfriamiento provea un coeficiente de transferencia de calor suficientemente grande entre la interfase del metal líquido y el medio de enfriamiento, y una sección transversal del metal suficientemente delgada de manera que el calor pueda extraerse de éste en un tiempo corto.

Hasta ahora, han existido diversos intentos tanto teóricos como experimentales de evaluar las velocidades de enfriamiento que se presentan en varios procesos (2); de cualquier forma, los períodos tan cortos, pequeñas dimensiones y posibles inestabilidades inherentes a los procesos de enfriamiento hacen que no se puedan obtener valores confiables de esta velocidad.

Para el caso de enfriamiento que se da al colocar capas delgadas de metal fundido sobre un sustrato sólido, se han hecho algunas estimaciones con las temperaturas iniciales, las propiedades térmicas del sustrato y de la mezcla y el espesor de la capa del metal fundido. Sin embargo este cálculo se vuelve mucho más complejo si se considera la interfase entre la fundición y el sustrato. Esta interfase puede inhibir el flujo de calor debido a la presencia de óxidos e imperfecciones. En principio, estos efectos pueden ser aproximados si se introduce un coeficiente de transferencia de calor, h , para la interfase. Sin embargo, el problema es que para procesos de enfriamiento rápido, sólo se puede determinar el coeficiente de transferencia de calor a partir de observaciones experimentales, pero esta es precisamente la variable que se desea encontrar. De manera alternativa lo que se hace es estimar la velocidad de enfriamiento midiendo el espacio interdendrítico (2). Sin embargo, aunque no proporcionen un valor exacto, estas mediciones permiten comparar las diferentes técnicas de enfriamiento y diferentes parámetros del proceso.

II.2.3. Solidificación Ultrarrápida

En muchas ocasiones, también se pueden llegar a obtener velocidades de enfriamiento *Ultrarrápida*. Los procesos de solidificación ultrarrápida son aquellos cuya velocidad de enfriamiento es igual o superior a 10^6 K.

El efecto principal que tiene este enfriamiento rápido, es el de suprimir el movimiento o difusión de los átomos en el material que está siendo enfriado. En muchos casos esto provoca que dichos materiales lleguen a un estado de equilibrio de menor energía que el que normalmente ocuparían si se enfriaran de manera común. Las aleaciones solidificadas rápidamente generalmente poseen gran homogeneidad y fases metaestables.

II.2.4. Extracción de Calor de los Polvos Producidos

Las técnicas comerciales actuales que se utilizan para procesos de solidificación rápida o ultrarrápida son principalmente dominadas por mecanismos de conducción y convección. En ambos, la velocidad de solidificación, que es función de la velocidad de enfriamiento, dependen primordialmente del coeficiente de transferencia de calor del metal líquido. Típicamente la velocidad de enfriamiento por el mecanismo de conducción va de 10^6 a 10^8 K/s, mientras que por el de convección va desde 10^4 a 10^6 K/s.

En la atomización por centrifugado, y particularmente en el diseño del equipo que se muestra en el tercer capítulo, se obtienen velocidades de enfriamiento que van desde 10^4 a 10^6 K/s. Un cálculo aproximado de esta estimación se presenta en la sección III.7.

Resulta importante conocer el mecanismo por medio del cual se realiza la extracción de calor de las partículas que se producen. Todo esto, con el fin de poder controlar las condiciones de la atmósfera de trabajo que se requiere. En la producción de metales con velocidades de enfriamiento rápidas, pero con geometrías distintas a los polvos como lo son filamentos o cintas, suele ser la conducción el mecanismo de transporte de calor preponderante. Este se lleva a cabo del metal fundido hacia un sustrato sólido frío que bien puede ser un disco de cobre con eje de giro perpendicular al chorro del metal que se deposita sobre su periferia, o bien simplemente un recipiente con algún fluido refrigerante donde se recibe al metal líquido.

En la atomización por centrifugado, no se cuenta con un sustrato sólido frío ya que el disco donde se deposita el metal debe ser calentado prácticamente a la temperatura que tiene el metal dentro del crisol. Aquí el medio refrigerante es el gas circundante, por lo que el mecanismo de transferencia de calor predominante es el de convección forzada. Desde luego, la capacidad de absorción de calor se ve notablemente disminuida respecto al sustrato sólido. Sin embargo, gracias a la elevada velocidad con la que son proyectadas fuera del disco las pequeñas partículas, el flujo convectivo es tal que la solidificación se alcanza a presentar y más aún, se logra un subenfriamiento.

El mecanismo de transferencia de calor que domina en los procesos de atomización más frecuentemente usados, tal como la atomización centrífuga, es el de convección. La velocidad de enfriamiento promedio es directamente proporcional al coeficiente de transferencia de calor

e inversamente proporcional al tamaño de la partícula; con lo que una convección forzada se puede utilizar para aumentar la velocidad de enfriamiento. Esta también se puede aumentar disminuyendo el tamaño de las partículas.

II.3. CONSOLIDACION DE POLVOS

II.3.1. Introducción

El siguiente paso a seguir después de la obtención de los polvos es la "consolidación" de los mismos. Esta etapa es vital en el control de la microestructura del material y puede explicarse en dos grandes grupos:

- 1) Una primera fase donde los polvos son generalmente compactados por presión a partir de un estado de partículas granulares libres. Después de este proceso, al material se le denomina estructura "en verde"; propia de un metal no *sinterizado* que posee algunas de las características de un sólido rígido, sin serlo totalmente.
- 2) Una segunda etapa que se produce a través del proceso de sinterizado, que consiste en dar una estructura más coherente al metal "en verde" para tomar su forma y propiedades definitivas. Usualmente, esto se lleva a cabo mediante la aplicación de temperatura por debajo de la de fusión del metal, o del metal de mayor proporción en el caso de aleaciones y, en ocasiones presiones mayores a las del compactado.

II.3.2. Fundamentos Mecánicos de la Consolidación

La principal característica que se busca obtener mediante el compactado es el incremento en la densidad del material y por consiguiente la disminución de la porosidad, independientemente de la geometría que se tenga. Esta densidad a su vez, es función de diversos parámetros propios de los polvos, como lo son su forma, tamaño y número de coordinación. Por ejemplo, se sabe que la densidad que se obtiene en el compactado de polvos con formas casi esféricas y regulares es menor que si estas partículas fueran arregladas en estructuras cúbicas a cara centrada o hexagonales. El porcentaje de densidad que se puede lograr, referido a la densidad de un volumen del mismo material obtenido por fundición y vaciado tradicional, es típicamente del 65%, y la media del número de coordinación está por debajo del número teórico 12. Para incrementar aún más la densidad del material se utilizan medios mecánicos como la vibración, lo que produce no sólo un aumento en la densidad sino también un incremento en el número de coordinación medio. También la adición de partículas más pequeñas que ocupen el lugar de los intersticios es una manera de aumentar la densidad.

Resistencia del Compactado "en Verde"

La resistencia del compactado "en verde", se refiere a la resistencia mecánica que posee un compactado en frío. Una resistencia adecuada del compactado "en verde" permite que esta pieza pueda ser presionada, empujada del molde y transferida al horno de sinterizado sin que se rompa o desmorone.

Es común la adición de Grafito y otros lubricantes para facilitar el desmoldado, sin embargo, éstos reducen la resistencia del compactado en verde.

II.3.3. Fundamentos Físicos de la Consolidación

Introducción

Normalmente, el proceso de compactado de los polvos metálicos consiste en un compactado inicial y un posterior sinterizado. Sin embargo, algunos polvos metálicos son sinterizados sin un previo compactado, lo que se llama "Sinterizado de polvo perdido".

Durante el sinterizado, las pequeñas partículas metálicas se agrupan en un cuerpo compacto al cual se le eleva la temperatura, en presencia de una atmósfera controlada. La temperatura de sinterizado se encuentra siempre por debajo de la temperatura de fusión del metal puro o bien, del componente de mayor proporción en el caso de una aleación.

La metalurgia de polvos también permite producir aleaciones de manera controlada en la etapa del sinterizado; añadiendo dos o más componentes en las proporciones adecuadas. Estos componentes a su vez pueden ser metales puros, con los que se producen "povos elementales" o bien, aleaciones que contienen dos o más elementos "aleaciones maestras". La homogeneización es otra característica que se produce mediante el sinterizado y ocurre a partir de una interdifusión de los elementos químicos de los componentes, de diferente composición. Esto es típicamente lo que se conoce como "difusión en estado sólido".

Una forma común de efectuar un sinterizado es mediante "presurización en caliente", como se le conoce. Esta se lleva a cabo en un molde refractario que se introduce a un horno; en él, tanto el polvo como el molde son calentados mientras se les aplica presión externa mediante un equipo auxiliar. En este tipo de sinterizado es usual utilizar moldes flexibles de pared delgada, lo que facilita la transmisión de calor hacia los polvos contenidos en el interior del molde refractario.

Cambios Microestructurales y Propiedades Mecánicas

En el análisis de la microestructura de un cuerpo sinterizado, se manifiestan las características de los polvos a partir de los cuales se partió. Dependiendo de la distribución de tamaño de los polvos, las partículas y porosidades que son visibles en la microestructura pueden tener distribuciones de tamaño que varían de muy amplias a sumamente angostas. En general, si las partículas del polvo son policristalinas, se pueden observar fronteras de grano dentro de ellas. En términos generales, la resistencia después del sinterizado es 20 veces mayor a la resistencia del material antes de éste.

Mecanismos de Transporte de Masa en el Sinterizado de Compactos

En varias operaciones de sinterizado, los compactos se llegan a encoger y de hecho, a veces llegan a obtener aproximadamente la densidad del material fundido correspondiente.

Uno de los efectos principales que se presentan durante el sinterizado es el aumento del área de contacto entre las partículas. Esto se produce sin que exista un cambio considerable en la densidad del compacto. Otro cambio importante, que tampoco influye demasiado en el cambio de densidad, es la esferoidización de las estructuras. Desde luego, los cambios en las propiedades mecánicas del material, son consecuencia directa de estos efectos.

Durante el compactado, los polvos son sometidos a grandes esfuerzos, producto de las presiones a los que son sometidos. Estos esfuerzos son liberados posteriormente durante el sinterizado.

Las principales fuerzas de transporte son fuerzas de capilaridad, debidas a las tensiones que existen entre la superficies e interfases. Estas fuerzas también se conocen como energía libre específica de superficie y de interfase. Estas fuerzas son las responsables de los esfuerzos relativos a la curvatura de las superficies e interfases. Los esfuerzos debidos a estas fuerzas de tensión, tienden a disminuir las áreas superficiales e interfaciales y son las principales fuerzas de transporte.

La difusión es el mecanismo más importante de transporte (3). Se basa en el concepto de que una cierta concentración de vacancias existen en la estructura cristalina de un metal. Esta concentración es función de la temperatura y puede alcanzar valores del orden de una vacancia por cada 10 000 posiciones ocupadas a temperaturas cercanas a la de fusión. También estas vacancias son función del gradiente de potencial químico y de los esfuerzos a los que se somete la superficie del metal.

Sin embargo, se han identificado varios mecanismos responsables del transporte de masa, bajo la influencia de un gradiente de potencial químico. En sistemas de una sola fase, este potencial se debe al gradiente de esfuerzos entre las superficies e interfases.

Homogeneización

El proceso de homogeneización se produce a partir de un grupo de partículas, ya sea elementales o aleaciones, que hacen la vez de un soluto y otro grupo de partículas (normalmente partículas elementales y elemento base de la aleación) que hacen la vez de solvente. El sinterizado provoca una difusión en estado sólido, de los átomos del soluto hacia la matriz solvente y una difusión de los átomos del solvente hacia las partículas del soluto.

Nuevamente, las características de los polvos ejercen un efecto significativo en la cinética de la homogeneización (4).

El tamaño de las partículas determina la distancia a la cual debe ocurrir la difusión para lograr una homogeneización. En las aleaciones, donde las partículas del elemento solvente forman una matriz continua alrededor de las partículas del soluto, el tamaño de las partículas dispersas se convierte en el principal parámetro que fija la distancia de la difusión (asumiendo que la proporción de los polvos en la mezcla ha sido establecida previamente por la composición de la aleación deseada).

La composición de las partículas dispersas también influye en la cinética de la homogeneización: por ejemplo, si el solvente se encuentra aleado dentro de las partículas del soluto, se reduce la inhomogeneidad en la mezcla y la distancia de interdifusión se acorta.

II.4. APLICACIONES

II.4.1. Introducción

Históricamente la mayor industria productora y consumidora de los polvos metálicos ha sido la automotriz. Durante muchos años, esta industria proporcionó el amplio campo de aplicación de la PM debido al auge del automóvil.

La pulvimetalurgia moderna debe en gran medida su existencia a aquellos ingenieros que implementaron en un principio los cojinetes autolubricados y posteriormente partes estructurales. Estos cojinetes y ciertos elementos estructurales pueden fabricarse únicamente mediante procesos de PM. El uso de técnicas de PM en la industria automotriz, dio lugar a la aplicación de estos procesos en otros sectores de la manufactura. La transición de la forma tradicional de trabajar los metales junto con la tendencia del diseño a fabricar productos con tiempo de vida limitada ha tenido un gran impacto en toda la industria. No obstante que algunas piezas son diseñadas para ser desechables y otras son hechas para perdurar, el factor común es la necesidad de producir componentes rápidamente y con precisión lo cual repercute en la rentabilidad al menor costo posible. Esto representa una ventaja para la PM.

Muchas naciones mantienen su interés en la conservación de materiales, especialmente los metales, ya que provienen de una fuente no renovable que gradualmente comienza a elevar su precio y también se dificulta cada vez más su obtención. Los polvos metálicos en ocasiones son generados a partir de la pedacería metálica y además la PM genera un mínimo de desperdicio.

Otro aspecto significativo es la conservación de fuentes energéticas. El calor producido, ya sea con carbón, aceite, gas o electricidad es costoso. La PM es uno de los métodos más eficientes en el aprovechamiento de energía comparado con los métodos convencionales de conformado de metales, debido al fenómeno de aglomeración en estado sólido conocido como sinterizado. El producto final de PM es hecho mediante compactado y sinterizado.

Al final de la década de los 70's, parecía que las aplicaciones de la PM habían alcanzado su límite. Además, se asociaban dudas respecto a la resistencia de una estructura metálica fabricada a partir de polvos. Algunos precursores de la PM estaban poco familiarizados con las metodologías de producción y en ocasiones proponían elementos pulvimetalúrgicos para usos destinados a fallar.

El principal mercado del polvo de Hierro lo constituye la manufactura de partes pulvimetalúrgicas. Este mercado representa cerca del 80% del total. Del balance, el 10% corresponde al mercado de la soldadura. El 2% es asignado para procesos de corte y ensablado, donde el polvo de Hierro es inyectado en la flama de oxiacetileno para elevar la temperatura de la zona de corte. El restante 8% es usado en varias aplicaciones, incluyendo áreas farmacéuticas y alimentarias; surgiendo como una mayor aplicación el uso para polvos de copiadoras.

En la industria manufacturera de elementos pulvimetalúrgicos, los materiales usados principalmente son el Hierro, Acero y Estaño. Este último es usado como adición en la manufactura de cojinetes autolubricados base Bronce; el Níquel es utilizado en elementos de Acero inoxidable.

El Cobre y los polvos base Cobre siguen al Hierro en cuanto a volumen de polvo usado en la PM. Cerca del 45% del total del polvo de Cobre es utilizado en la manufactura de cojinetes autolubricados. Otro

40% es usado para fabricar elementos que requieren un acabado decorativo así como resistencia a la corrosión. El resto se usa como pigmento para pinturas marinas y pinturas metálicas.

No obstante que el Hierro y el Cobre (polvo) son los metales de mayor uso en la PM, no representan el total de las aplicaciones.

La pulvimetalurgia es el único medio factible de conformar ciertos materiales con altos puntos de fusión, tales como Tungsteno (3400 °C), Tantalio (2996 °C) y Molibdeno (2620 °C). También es el único medio factible de conformar y consolidar materiales superduros para herramientas, como los carburos cementados y los óxidos sinterizados.

Las combinaciones de metales y no metales que no son posibles de obtener en forma económica por otros procesos pueden hacerse por la metalurgia de polvos. La investigación en el desarrollo de metales superaleados, el uso de metales de alta pureza en técnicas de consolidación, el desarrollo de métodos de solidificación ultrarrápida así como el moldeo por inyección, son algunas de las áreas en las que la actual pulvimetalurgia se enfoca. Materiales porosos, aparatos de sintonía, imanes permanentes y compuestos Tungsteno-Cobre-Níquel, se desarrollaron entre 1900 y 1920. Durante la 2ª Guerra Mundial, tuvieron lugar amplios progresos en el uso de PM con fines militares.

A continuación se presentan una serie de usos que muestran el potencial de la industria de la pulvimetalurgia.

II.4.2. Aplicaciones Industriales

Inspección Magnética.- La inspección mediante partículas magnéticas es un método no destructivo de detección de fallas y discontinuidades en elementos ferromagnéticos que pueden fallar en servicio. Este método de inspección revela discontinuidades que se localizan en o cerca de la superficie. Este método de inspección es confiable y económico. Las partes inspeccionadas no sufren daño alguno y pueden ser revisadas innumerables veces.

Cuando un material es magnetizado, el campo magnético generado disminuye alrededor de la discontinuidad o falla, mediante el uso de finas partículas ferromagnéticas aplicadas sobre la superficie del elemento sujeto a prueba, es posible detectar el borde de la discontinuidad y localización de la falla.

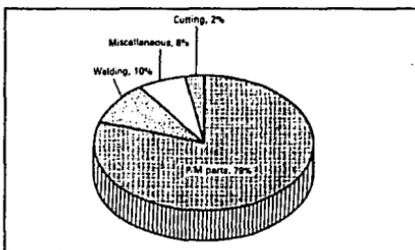


Figura 2.5: Mercado del polvo de Hierro (5)

Polvos para Copiadoras.- Los polvos para copiadoras son polvos metálicos que desempeñan un importante papel en el copiado y aplicaciones relacionadas con la reprografía, tales como duplicación ultrarrápida e impresoras.

Estos polvos se combinan con un polvo termoplástico fino, negro o de color llamado "tonificador" para formar la mezcla reveladora de imagen. Por su propiedad electrostática, estos polvos metálicos se emplean para transportar el tonificador del recipiente a la superficie fotoreceptora, así como para polarizar este polvo tonificador.

Industria Automotriz.- Las aplicaciones en el área automotriz de productos pulvimetalúrgicos, como se ha mencionado, comenzaron con el desarrollo de cojinetes autolubricados, desde entonces, esta industria ha sido la principal consumidora de polvos de Hierro. La cantidad de partes, fabricadas mediante PM, que intervienen en un motor depende del productor, el uso de estos elementos o partes tiene su mayor aplicación en la transmisión y motor del auto; en elementos como engranes, válvulas, contactos, poleas, etc.

Electrodos para Soldadura.-En la soldadura por resistencia, las piezas de metal son soldadas por el calor producido por la resistencia al paso de corriente eléctrica. Un bajo voltaje y alta corriente atraviesan este par de electrodos. Cuando la corriente cesa, la fuerza aplicada se mantiene mientras las piezas soldadas se enfrían rápidamente.

Durante éste proceso, el electrodo es sometido a esfuerzos de compresión, altas temperaturas y deformación. Electrodos fabricados mediante pulvimetalurgia se han desarrollado para soportar estas condiciones de trabajo.

Filamentos de Tungsteno.- El alambre de Tungsteno posee propiedades únicas que han sido críticas para el origen y desarrollo de la industria dedicada a la iluminación y a la electrónica. Estas propiedades son desarrolladas y controladas añadiendo pequeñas cantidades de elementos tales como Potasio y Torio.

La PM es el único método mediante el cual pueden fabricarse estas aleaciones, ya que con otras técnicas se varía la composición de la aleación.

Contactos Eléctricos.- Los contactos son fabricados con metales elementales, compuestos o aleaciones mediante fundición o técnicas de PM. El metal ideal o combinación que pueda funcionar como el contacto perfecto bajo cualquier circunstancia no existe. Una evaluación completa y comprensión de las condiciones de trabajo de un contacto eléctrico, así como consideraciones económicas, son necesarias en la selección del material más adecuado.

Históricamente, el material de contacto preferente ha sido la Plata, aleaciones de ésta y combinaciones de polvos sinterizados.

Escobillas para Motores.- Las escobillas para motores son los elementos que transfieren la corriente eléctrica entre la parte estática y la dinámica de un motor. Originalmente estas escobillas fueron hechas de un sinnúmero de cables de Cobre (como una brocha), hasta que finalmente aparecieron las escobillas de carbón.

La evolución y desarrollo de los motores también ha diversificado el uso de materiales de dichas escobillas dando lugar a la intervención de técnicas de PM al mezclar polvo metálico con Grafito para la fabricación de estos elementos.

Imanes.- La PM interviene en la producción de materiales magnéticos de diverso uso y para imanes permanentes. En ciertos casos, la PM es usada debido a que con esta técnica es posible obtener piezas que requieren de un mínimo de maquinado posterior, además de las propiedades magnéticas obtenidas.

Un tipo de imanes permanentes, los llamados imanes Alnico, son producidos por fundición aunque también son fabricados con polvos. Otro tipo de imanes permanentes son los de Cobalto-tierras raras, para los que es necesaria la obtención de polvos.

Elementos Porosos.- Los elementos porosos pueden ser agrupados en las siguientes categorías: filtros, humedecedores y controladores de flama, elementos de medición, almacenadores de líquidos y elementos de baterías.

Polvo metálico sinterizado es el material comúnmente usado para conseguir las características de diseño y funcionalidad de estos elementos porosos (alta resistencia, resistencia al calor y corrosión, durabilidad, porosidad controlada y permeabilidad).

El material del polvo es seleccionado dependiendo de la aplicación; los más comúnmente usados son: Bronce, Acero, Níquel, Titanio y Aluminio.

Materiales para Fricción .- Son los componentes de un mecanismo que convierte la energía mecánica en calor mediante rozamiento. El calor es absorbido y disipado por este material. El coeficiente de rozamiento del material determina su uso, ya que las condiciones de operación establecen el coeficiente requerido.

Los materiales metálicos para fricción son producidos mediante el compactado y sinterizado de mezclas de polvos metálicos y cerámicos.

Cojinetes o Baleros Autolubricados.- Constituyen la aplicación industrial más antigua de algún elemento pulvimetalúrgico, y continúa siendo el de mayor producción en esta industria.

La mayor ventaja de estos cojinetes porosos es que esta porosidad actúa como almacén del lubricante. Los poros son llenados con el lubricante el cual representa el 25% del volumen del material.

Aceros.- Los aceros inoxidables fabricados mediante pulvimetalurgia representan una importante y creciente área de esta industria.

Todos los polvos inoxidables para compactado de tipo comercial se producen por atomización. Dependiendo del uso y del proceso de conformado se utiliza la atomización por gas o agua.

Los aceros de alta velocidad son usados extensamente para herramientas de corte y conformado debido a sus buenas propiedades mecánicas, a su abrasión y resistencia. Sin embargo, los aceros forjados presentan una tendencia a la segregación durante su solidificación en un molde, lo cual genera una microestructura no uniforme con variaciones en la composición química. Esta tendencia limita la tenacidad y resistencia del material. Los procesos de PM están

siendo utilizados para solventar estos problemas. Las ventajas de los aceros para herramienta fabricados con PM incluyen mayor resistencia y dureza. El fenómeno de segregación es minimizado con el uso de estos procesos.

Carburos Cementados.- Son una clase de material de dureza extrema fabricados con técnicas de pulvimetalurgia.

Los primeros carburos cementados fueron desarrollados como respuesta a la demanda de un material con el cual fabricar dados para estirado y utilizarlos para deformar alambres de Tungsteno. Actualmente, los carburos cementados son usados en el corte y conformado de metal, corte de rocas, elementos estructurales y abrasivos.

Metales de Baja Densidad.- Estos materiales están incrementando su uso en la industria de la PM gracias a sus propiedades físicas y mecánicas únicas. De los metales de bajo peso usados en Pulvimetalurgia (Aluminio, Titanio, y Berilio), los elementos pulvimetalúrgicos fabricados en Aluminio son los de mayor uso. Debido a su relación resistencia-peso, resistencia a la corrosión, y sus propiedades de acabado, las piezas fabricadas en Aluminio son usadas en el automóvil, artefactos aeroespaciales y para aplicaciones específicas.

Además de presentar alta resistencia y bajo peso, el Titanio es esencialmente inerte bajo un gran número de ambientes corrosivos y exhibe excelentes capacidades a altas temperaturas. Elementos de Titanio fabricados mediante PM se desarrollan para aplicaciones aeroespaciales, químicas y estructurales.

II.4.3. Aplicaciones Médicas

El uso de polvos metálicos en la Medicina y Odontología empezó a finales del siglo pasado con el descubrimiento de diversas amalgamas de Plata-Estaño. Las características de los polvos, composición, forma y tamaño, determinan las propiedades de estas amalgamas.

Se usan técnicas de PM para realizar implantes ortopédicos. Piezas de alta densidad son fabricadas para implantes con polvos superaleados para obtener materiales con excelentes propiedades mecánicas.

También se utilizan técnicas de sinterizado para depositar partículas sobre la superficie de otros implantes para generar un área porosa donde el hueso pueda crecer y unirse al implante.

II.4.4. Aplicaciones Varias

Los polvos metálicos se usan como combustibles en propelentes sólidos, elementos pirotécnicos, explosivos y otras aplicaciones en donde son deseables las propiedades de alta densidad, alta temperatura de flama y gran liberación de energía por unidad de masa. El polvo metálico de mayor uso, polvo de aluminio, es aplicado en propelentes, pirotecnia y explosivos. Otros metales usados, particularmente en la pirotecnia son Magnesio, Zirconio, Titanio, Tungsteno y Berilio.

También, el uso de materiales pulvimetalúrgicos de alta resistencia ha experimentado un rápido desarrollo en los últimos 40 años. La tecnología de PM produce elementos aleados con propiedades mecánicas mejores y que pueden fabricarse a un menor costo con formas y

contornos cercanos al definitivo. El uso de procesos de fabricación que generan piezas de forma cercanas a la definitiva ha reducido el costo por materia prima y la cantidad de operaciones secundarias de maquinado. Así también, la PM permite un mayor control de la microestructura y de la composición de las aleaciones.

El uso de superaleaciones hechas de polvo de Aluminio, Titanio y otros materiales para funcionar como elementos estructurales, superficiales y para el motor, están siendo estudiados.

El endurecimiento de una superficie es otra de las aplicaciones que tiene la PM y que consiste en la aplicación de un material duro y con resistencia al desgaste sobre la superficie de algún componente ya sea mediante soldadura, rociado o un proceso similar. El endurecimiento de superficies se realiza en componentes originales o en reparaciones. El polvo metálico se utiliza como material protector, ver figura 2.6.

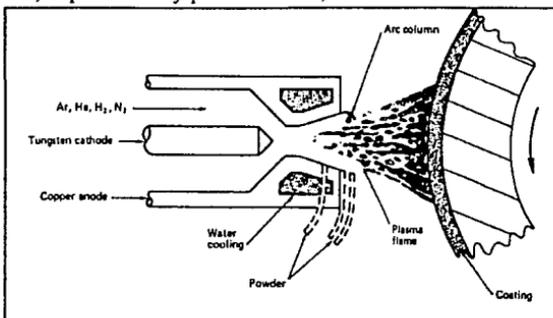


Figura 2.6: Endurecimiento de superficies a partir de polvos (5)

Se añade polvo metálico a los polímeros para cambiar su apariencia y/o sus propiedades físicas. El incremento en la demanda, por parte de la industria automotriz y áreas relacionadas, de materiales o elementos de menor peso que el metal, ha permitido el desarrollo de compuestos base polímero. Un gran número de estos compuestos contienen polvo metálico que da la apariencia metálica de los componentes que reemplazan.

En otras aplicaciones donde las propiedades físicas son modificadas para un uso específico, se usan los polvos metálicos para modificar la naturaleza del polímero e incrementar la densidad de electrones. Las propiedades físicas que se afectan son:

- La conductividad térmica
- La conductividad eléctrica
- De naturaleza electromagnética y
- Electrostática (Superficies Antiestáticas)

A pesar de su importancia, la investigación sobre estos compuestos polímero-metal ha sido reducida.

Materiales con Memoria de Forma

Esta es posiblemente una de las aplicaciones menos conocidas dentro del campo de la PM, pues su mayor interés se encuentra todavía a nivel laboratorio.

El efecto Memoria de Forma se refiere a la capacidad que tienen ciertas aleaciones metálicas y algunos compuestos cerámicos, de recuperar una forma determinada, cuando son calentados por encima de una temperatura específica, después de haber sido deformados a temperaturas inferiores a dicha temperatura.

Como se explicará en el capítulo III, el uso de la pulvimetalurgia en la fabricación de aleaciones, permite el control en su composición (y por ende de la temperatura a la cual el fenómeno se manifiesta), y del tamaño de grano. Esto último con un incremento en la facilidad para conformar al material.

II.5. REFERENCIAS

1. ASKELAND Donald R., *La ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Cap. ocho: Solidificación y Aleación, Grupo Editorial Iberoamérica, 1a. Ed., México, 1987.
2. H. JONES, *Rep. Prog. Phys.*, **36**, 1973, p. 1425
3. GERMAN, R.M. and MUNIR, Z.A., *Activated Sintering of Refractory Metals by Transition Metal Additions*, *Prog. Powder Metal Int.*, **10**, 1978, p 119-123.
4. H. JONES, HECKEL, R.W. and Balasubramaniam, M., *The Effects of Heat Treatment and Deformation on the Homogenization of Compacts of Blended Powders*, *Met. Trans.*, **2**, 1971, p. 379-391.
5. ASM Encyclopedía, *Powder Metallurgy*, **7**, Ed. American Society for Metals, ninth edition, U.S.A., 1984.

CAPITULO III: DISEÑO DEL PULVERIZADOR CENTRIFUGO DE METALES

III.1.INTRODUCCION

En la actualidad se concede mayor atención a las matemáticas, física, química y ciencias de ingeniería que a la fase práctica o "arte de ingeniería". Sin embargo, en años recientes se ha llegado a la conclusión de que el diseño es la parte medular de la ingeniería y que prevalece la necesidad de efectuar mayores esfuerzos para incrementar los conocimientos del ingeniero acerca de los procesos de diseño, así como de darle la oportunidad de adquirir experiencia en tales actividades.

" El diseño establece y define soluciones a problemas no resueltos antes, o nuevas soluciones a problemas que han sido resueltos con anterioridad de manera distinta " (1).

III.2.PROCESO DE DISEÑO

El presente trabajo de diseño se presenta de acuerdo a la secuencia general del proceso de diseño, especificando primero, el problema o necesidad de la cual se parte, hasta llegar a los planos dimensionales, construcción y uso del equipo. Sin embargo, cabe mencionar que en ocasiones no se siguió estrictamente el proceso de diseño para el desarrollo de algunos elementos del equipo. Esto se debió a que en un principio, cuando se empezó formalmente el proyecto, ya se contaba con algunas ideas y principios de funcionamiento. Por otro lado, la secuencia lógica que se siguió para el diseño de este sistema fue en parte, un desarrollo de ingeniería de reversa; esto es, se estudiaron los sistemas existentes similares al propuesto (atomización por centrifugado), mismos que hubieron de ser localizados en bibliografías diversas, pues hasta donde se sabe, no existe un equipo de características similares en nuestro país.

Desde otro punto de vista, este estudio de ingeniería de reversa puede ser considerado como una etapa más del proceso de diseño, como puede ser la búsqueda de información y recopilación bibliográfica.

III.3.ORIGEN DEL PROYECTO

El origen del presente proyecto surge a partir de otro que actualmente se desarrolla en el Instituto de Investigaciones en Materiales (UNAM), el cual consiste en la elaboración e investigación de metales y aleaciones denominados "aleaciones con memoria de forma", aplicación que a continuación se describe con mayor detalle.

III. 3. 1. Interés de la Pulvimetalurgia en la Obtención de Aleaciones con Memoria de Forma.

Aunque el Efecto de Memoria de Forma se conoce en aleaciones metálicas desde la década de los 50's, las aplicaciones de este fenómeno en sistemas de tecnología avanzada data solamente de aproximadamente diez años. Las aleaciones más comúnmente usadas son las de base Cobre (Cu Al Ni y Cu Zn Al) y las aleaciones base Ti Ni. Recientemente otras aleaciones están siendo desarrolladas, que presentan perspectivas interesantes; tales como la aleación Cu Al Be que permite extender el intervalo de temperaturas de aplicación y los aceros, que implican un costo considerablemente menor. Un parámetro de gran importancia para el uso de todas estas aleaciones es la temperatura a la cual el Efecto Memoria de Forma empieza a manifestarse; esta temperatura, conocida como M_s , corresponde al inicio de una temperatura de transformación de fase conocida como transformación martensítica. La temperatura M_s depende en particular de la composición de la aleación, y esta dependencia puede ir desde importante a muy importante, dependiendo de la aleación y del elemento constituyente de la aleación que se considere. Ejemplo de tal dependencia de la temperatura M_s con la composición, para la aleación (Cu Zn Al) se muestra en la figura 3. 1.

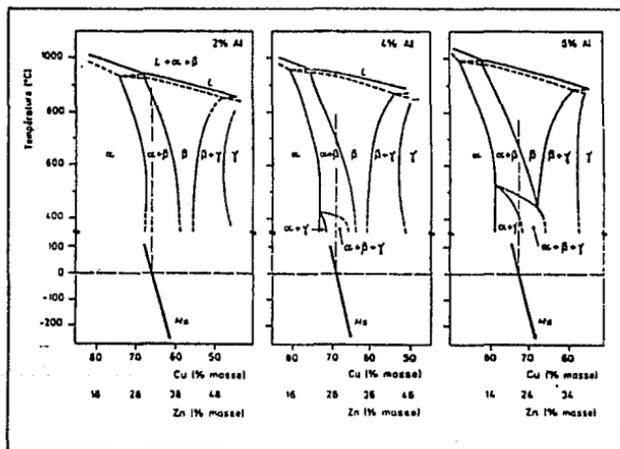


Figura 3.1: Diagrama ternario (Cu Zn Al) para diferentes composiciones en Al (% masa).

— Curvas donde los valores de M_s corresponden a la fase β metaestable (2).

Actualmente, la industria mexicana elaboradora de aleaciones tipo bronce y latones, al que corresponden las aleaciones con memoria de forma base Cobre mencionadas, es capaz (en el mejor de los casos) de controlar la composición a $\pm 1\%$ en peso. Tal incertidumbre en la composición representa cambios en la temperatura Ms que pueden ser muy considerables. Del orden de 200°C en el caso del Zn en la aleación Cu Zn Al, del orden de 500°C en el caso del Be en la aleación Cu Al Be y del orden de 100° en el caso del Ni en ciertas aleaciones Ti Ni. Resulta entonces evidente, que estas variaciones no son admisibles en el uso de las aleaciones con memoria de forma en aplicaciones industriales, y nuevos métodos de control de la composición que permitan mejores certidumbres resultan de gran interés. Es importante que en otros países, aunque el control de la composición ha sido logrado, los métodos utilizados resultan muy costosos, ya que implican la compensación in-situ de la composición: proceso que resulta primitivo, poco confiable e infructuoso en muchas ocasiones. Problemas que se ven reflejados obviamente en el costo de las aleaciones.

La pulvimetalurgia aporta a este problema una solución interesante: La fabricación de polvos de dos (o tres) aleaciones del mismo tipo, con composiciones diferentes (por tanto Ms diferentes) y sin necesidad de un control muy estricto de ellas, que son mezclados mecánicamente y sinterizados en estado sólido (las aleaciones se obtienen primero por métodos convencionales de fundición (por tanto baratos) y después se hace polvo de cada una de ellas). Tal mezcla se hace después de medir la temperatura Ms de cada aleación y en proporciones que permitan obtener una aleación resultante con la temperatura Ms deseada. Dado que todo el proceso de mezcla y sinterizado se lleva a cabo en estado sólido, la evaporación eventual de un componente puede ser evitado. Así el control de la composición puede lograrse, con una incertidumbre suficiente como para el uso de las aleaciones en aplicaciones tecnológicas que exigen una temperatura de operación bien definida.

Otro aspecto interesante del uso de la pulvimetalurgia en la fabricación de aleaciones con memoria de forma, es la disminución (intrínseca al proceso) del tamaño de grano. En efecto, polvos de 50µm de diámetro promedio darán lugar al mismo tamaño de grano promedio después del sinterizado. Estos valores son menores al comparar con los tamaños de grano promedio del orden de 500µm obtenidos actualmente en la fabricación de las aleaciones, incluso considerando el efecto de la adición de "afinantes de grano", tales como el Zr, Ti y B.

Tal disminución del tamaño de grano en pulvimetalurgia, implica una mejora en la facilidad de conformado mecánico de las aleaciones, como el estirado o trefilado, la laminación o la extrusión. Esto es así, porque un tamaño de grano reducido disminuye la fragilidad del material, que normalmente se manifiesta por fracturas intergranulares.

En resumen, para que la fabricación de los nombrados "metales con memoria de forma" pueda llevarse a cabo, surge la necesidad de fabricar polvos metálicos de aleaciones.

III.4.DEFINICION DEL PROYECTO

Como se menciona, no se tiene conocimiento de que en nuestro país exista algún fabricante de polvo metálico por el método considerado para esta tesis, y aún si lo hubiera, resulta sumamente importante para proyectos de investigación el poder contar con un equipo que con el que se produzcan los materiales con las características específicas deseadas. Este es uno de los motivos por los que se justifica el diseño y desarrollo de un dispositivo para generar polvo de calidad adecuada.

Además, en la fabricación e investigación de las "aleaciones con memoria de forma", se requieren polvos de diversos metales o aleaciones. Fuera del país, es posible encontrar proveedores de polvo metálico pero sólo de determinados metales.

Con este antecedente, se emprendió la tarea de desarrollar un equipo pulverizador de metal como objetivo del presente trabajo.

La definición del problema a resolver, punto fundamental en el proceso de diseño, es el siguiente:

Diseñar un equipo de tipo experimental con el cual se puedan producir polvos de diversos metales o aleaciones en cantidades reducidas (del orden de 1 Kg). El polvo producido preferentemente deberá tener un tamaño de partícula homogéneo y pequeño, de forma semiesférica y con la mínima oxidación posible; esto es, con la menor contaminación posible.

III.5.DISEÑO CONCEPTUAL

En el diseño y construcción de un equipo prototipo como lo es éste, existen pocas limitaciones en el diseño dimensional, ya que el principal objetivo es el adecuado funcionamiento del equipo y no así la economización del material. A diferencia del diseño a nivel industrial, donde el óptimo aprovechamiento de los materiales y procesos es factor fundamental para un beneficio económico mayor.

En general, solo se mostrará la solución definitiva de cada elemento diseñado, dejando a un lado las alternativas de solución. Esto, con el fin de enfocar la atención en explicar el dispositivo definitivo.

III.5.1.Planeación

Dentro de la planeación del programa de diseño y de trabajo, se siguió una secuencia análoga a la ubicación física de los componentes principales del equipo, es decir, se comenzó por el diseño del sistema motriz del disco rotatorio el cual se encuentra localizado en la parte inferior y exterior del equipo, y se continuó hacia la parte superior hasta llegar al sistema de soporte del crisol.

III.5.2.Descripción General

En un pulverizador centrífugo, la pulverización del metal se produce por la fuerza que se imprime a un metal fundido, por efectos de la velocidad angular a la que gira la superficie sobre la cual se deposita el metal. La atomización se produce cuando el líquido es fragmentado en pequeñas gotas que son arrojadas hacia la periferia del disco rotatorio y solidifican en el trayecto entre el centro del plato y la pared de la cámara que conserva una atmósfera inerte (fig 3.2).

En el proceso de atomizado y solidificación intervienen propiedades del metal como es la tensión superficial, así como las condiciones del sistema; temperatura, tipo de atmósfera, presión, etc.

Como se aprecia, el equipo descrito requiere de diversos subsistemas tales como un sistema motriz que proporciona el giro del disco donde se deposita el metal, un sistema destinado a fundir el metal, un control de presión, temperatura y atmósfera, etc.

En la pulverización por centrifugado, existen diversas variables que intervienen en la obtención del polvo y las características de éste. Algunas de estas variables son:

- Distancia entre el contenedor del metal fundido y el disco.
- La velocidad angular a la que gira el disco.
- La presión dentro de la cámara y el tipo de atmósfera que prevalecerá dentro de ella.
- La diferencia de temperatura entre el metal fundido y del disco rotatorio.

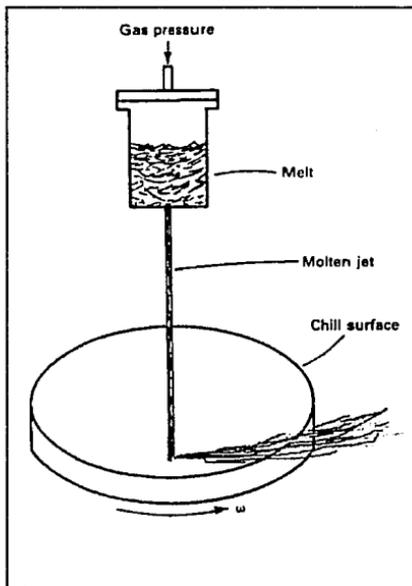


Figura 3.2: Esquema del proceso de atomización (3).

Para poder manipular estas variables así como elaborar los subsistemas del equipo, se implementaron los diferentes dispositivos para cada función.

Para facilidad de diseño y presentación, se decidió dividir el esquema general del equipo en cinco partes principales. Mismas que corresponden básicamente a su ubicación física dentro del equipo (fig 3.3).

Estas partes son:

- 1) Soporte del Sistema Motriz Exterior.
- 2) Sistema de Alineación y Enfriamiento de Eje.
- 3) Soporte del Crisol.
- 4) Sistema para Fundir el Metal.
- 5) Cámara de Trabajo, Sistema de Purga y Admisión, Sistema de Recuperación del polvo.

Una sexta sección la conforma todo el instrumental requerido, que por estar distribuido alrededor de todo el equipo no se ilustra en la figura 3.3.

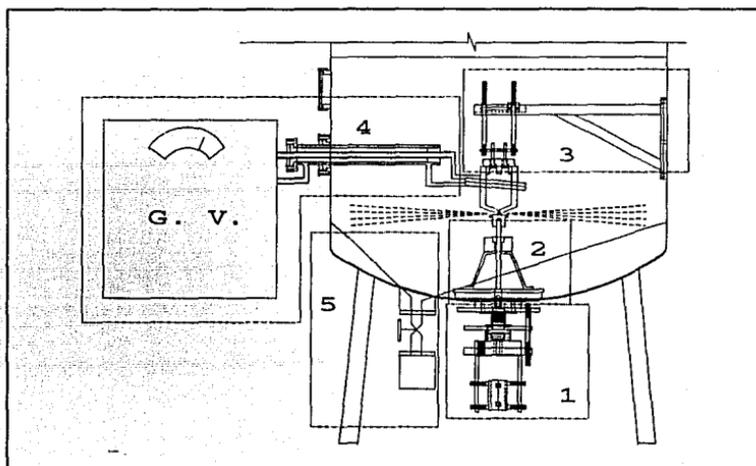


Figura 3.3

A continuación se describen brevemente las funciones principales de cada una de las partes.

Soporte del Sistema Motriz Exterior

Este sistema proporciona tres funciones básicas:

1. Transmisión del movimiento al disco rotatorio.
2. Pequeños desplazamientos verticales del conjunto: turbina, atravesador, flecha, disco. Todo ello sin perder las condiciones internas de la cámara; es decir, manteniendo un sello hermético.
3. Soporte del conjunto (turbina, atravesador, flecha, etc.).

La función principal es la de generar el movimiento del disco rotatorio. Esto se consigue con una turbina neumática sujeta mediante un soporte en el exterior de la cámara de trabajo y conectada con el interior de dicha cámara por medio de un atravesador que permite el giro del eje sin fugas.

También, el soporte de la turbina permite un desplazamiento vertical fino para ajustar la separación que existe entre el disco rotatorio y la boquilla del crisol (fig 3.4).

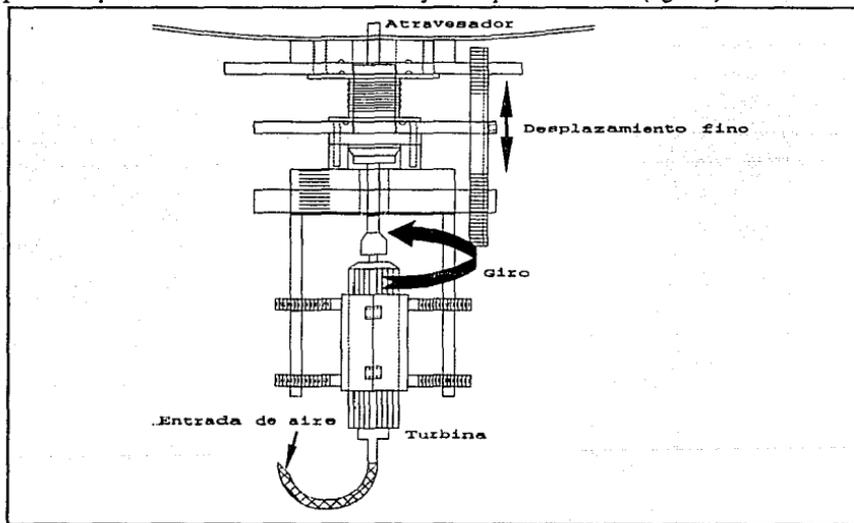


Figura 3.4

Sistema de Alineación y Enfriamiento de Eje

Debido a las altas velocidades a las que gira la flecha que soporta al disco, y a la longitud de ésta, se consideró necesaria la implementación de un soporte que diera rigidez a la flecha y se evitara vibración. A su vez, este soporte constituye un sistema de enfriamiento con el fin de retirar parte del calor que se genera por fricción en el rodamiento de alineación, así como el transmitido por conducción y originado por el depósito del metal fundido en el disco rotatorio.

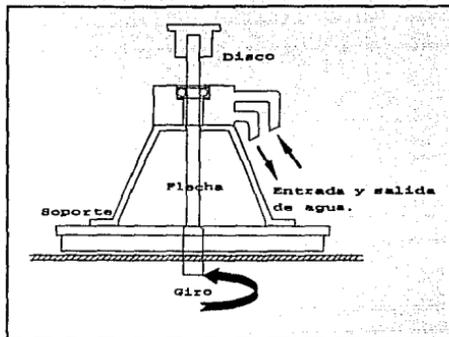


Figura 3.5

Soporte del Crisol

El recipiente donde será fundido el metal posee un soporte que a la vez de sostenerlo rígidamente le permite un movimiento vertical "macro" para regular la distancia entre el crisol y el plato giratorio. Además, un movimiento horizontal permite desplazar la boquilla de salida del metal del centro del plato giratorio a su periferia.

Este soporte, por encontrarse en la parte superior del conjunto, servirá de sostén de futuros elementos de medición y aditamentos.

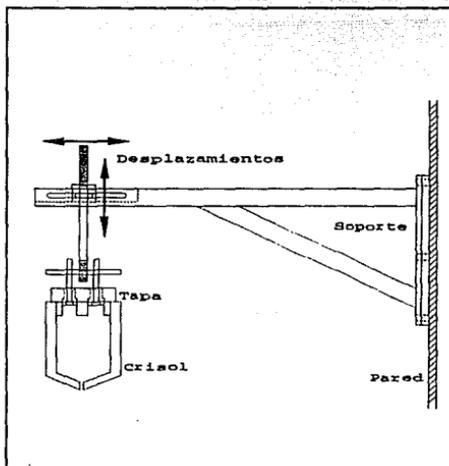


Figura 3.6

Sistema para Fundir Metal

Para fundir el metal se implementó un sistema de inducción magnética. Este es el método de fundición usado con mayor frecuencia en procesos de pulvimetalurgia y que se adapta perfectamente en el diseño del equipo.

Este sistema consta de una serie de espiras que rodean al crisol y que se conectan a un generador de alto voltaje. La conexión entre las espiras (interior de la cámara) y el generador (exterior), se realizó mediante un sistema de tubos concéntricos aislados entre ellos. Esta conexión permitió utilizar menor espacio (figura 3.7).

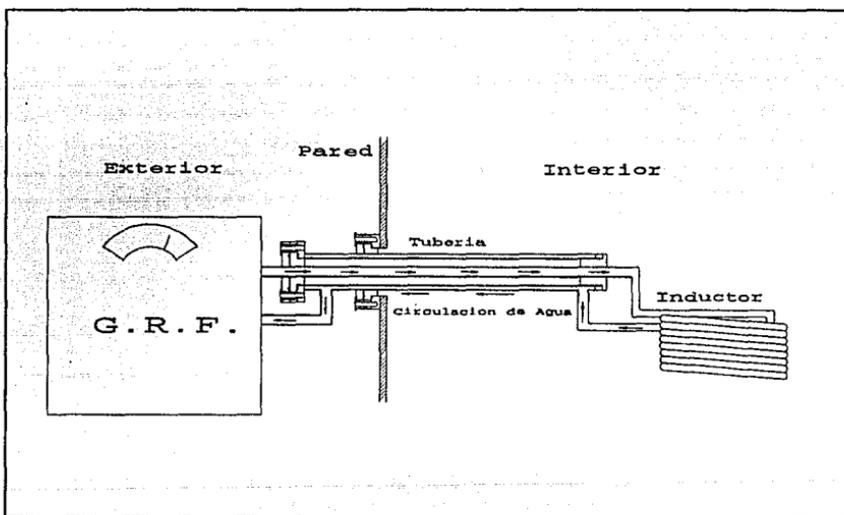


Figura 3.7

Cámara de Trabajo, Sistema de Purga y Admisión, Sistema de Recuperación del polvo.

La cámara de trabajo en la que se llevará a cabo la pulverización es un recipiente de forma cilíndrica con tapas torisféricas y partido en dos. Dentro de esta cámara y alrededor de ella, se colocaron un capturador para el depósito de los polvos y un par de mirillas respectivamente, figura 3.8.

Este proceso como la mayoría de los procesos de atomización, se realiza bajo una atmósfera inerte. De manera que se implementó un sistema de purga mediante una bomba de vacío.

Instrumentación

Todo el equipo requiere de un sistema de medición y control de parámetros críticos como los son la presión, temperatura en diversos puntos, velocidad angular del sistema motriz, distancia entre disco y crisol.

III.6.DISEÑO DE DETALLE

III.6.1. Selección de Materiales

1. Acero Inoxidable

El Acero inoxidable se empleó en la mayor parte de los componentes estructurales del equipo por lo siguiente:

1) La Cámara de trabajo fue construida en acero inoxidable para evitar la posible contaminación de óxidos en los polvos fabricados. Además, debido a que era necesario soldar piezas tales como bridas, mirillas y soportes a dicha cámara, se eligió utilizar el mismo material para evitar posibles fugas o deformaciones al unir materiales con distinto coeficiente de dilatación térmica.

2) Dada la condición de elevada temperatura que imperará en ciertas zonas en el interior de la cámara, se decidió utilizar este material para evitar la formación de óxidos y la degradación prematura del equipo.

3) A pesar de su costo relativamente alto, se decidió que era conveniente utilizar este material en prácticamente todos los elementos donde fuera posible, pues la durabilidad que se desea tener en un equipo como éste justifica el costo del mismo.

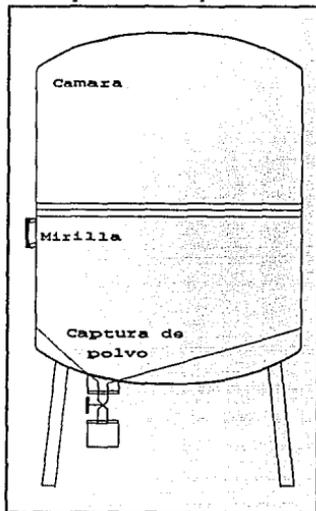


Figura 3.8

2. Cobre

El cobre se usó por sus propiedades de excelente conductividad térmica y eléctrica en las siguientes piezas:

- 1) En la conexión entre el generador de alto voltaje y el embobinado que rodea al crisol. Por esta pieza hay circulación de corriente eléctrica y de manera simultánea enfriamiento con agua.
- 2) El sistema de enfriamiento del balero y flecha. Por esta pieza hay circulación de agua para eliminar, por conducción, el calor generado por fricción en el balero y por el depósito del metal fundido en el disco.

3. Cerámico Maquinable

Este material se usó como aislante, entre las piezas expuestas a altas temperaturas por su baja conductividad térmica. Tal es el caso de la unión entre el disco rotatorio y la flecha, la tapa del crisol y sus soportes y el cople de unión en el vástago obturador.

Además, presenta una excelente maquinabilidad. Especificaciones de este material se ilustran en el apéndice A.

4. Teflón

El teflón es un polímero sumamente estable, y es sin duda químicamente más inerte y estable que cualquier otra resina natural o artificial. Es un excelente aislante eléctrico y de excelente maquinabilidad. Otra de las propiedades importantes que posee este material es su resistencia química a los cambios bruscos de temperatura, tiene un punto de fusión de 330°C. Bastante por encima de la temperatura que se espera tener en los lugares donde ha sido colocado.

La conexión entre el generador de alto voltaje y el embobinado está conformada por tres tubos concéntricos aislados entre sí con este material.

5. Grafito

La elección del grafito se basó principalmente en las propiedades ampliamente conocidas que lo hacen un excelente recipiente para fundiciones metálicas: resistente a la acción de los ácidos, conductor de electricidad y calor, esto último, de enorme importancia para el método de fundición seleccionado. Además se tenía el antecedente del uso de este material en equipos donde el calentamiento del metal se realiza por inducción magnética y de su correcto funcionamiento. La posible contaminación que pudiera presentarse se elimina mediante la aplicación de una capa de nitruro de boro una vez que se ha maquinado el crisol.

Inicialmente se usará grafito para la fabricación de los crisoles; sin embargo, dependiendo de la aleación pueden utilizarse crisoles de otro material refractario, tal como alúmina.

III.6.2. Diseño por Secciones

Soporte del Sistema Motriz Exterior

1. Turbina Pneumática (1-1): Turbina de fabricación sueca marca Atlas Copco. Este dispositivo permite generar la velocidad angular que se imprime al disco rotatorio y mediante una válvula reguladora de presión, conectada entre este dispositivo y un compresor de aire de 7 Kg/cm^2 de capacidad mínima, regular dicha velocidad (especificaciones en Apéndice B).

2. Abrazadera (1-2): Consiste en un cilindro metálico partido por la mitad a lo largo de su eje longitudinal. Su diámetro interior ajusta perfectamente con el diámetro del cuerpo de la turbina. En la parte exterior de cada mitad de esta abrazadera, se tienen soldadas un par de pequeñas espigas, mediante las cuales se fija ésta, en el soporte de desplazamiento.

3. Soporte de Desplazamiento (1-3): Además de tener las ranuras donde ajusta la abrazadera de la turbina, tiene en la parte superior una superficie lateral exterior con un maquinado de cuerda fina (descrita con detalle en la sección III.7), que permite cumplir con la función de desplazamiento al enroscar o desenroscar al soporte con la brida de desplazamiento (1-5). Además, en la cara superior soporta un pequeño buje que asienta en la estructura del atravesador.

4. Cople (1-4): Este aditamento fue construido para poder acoplar el eje del atravesador con el de la turbina. La única particularidad que posee es la de tener el diámetro interior con un ajuste suficiente para admitir la flecha del atravesador y su diámetro exterior con medidas inferiores a las de la conexión de la turbina.

5. Brida de Desplazamiento (1-5): Esta brida funge como tuerca fija y de sostén, para que el soporte de desplazamiento pueda ser enroscado y desenroscado. Se sujeta firmemente a las espigas guía (1-12).

6. Bujes de Soporte (1-6): Este buje consiste en un cilindro sobre el que descansa la base del atravesador. Cumple con la función de asentar en la base del atravesador y transmitir el empuje del soporte de desplazamiento. Además contiene los alojamientos para los tornillos que fijan al fuelle con la brida guía.

7. Brida Guía (1-7): Sobre esta brida se realiza el empuje del soporte de desplazamiento, la sujeción del atravesador y el sello hermético de este último. Además, de ser guía del ascenso o descenso del conjunto.

8. Fuelle (1-8): Pequeño cilindro de lámina corrugada delgada que permite desplazamientos verticales mientras se mantiene el vacío en la cámara. Este cilindro se encuentra soldado a un par de pequeñas bridas, que sujetan por la parte inferior con la brida guía y por la parte superior con la brida de soporte (1-9) de mayores dimensiones. Especificaciones en Apéndice A.

9. Brida de Soporte (1-9): A esta brida se sujetan las espigas que sostienen y guían al conjunto. Además, por ambos lados, se mantiene el sello hermético con las bridas del fuelle y con la brida fija soldada (1-10) respectivamente.

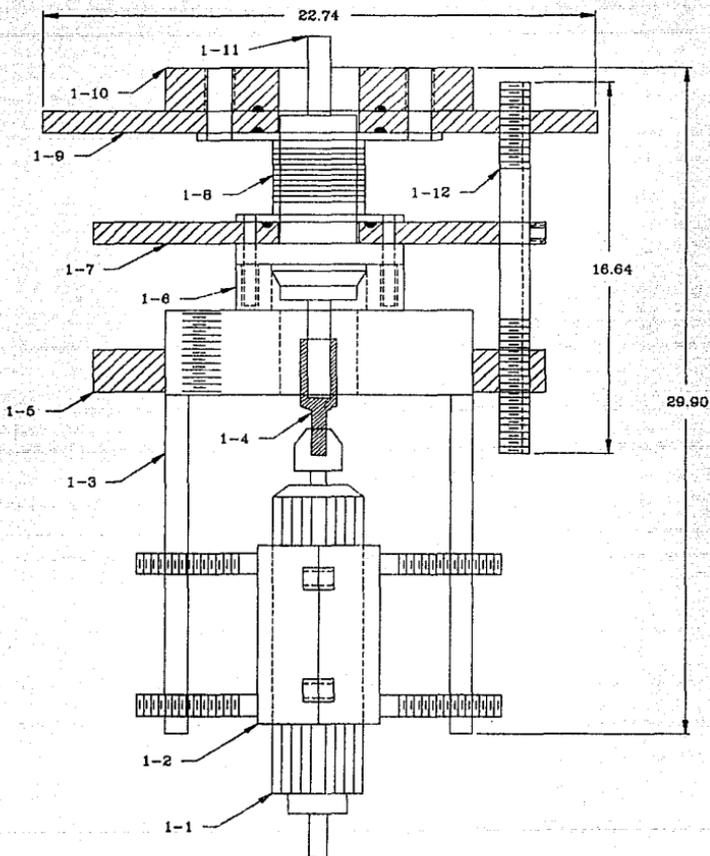
10. Brida Fija Soldada (1-10): Esta brida tiene la función de soportar al sistema y contiene la cavidad para alojamiento del aro sello. Posee un barreno en el centro por el que pasa la parte superior del atravesador .

11. Atravesador (1-11): Este atravesador, de fabricación Americana, permite transmitir el giro que se desea al disco rotatorio, sin perder las condiciones de la atmósfera del contenedor. Este elemento resuelve el problema de la mayoría de los diseños donde se requiere transmitir un movimiento rotatorio a una cámara de vacío. Funciona bajo el siguiente principio:

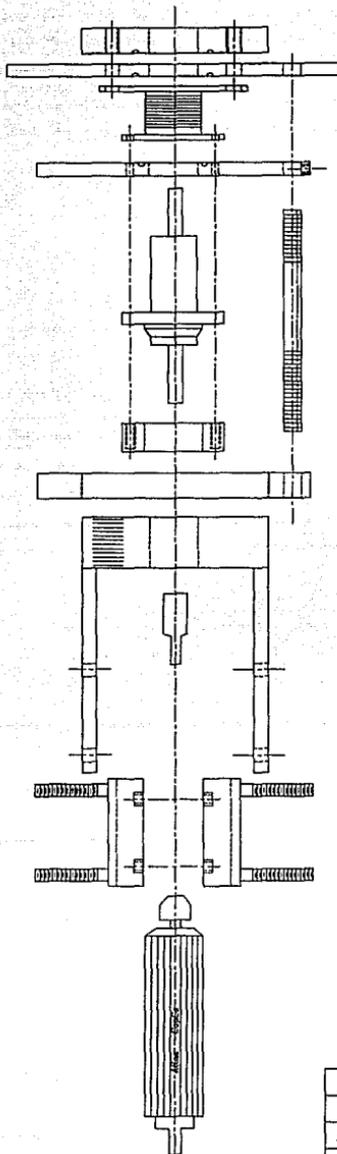
El sello de fluido "ferromagnético" está compuesto básicamente por un imán permanente, dos elementos de sujeción (rodamientos), el fluido ferromagnético y la flecha. Todas estas piezas en conjunto forman un circuito magnético cerrado. El fluido ferromagnético se ubica entre los elementos de sujeción y la flecha. Al girar la flecha, este fluido forma un sello "O-ring líquido", sellando herméticamente entre la flecha y los rodamientos. Cuando el par se aplica al atravesador, la geometría del diseño y el intenso campo magnético producen gradientes de campo elevados que mantienen al fluido en su lugar (Apéndice A). El atravesador pasa por el interior del fuelle.

12. Espigas Guía (1-12): Espigas sobre las que se soporta básicamente todo el conjunto y sobre las que desliza el mecanismo móvil.

A continuación se muestran los planos dimensionales y el cuadro descriptivo de las piezas, (Planos 1G).



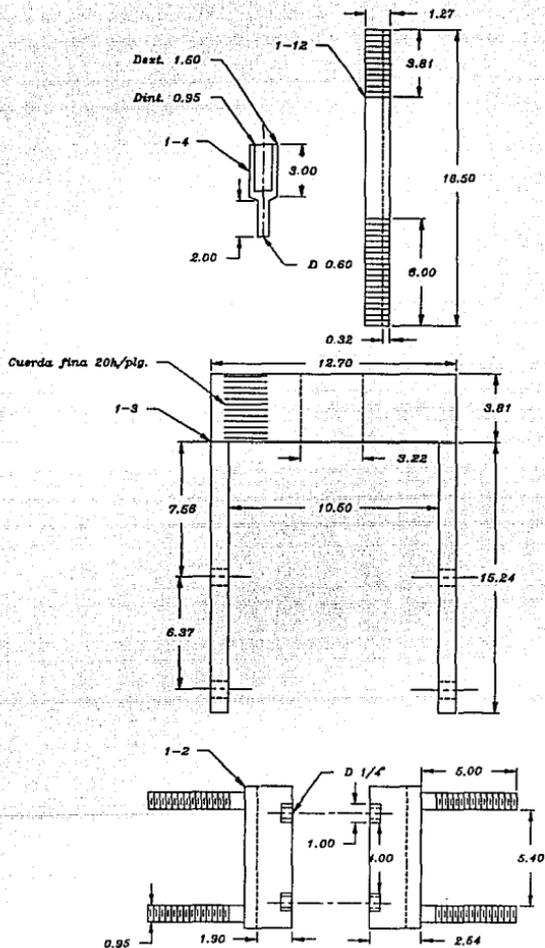
Pieza	Material	Descripción			
1-1	-----	Turbina Neumática			
1-2	Acero Inox.	Abrazadera			
1-3	Duraluminio	Soporte de Desp.	1-11	-----	Atravesador
1-4	Acero Inox.	Cople	1-12	Acero Inox.	Espigas Guía
1-5	Acero Inox.	Brida de Desp.			
1-6	Acero Inox.	Buje			
1-7	Acero Inox.	Brida Guía	Nombre: Plano General, Soporte del Sist.		
1-8	Acero Inox.	Fuelle.	Motriz Exterior.		
1-9	Acero Inox.	Brida de Soporte	Plano No.: 1G	Acot: cm.	Esc: sin.
1-10	Acero Inox.	Brida Soldada	Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.		



Nombre: *Sistema Motriz en Explosión*

Plano No.: *1D-exp* Acol: *--* Esc: *sin*

Proyecto: *Pulverizador de Metales IIM-UNAM*

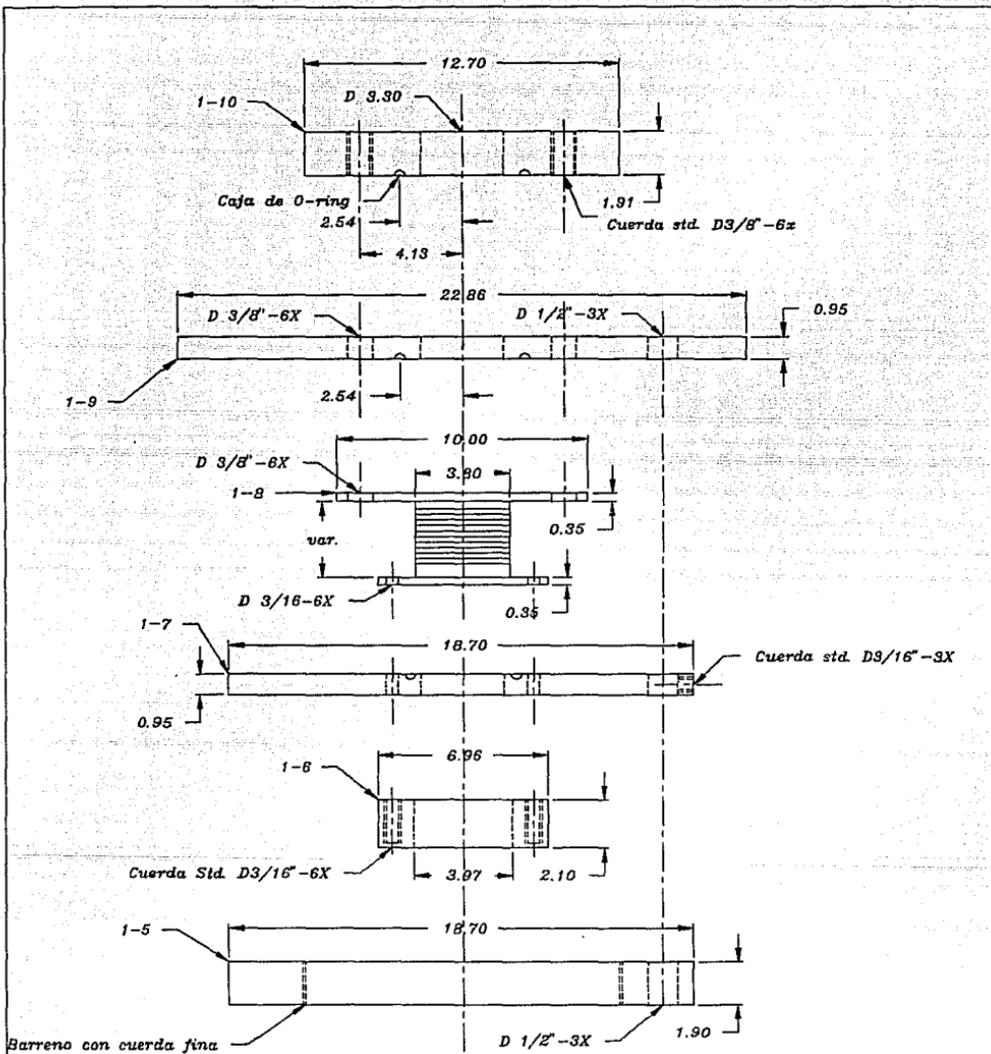


Nombre: Sistema Motriz (Dimensiones)

Plano No.: 1D-2,3,4,12

Acot: cm. Esc: sin.

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.



Nombre: Sistema Motriz (Dimensiones)

Plano No.: 1D-5 a 10 Acot: cm. Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.

Sistema de Alineación y Enfriamiento del Eje

1. Disco Rotatorio (2-1): Su labor consiste en esparcir radialmente al metal fundido que se deposita sobre su superficie. Las dimensiones iniciales de este aditamento se ajustaron a las reportadas en la obtención de polvos de Al-Li y Al-Li-Fe (4). Posiblemente, para la optimización de esta pieza, sea necesario el maquinado de un pequeño borde que ayude al rompimiento de la capa del metal fundido. Sin embargo ello se determinará en las pruebas posteriores que no se incluyen en este trabajo. Lo mismo sucede con el recubrimiento y acabado superficial de este dispositivo.

2. Aislante (2-2): Esta cubierta se construye con la idea fundamental de disminuir la transferencia de calor por conducción que pudiera presentarse desde el disco rotatorio hacia la flecha (2-3). La estimación teórica de este proceso se describe en la sección III.7.

3. Flecha (2-3): Esta pieza es una de las que lleva una mayor precisión en su maquinado. Desde la parte superior hasta el contacto con el rodamiento, se ha desbastado para dar un ajuste firme en este último. En la parte inferior, donde se ajusta con la flecha del atravesador, se dio un ajuste holgado y se maquinaron un par de barrenos pasados para introducir dos pernos con seguros, que fijan el ensamble.

Por otro lado, en la disminución del diámetro que lleva en su parte inferior, se dieron radios de curvatura de aproximadamente 1 cm. para evitar una posible concentración de esfuerzos, propios del trabajo mecánico al que será sometida la pieza. Y por último, en la parte superior se han maquinado tres superficies planas para el mejor asiento de los prisioneros que sujetan al disco con esta flecha.

4. Rodamiento de Alta Velocidad (2-4): Este rodamiento o balero es de fabricación nacional, marca SKF. Su labor consiste en evitar las posibles vibraciones que pudieran presentarse por las altas velocidades que se manejan. La ubicación que éste tiene, resulta un parámetro de diseño interesante, pues previendo un posible desbalanceo propio de defectos del material o imprecisión en el maquinado, se ha colocado a 0.7 cm. por encima del centro de masa de todo el conjunto motriz. De esta manera, el posible par que produciría la carga generada por la vibración, se disminuye considerablemente.

Por otra parte, debido a las condiciones críticas de trabajo a las que será sometido, se ha colocado un medio de enfriamiento exterior que extraiga la mayor cantidad de calor posible. Tanto el transmitido por conducción de la flecha, como el mismo que se genera por la fricción interna del balero. (Ver sección III.7).

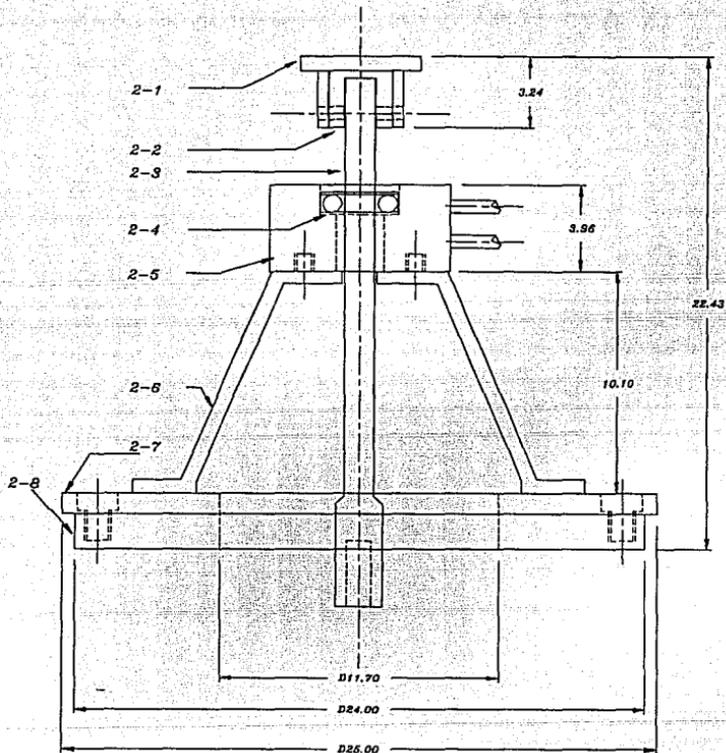
Otra consideración importante en el diseño es que este elemento ha sido pensado como un consumible, pues se estima que su tiempo de vida será fuertemente reducido por las condiciones de trabajo (Apéndice B).

5. Enfriador (2-5): Este dispositivo pretende retirar el calor generado y admitido por el rodamiento ajustado en su interior. Este ajuste se ha maquinado de manera que el rodamiento quede sumamente ajustado, pues se requiere firmeza en este ensamble para asegurar el correcto funcionamiento de ambas partes.

6. Soporte (2-6): Este soporte está compuesto por un juego de dos bridas y tres soleras. Para que todo el sistema pudiera ser removido en repetidas ocasiones sin tener que ajustarlo en cada una de ellas, la brida inferior (2-8) se soldó a la parte inferior del contenedor después de haberse verificado la correcta alineación y horizontalidad de ésta. Además es la que da el soporte y la correcta ubicación del sistema de alineación. La brida superior (2-7), es la que sujeta a las soleras que soportan al enfriador. Esta brida simplemente se atornilla a la brida anteriormente descrita.

7. y 8. Bidas (2-7, 2-8): Estas piezas son únicamente para dar el soporte a todo el sistema. La brida inferior (2-8), se encuentra fija al contenedor. La razón de los espesores de estas bridas es para evitar deformaciones al momento de efectuar las soldaduras.

Planos dimensionales y el cuadro descriptivo de las piezas (Planos 2G).

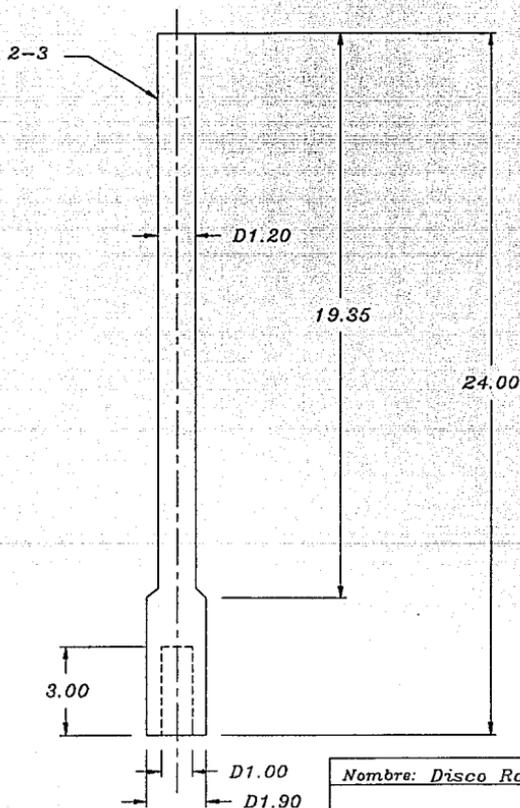
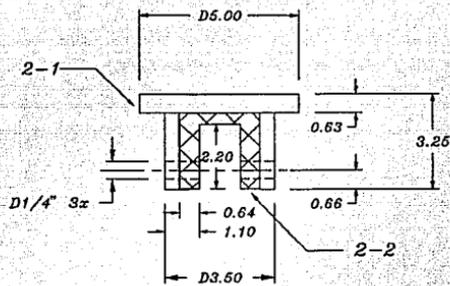


<i>Pieza</i>	<i>Material</i>	<i>Descripción</i>
2-1	Acero Inox 304	Disco Rotatorio
2-2	Cerámico Maq.	Aislante
2-3	Acero Inox 304	Flecha
2-4	Acero AISI	Rodamiento de alta vel.
2-5	Cobre	Enfriador
2-6	Acero Inox	Soporte
2-7	Acero Inox. 304	Brida Superior
2-8	Acero Inox 304	Brida Inferior Soldada.

Nombre: Soporte de Rodamiento y Enfriador
Plano General

Plano No.: 2G Acot: cm Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM



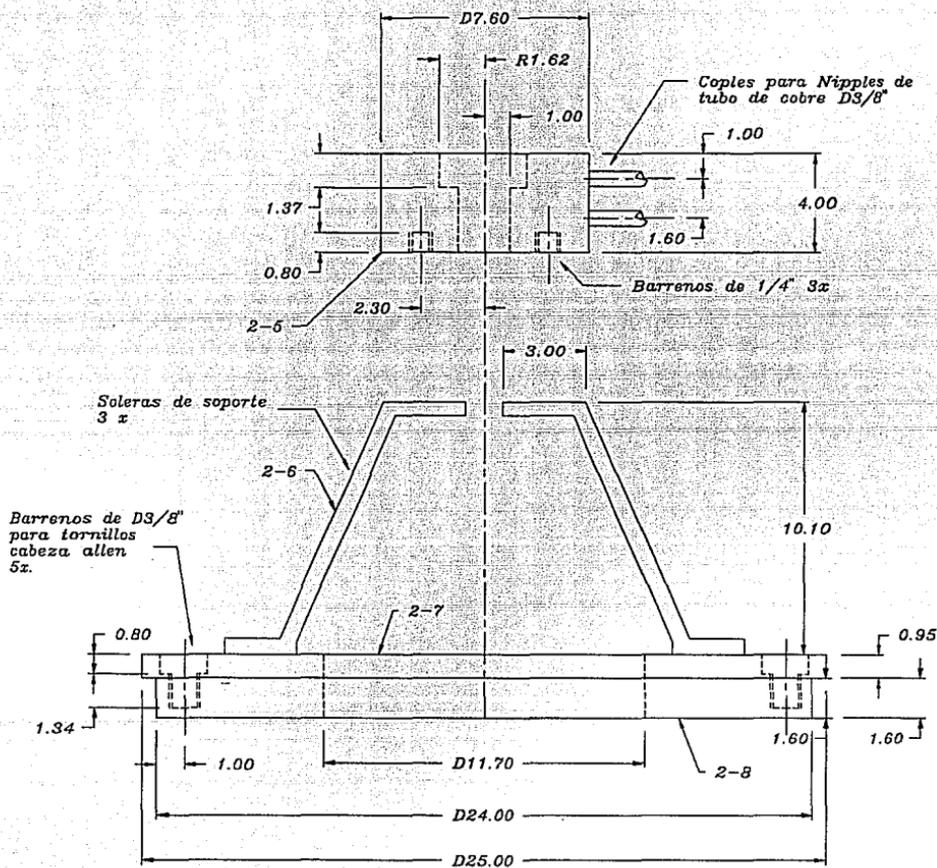
Nombre: *Disco Rotatorio y Flecha*

Plano No.: *2D-1,2,3*

Acot: *cm.*

Esc: *sin*

Proyecto: *Pulverizador de Metales IIM-UNAM*



Nombre: Soporte y Enfriador		
Plano No.: 2D-5,6,7,8	Acot: cm.	Esc: sin.
Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.		

Soporte del Crisol

1. Crisol (3-1): Es el elemento contenedor del metal. El material del que está hecho (grafito) resiste altas temperaturas además de permitir fundir el metal por calentamiento directo o indirecto. En el primer caso, el metal se calienta por inducción directa generada por el campo magnético; en el segundo, el crisol es el que se calienta por la acción del campo magnético y se logra fundir el metal por conducción de calor.

El fondo del Crisol presenta una horadación por la cual el metal fundido será expulsado, ya sea por simple acción de la gravedad o por presión en el interior del recipiente.

2. Tapa (3-2): Además de ser ésta la que ensambla con los elementos de sostén del crisol, permite realizar un sello con este último para poder aplicar una presión positiva, en el caso que la tensión superficial del metal líquido no le permita fluir por la boquilla de salida del crisol por simple gravedad.

En la parte central de la tapa, se encuentra un barreno por el que pasa el vástago obturador (3-10) que cierra y abre la boquilla del crisol. Hacia la periferia, se encuentran tres barrenos uniformemente repartidos por los que pasan los tornillos de sujeción.

3. Aislantes (3-3): Los aislantes de los tornillos de sujeción del crisol son pequeños cilindros, maquinados de cerámico, con el fin de acoplarse con los tornillos (3-4) y presentar una superficie mayor que soporte el peso del crisol. Estos aislantes se apoyan sobre la parte inferior de la tapa y cargan de manera equitativa el peso del crisol. Nuevamente, todo este sistema está diseñado para poder ser totalmente desarmable y con piezas de fácil maquinado para su reemplazo.

4. Tornillos (3-4): Tornillos de cerámico maquinable de D 1/4" y 2" de largo, cuerda std.

5. Disco de Soporte (3-5): Este disco soporta los tornillos descritos e interactúa con las espigas de soporte de la parte superior. Es en este ensamble donde puede ajustarse la separación entre el crisol y el disco rotatorio. Las espigas (3-5) entran en dos barrenos laterales y se sujetan por ambos lados del disco mediante un par de tuercas.

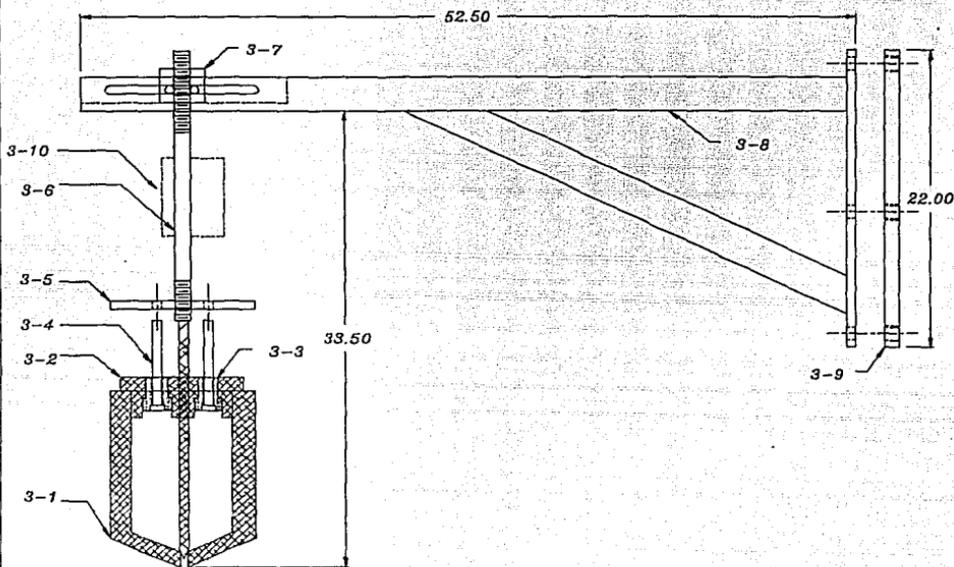
6. Espigas (3-6): Estas (dos) son las extensiones de la ménsula de soporte (3-8), que además de acercar el crisol al disco rotatorio mediante el desplazamiento vertical, se desplazan junto con el deslizador (3-7) para dar el movimiento horizontal del crisol que centra la boquilla respecto al disco giratorio o lo aleja hacia la periferia. También en la sujeción de éstas con el deslizador hay un tramo de maquinado de cuerda para ajustar el desplazamiento vertical con tuercas por ambos lados del deslizador.

7. Deslizador (3-7): Esta pequeña pieza permite que el conjunto de soporte del crisol se deslice horizontalmente con una carrera por demás amplia para tener la posibilidad de depositar el metal sobre un punto distinto del centro del disco rotatorio. El ajuste que tiene con la barra de la ménsula es suficiente para permitir un deslizamiento suave sin juego alguno.

8. Ménsula de Soporte (3-8): Este soporte está conformado por 4 piezas principales: una barra con un canal en uno de los extremos, sobre el cual se mueve el deslizador, una solera de soporte que se apoya en la parte media inferior de la barra y se suelda en la solera que se sujeta a la pared interior del contenedor la cual tiene tres barrenos por los cuales pasan los tornillos que se fijan con la última solera (3-9) que se encuentra soldada a la pared del contenedor. El cálculo de la deflexión de este soporte se muestra en la sección III.7.

9. Solera Soldada (3-9): Proporciona el soporte de la ménsula en su conjunto.

10. Vástago, Soporte del Vástago y Válvula Solenoide (3-10): Todo este conjunto de piezas componen lo que se denominará por sencillez vástago obturador. Aprovechando las espigas que soportan el crisol, se decidió adaptar un soporte para la válvula solenoide que permite levantar y obturar la boquilla del crisol. Este conjunto de válvula-vástago obturador debe de operar simultáneamente con el pulso de presión que se dé al crisol en el caso que el metal no fluya por si mismo. En la extensión del vástago que cierra la boquilla, se maquinó cuerda fina de manera que la apertura de la boquilla del crisol sea variable.



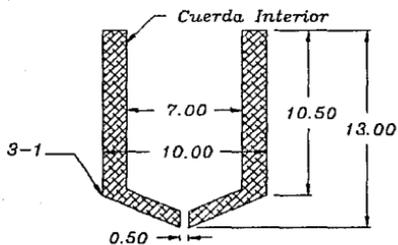
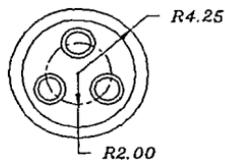
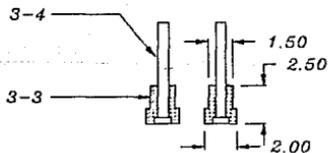
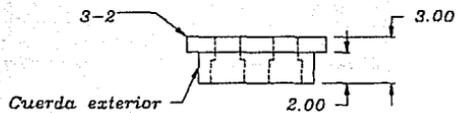
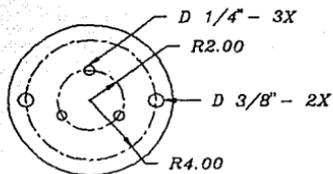
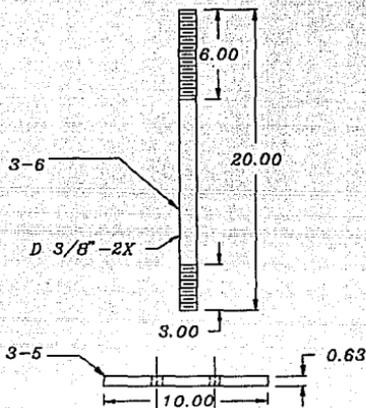
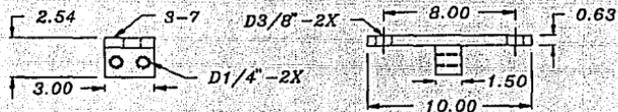
Pieza	Material	Descripción
3-1	Crafito	Crisol
3-2	Crafito	Tapa del Crisol
3-3	Cerámico Maq.	Aislantes
3-4	Acero	Tornillo D1/4"
3-5	Acero Inoz.	Disco Soporte
3-6	Acero Inoz.	Espigas
3-7	Acero Inoz.	Deslizador
3-8	Acero Inoz.	Ménsula
3-9	Acero Inoz.	Solera Soldada
3-10	-----	Sistema Obturador

Nombre: *Plano General, Soporte del Crisol*

Plano No.: 3C

Acot: cm. Esc: sin.

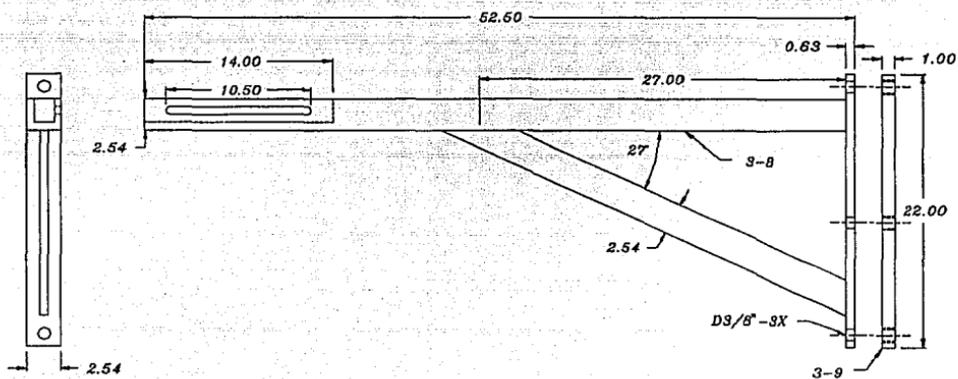
Proyecto: *Pulverizador de Metales IIM-UNAM*



Nombre: Soporte de Crisol. Dimensiones

Plano No.: 3D-1 a 7 Acot: cm. Esc: sin

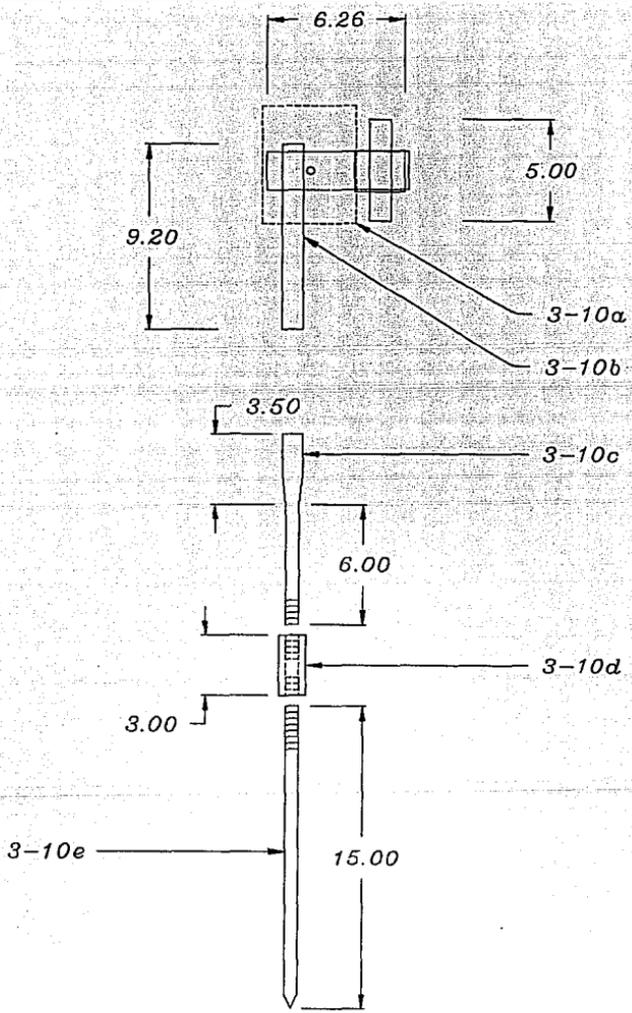
Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.



Nombre: Soporte del Crisol, Dimensiones

Plano No.: 3D-8,9 Acot: cm. Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.



Pieza	Material	Descripción		
3-10a	----	Solenoide	Nombre: Dimensiones, Sistema Obturador	
3-10b	Acero	Cremallera		
3-10c	Acero	Adaptador	Plano No.: 3D-10 Acot: cm. Esc: sin	
3-10d	Cerámico	Cople		
3-10e	Crafito	Obturador		
			Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.	

Sistema para Fundir Metal y Medición de Temperatura

1. Inductor de Calentamiento (4-1): El inductor que se utiliza para el calentamiento por inducción del metal a fundir, está formado por una bobina cilíndrica que rodea estrechamente al crisol; las espiras de esta bobina son de tubo de cobre en cuyo interior circula agua de enfriamiento (figura 3.7). Especificaciones en Apéndice A.

2. Sistema de Tubería (4-2): El sistema de tubería permite la conexión entre el inductor de calentamiento y el generador de alta frecuencia (fig. 3.7) através de la pared de la cámara de trabajo y evitando fugas. Este sistema consta de tres tubos de Cobre, concéntricos y de distinto diámetro (4-6,4-7,4-8). La corriente eléctrica así como el flujo de agua de enfriamiento parten del generador por el tubo de menor diámetro (4-6) el cual se conecta con el inductor de calentamiento. El agua pasa por el embobinado y regresa por el tubo de extensión (4-9) al espacio formado entre los tubos de mayor diámetro (4-7,4-8) para terminar su recorrido finalmente en el generador. El flujo eléctrico presenta el mismo recorrido.

Estos tubos se mantienen unidos entre sí por medio de bridas soldadas a éstos (4-1a,4-1b,4-1c) y separado cada polo eléctrico por elementos dieléctricos (4-3a,4-3b,4-3c). El conjunto entero se sujeta a la pared de la cámara de trabajo mediante una brida soldada a ésta (4-4) donde se atornilla el sistema de tubería.

3. Generador de Radio Frecuencia (4-3): El propósito principal en la conversión de la frecuencia de línea (60 Hz) a radio frecuencias de 100 kHz o mayores es el conseguir, en el tratamiento térmico de materiales, mayor penetración superficial (profundidad) en menor tiempo y con altas densidades de energía.

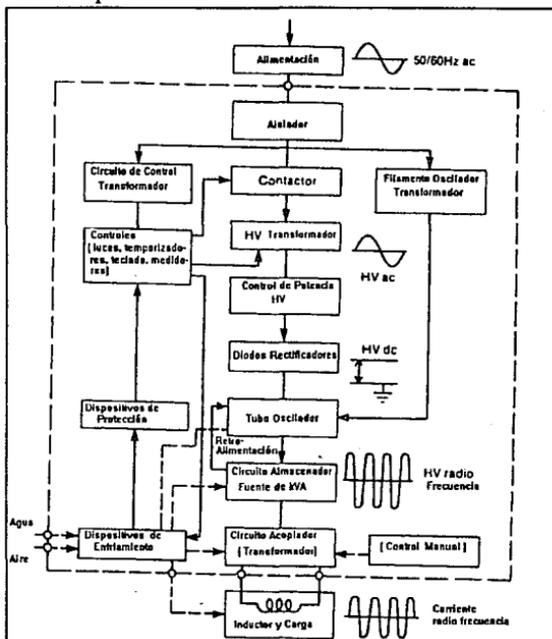


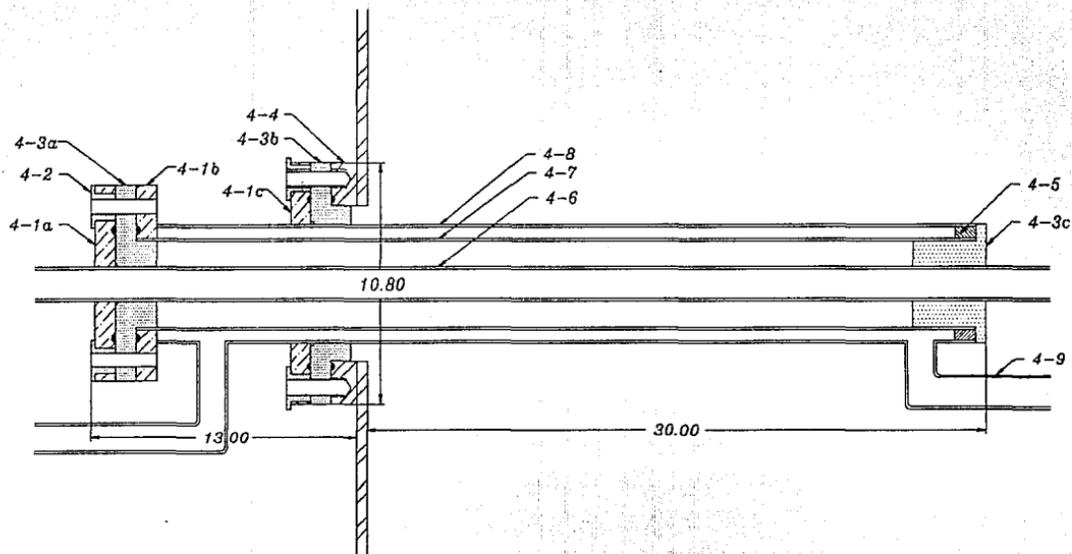
Figura 3.9: Diagrama de componentes de un generador de RF (5).

La mayoría de los generadores de este tipo se usan para tratamientos de endurecimiento superficial y el calentamiento localizado para fundición. Un segundo propósito es el de obtener altas densidades de energía necesarias cuando el acoplamiento (eléctrico) entre el inductor y la carga es pobre, por ejemplo, cuando la carga esta rodeada por una atmósfera protectora y su contenedor. Tal es el caso del presente diseño en donde el metal estará rodeado por el crisol.

La fuente de energía en este diseño la constituye un sistema de radio frecuencia que incorpora un tubo electrónico en vacío (tubo oscilador). La corriente de línea es transformada y rectificadada hasta un determinado alto voltaje en directa (VC) el cual es aplicado al tubo oscilador cuya señal de salida alimenta a un circuito oscilador, o de "almacenamiento", del cual la carga (el metal a fundir) forma parte.

El sistema generador de radio frecuencia contiene diversas etapas de transformación como se muestra en la figura 3.9.

Los datos técnicos del Generador de RF se muestran en el Apéndice A.



Pieza	Material	Descripción
4-1a,b,c	Latón	Bridas Soldadas y Barrenadas
4-2	Teflón	12 Bujes Aislantes
4-3a,b,c	Teflón	Bridas y Bujes Aislantes
4-4	Acero Inox. 304	Brida de Soporte Soldada
4-5	Cobre	Anillo Soldado
4-6	Cobre	Tubo 1/2"
4-7	Cobre	Tubo 1 1/2"
4-8	Cobre	Tubo 2"
4-9	Cobre	Tubo de Extensión 1/2"

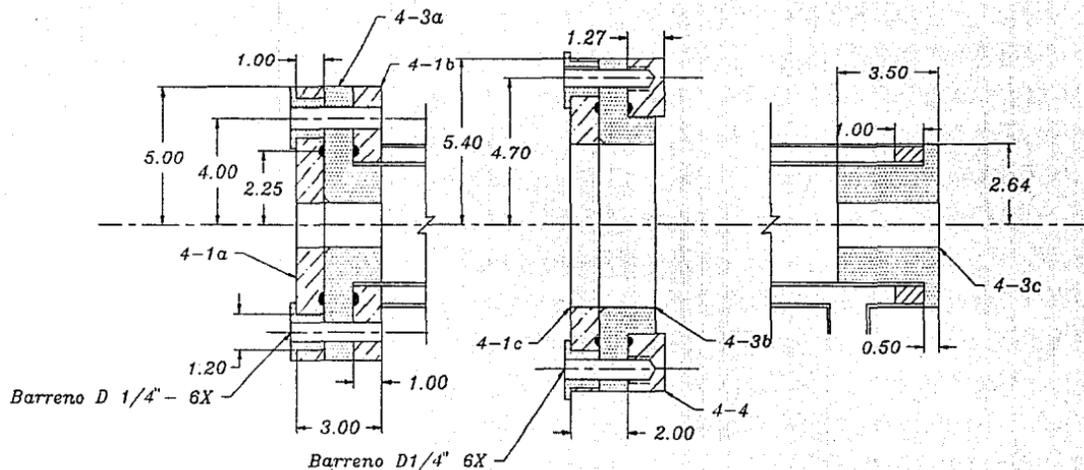
Nombre: Tubería de R.F.

Plano No.: 4G

Acot: cm.

Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.



Nombre: Tubería de R.F. (detalle)

Plano No.: 4D

Acot: cm.

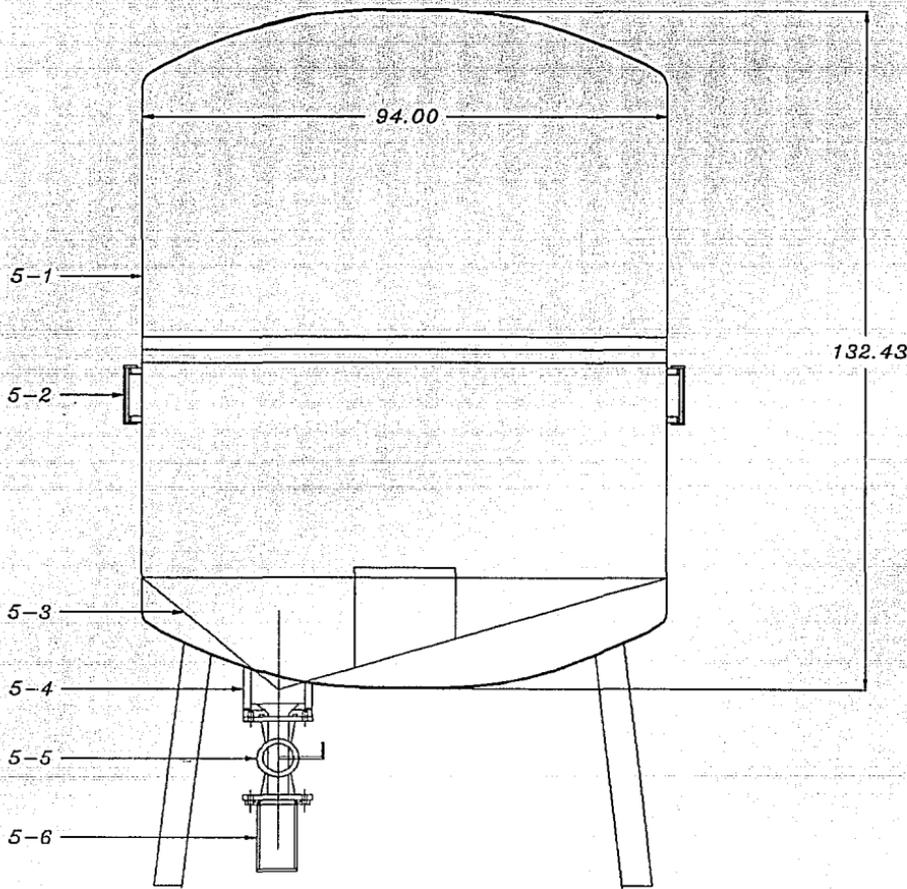
Esc: sin.

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.

Cámara de Trabajo, Sistema de Purga y Admisión, Sistema de Recuperación del polvo.

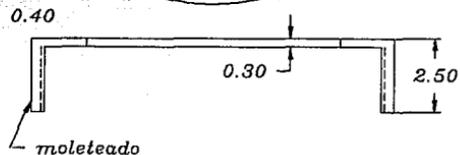
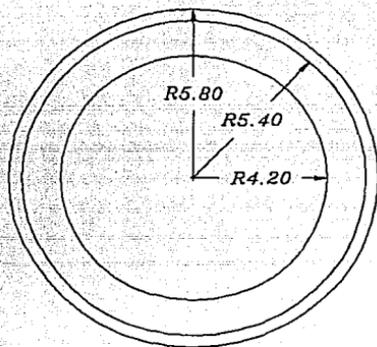
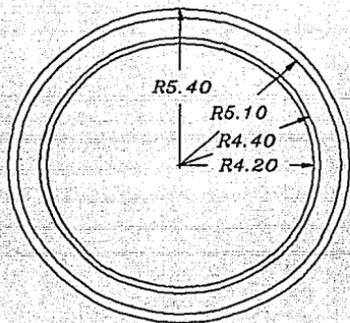
1. **Cámara de Trabajo (5-1):** Recipiente de forma cilíndrica y tapas toriesféricas dividido en dos a la mitad de su altura. Las partes se unen mediante un cinturón de tornillos y cierran herméticamente gracias a un sello de caucho en forma de anillo. En su parte inferior, se han soldado tres postes que sirven de base y permiten regular la altura respecto al piso, además de poseer tornillos niveladores que permiten conseguir una adecuada posición. (Apéndice A).
2. **Mirillas (5-2):** Un par de mirillas han sido colocadas en la periferia de la cámara de trabajo con el fin de realizar observaciones al interior de la cámara además de permitir el uso de una fuente de iluminación en el exterior. Esta mirilla consta esencialmente de dos piezas; una brida macho con cuerda exterior y soldada a la pared de la cámara. Una brida tipo hembra que se rosca a la primera aprisionando un acrílico.
3. **Cono Invertido (5-3):** En el interior de la cámara, en su parte inferior, se coloca un cono oblicuo invertido fabricado en lámina de acero que tiene como función el recolectar el polvo generado y conducirlo a un recipiente exterior.
4. **Cilindro Bridado (5-4):** Este cilindro se encuentra soldado en la parte inferior de la cámara de trabajo y tiene localizado su eje longitudinal en el vértice del cono invertido. Funciona como extensión de la cámara para concentrar el polvo y conducirlo al recipiente exterior (5-6) através de la válvula (5-5). El cilindro se encuentra en posición vertical y en su extremo inferior tiene una brida que se acopla a la brida de la válvula o a la del recipiente exterior según sea el caso.
5. **Válvula Manual (5-5):** Es una válvula de "bola" de cierre hermético y operación manual (especificaciones en el Apéndice A) . Se localiza entre el cilindro bridado y el recipiente exterior. El propósito de esta válvula consiste en poder trasladar el polvo recién obtenido a otro lugar sin perder la atmósfera inerte que impera en la cámara. Esta consideración debe hacerse ya que en la producción de polvos de determinados metales, p.ej. Aluminio, dada la alta superficie de contacto se presenta una reacción exotérmica considerable debida al proceso de oxidación en la presencia de una atmósfera reactiva. En caso de que el polvo producido no presente dicha reacción, se elimina la válvula y se conecta directamente el recipiente exterior con el cilindro bridado.
6. **Recipiente Exterior (5-6):** Recipiente de forma cilíndrica que sirve de colector final del polvo. En su extremo superior tiene una brida que se acopla con la válvula o con el cilindro bridado, según sea el caso.
7. **(5-7)** Para el procedimiento de purga de aire y admisión de Argón se cuenta respectivamente con una bomba para vacío (especificaciones en Apéndice A) y con tanques de Argón.

A continuación se muestran los planos dimensionales y el cuadro descriptivo de las piezas mencionadas, (Planos 5G).



Pieza	Material	Descripción
5-1	Acero Inox.	Cámara de trabajo
5-2	Acero, Acrílico	Mirilla
5-3	Acero Inox.	Cono Invertido
5-4	Acero Inox.	Cilindro Bridado
5-5	----	Válvula Manual
5-6	Acero Inox.	Recipiente Exterior

Nombre: Cámara de Trabajo, Plano General		
Plano No.: 5G	Acot: cm.	Esc: sin
Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.		

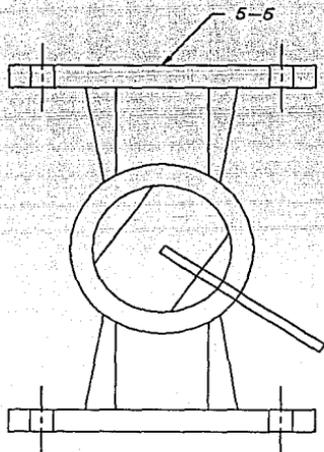
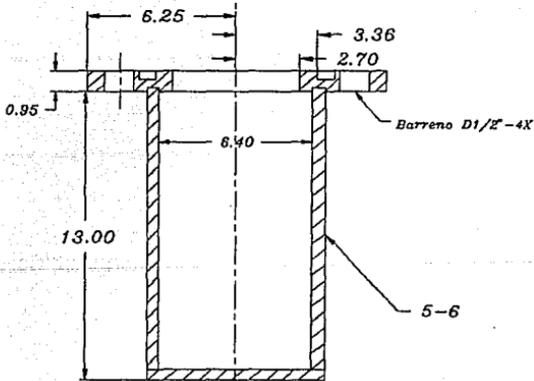
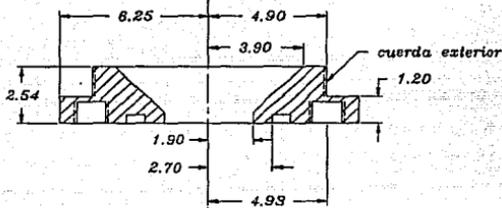
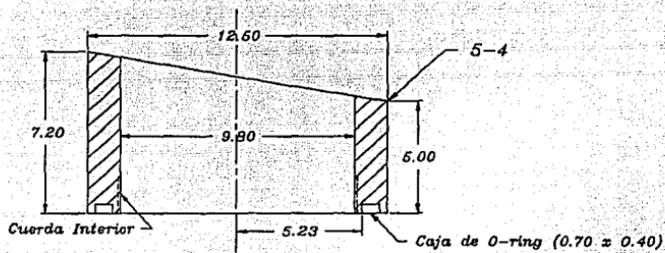


Nombre: Plano de Detalle, Nitrilla

Plano No.: 5D-2

Acot: cm. Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.



Nombre: Plano de Detalle, Sistema Inferior de Captura de Polvo.

Plano No.: 5D-4,5,6 Acot: cm. Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.

Instrumentación

Como se mencionó, existen diversas variables que intervienen en la obtención del polvo y las características de éste. Para controlar dichas variables se requieren de diversos instrumentos de medición o métodos de control. Las especificaciones de todos ellos se ilustran en los Apéndices.

Instrumentos de Medición

1. Distancia entre Crisol y Disco (6-1): Durante la etapa experimental del pulverizador, posterior a su instalación, se tendrán que realizar diversas pruebas encaminadas en determinar la distancia adecuada a la cual deberá de estar separado el disco respecto del crisol, con el fin de obtener las características del polvo deseadas o para observar la influencia que tiene esta variable en las propiedades del producto.

El control de esta variable se realizará por dos tipos de desplazamiento, "macro y micro" ya descritos. El desplazamiento fino será registrado por un *Micrómetro* de carátula o digital que será instalado en el sistema motriz exterior entre un elemento fijo (1-9) y uno móvil (1-7) de este sistema. El desplazamiento mayor simplemente será ajustado manualmente dejándolo en una posición arbitraria a partir de la cual se usará el desplazamiento fino.

Además del medir el desplazamiento con un instrumento, dada las características de la cuerda del soporte de desplazamiento (1-3), cada vuelta de este elemento representa determinado avance (ver III.7).

2. Velocidad Angular del Disco (6-2): El control de la velocidad angular del disco es de vital importancia en el proceso de solidificación del metal ya que, como se muestra en la sección de cálculos, ésta es determinante en la velocidad de enfriamiento del material.

El control de la velocidad se realizará mediante una válvula neumática que regule la entrada de aire a la turbina. Esta velocidad será medida mediante un tacómetro fotosensor situado en el soporte de desplazamiento (1-3). El elemento sensor del dispositivo medidor apuntará su haz luminoso a la cabeza de la turbina la cual tendrá la mitad cubierta con una cinta fosforescente y la otra mitad oscura. Ya que el disco rotatorio se conecta a la turbina através de la flecha y el atravesador, la velocidad angular de estos elementos es la misma.

3. Medición de Temperatura (6-3): Dos factores determinantes en la producción del polvo por centrifugado son la temperatura del metal al momento de ser expulsado del crisol y la temperatura a la cual se encuentra el disco sobre el que se depositará el metal fundido.

Ambas lecturas se realizarán mediante un método de medición de temperatura por radiación denominada pirometría óptica.

4. Presión de la Cámara de trabajo (6-4): Para conseguir la atmósfera de la que se ha hablado, será necesario desplazar el aire contenido en la cámara y sustituirlo por un gas inerte (Argón).

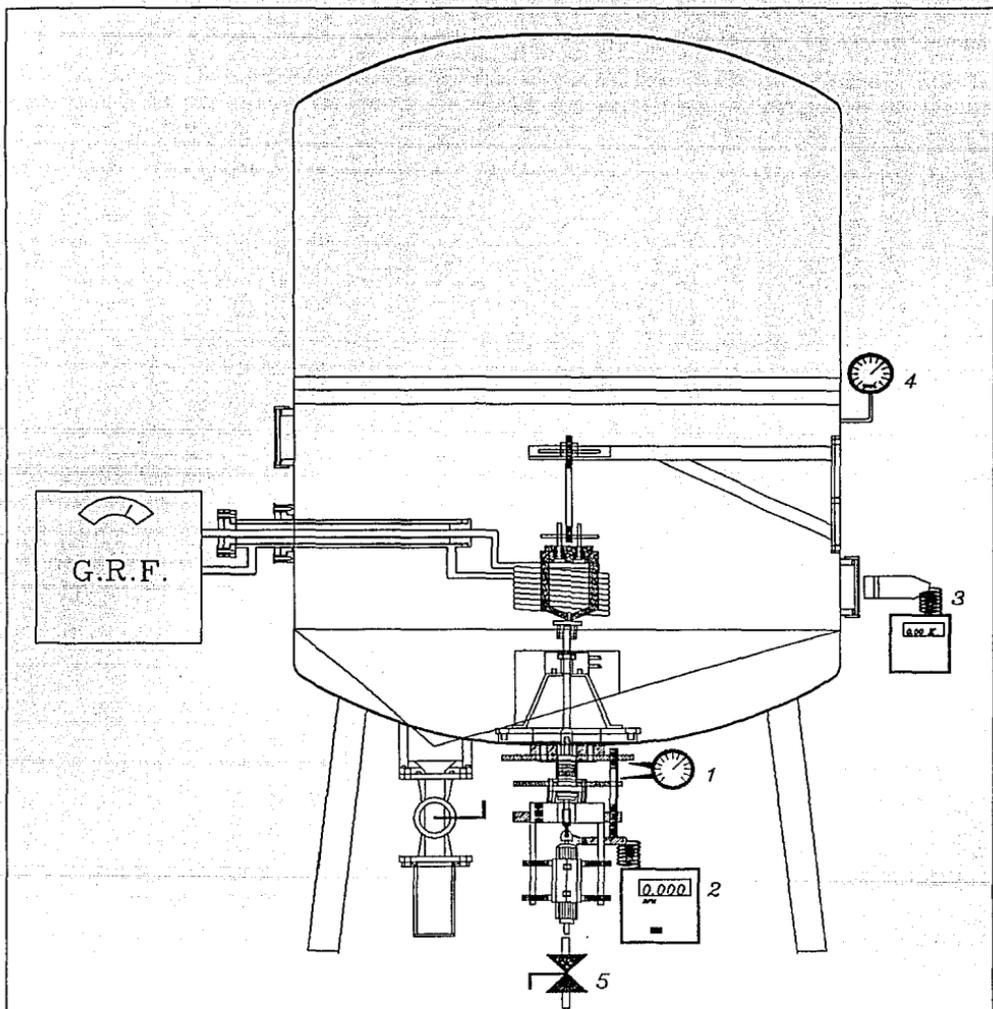
Para realizar esta tarea, se cuenta con una bomba de succión y se tendrán tanques del gas inerte, además, será necesario contar con dispositivos de medición de presión. Tales dispositivos se instalarán en la parte superior de la mitad inferior de la cámara de trabajo y en el exterior de ésta.

Se contempla la instalación tanto de un manómetro como de un vacuómetro.

Elementos de Control

5. Válvulas (6-5): Se colocarán válvulas de control de flujo de gas y agua para los siguientes usos:

- Entrada y salida de agua para el enfriador (2-5).
- Admisión de Argón a la cámara (5-1)
- Válvula en el conductor entre bomba de vacío y cámara de trabajo para evitar contaminación con aceite (5-7)
- Válvula de regulación de flujo de aire entre la turbina y el compresor
- Válvulas en los conductos de la trampa de vacío



Pieza	Material	Descripción
1	---	Micrómetro
2	---	Tacómetro
3	---	Pirómetro Óptico
4	---	Manómetro
5	---	Válvula

Nombre: Plano General, Instrumentación

Plano No.: 6C

Acot: ----- Esc: sin

Proyecto: Pulverizador de Metales IIM-UNAM.

III.7.CALCULOS DE CONDICIONES CRITICAS

Para la asignación de dimensiones y parámetros de operación del equipo, es muchas veces necesario estimar las condiciones críticas por encima de las cuales pueden presentarse fallas o malos funcionamientos. Por ello, en este diseño se discutieron los cálculos que se estimaron críticos y se seleccionaron por secciones como se muestra.

1. Del Soporte del Sistema Motriz Exterior

A. Avance del soporte de desplazamiento

2. Del Sistema de Alineación y Enfriamiento del Eje

B. Reacción dinámica en el rodamiento

C. Conducción de calor máxima del disco al rodamiento

D. Par máximo de la flecha y diámetro mínimo requerido

E. Velocidades de enfriamiento estimadas dadas las restricciones del proceso

F. Velocidad de giro del disco dada la transferencia de calor en la solidificación de las partículas

3. Del Soporte del Crisol

G. Deflexión de la ménsula

4. Del Sistema para Fundir Metal

H. Potencia y frecuencias de campo para fundir

PIEZA	W(gr.)	y(cm.)	W y (gr cm)
Disco	96.5	6.0	580.45
Disco'	196.6	4.4	863.15
Disco''	-100.3	4.2	-419.25
Aislante	24.2	4.4	106.14
Aislante'	-4.7	4.2	-19.52
Flecha	211.7	-6.72	-1422.75

Tabla 3.1. Cálculo de Centroides

Momentum Angular

$$I_y = (M d^2)_{\text{disco}} + (M d^2)_{\text{aislante}} + (M d^2)_{\text{flecha}}$$

$$d_{\text{disco}} = y_{\text{TOTAL}} - y_{\text{disco}} \dots$$

$$I_y = 15,144.5 \text{ gr}\cdot\text{cm}^2$$

Si suponemos un desbalanceo del 10%, lo cual resulta exagerado; esto es suponemos que el centro de masa del disco se encuentra 2.5 mm. fuera del eje de rotación, entonces tenemos:

$$I_{zy} = I_{xy} = M_{\text{disco}} d_{\text{CM}} y_{\text{disco}} = 291.43 \text{ gr}\cdot\text{cm}^2$$

$$H = I \omega = \begin{bmatrix} -291.43 & - \\ -15,144 & - \\ -291.43 & - \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 291.43 \omega \\ 15,144 \omega \\ 291.43 \omega \end{bmatrix}$$

$$\sum M = \dot{H} = \alpha + \omega \begin{bmatrix} 291.43 \omega \\ - \\ - \end{bmatrix}$$

Para la velocidad angular más crítica que deseamos obtener
 $\omega = 30,000 \text{ RPM} = 3,141.6 \text{ rad/s}$.

$$\begin{aligned} \sum M_G &= 3141.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left(915.5 \frac{\text{gr} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}} \right) = \\ &= 2,876,293,591 \frac{\text{gr} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}^2} = \\ &= 287.63 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

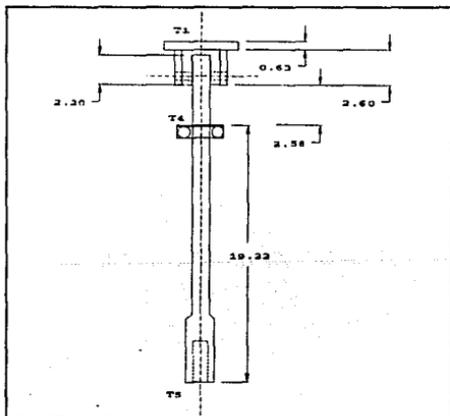
Por tanto, la reacción en el rodamiento es:

$$\begin{aligned} F_R &= \frac{M_G}{y_{\text{disco}}} = \frac{287.63 \text{ N} \cdot \text{m}}{6.04 \text{ cm}} = \\ &= 4.76 \text{KN} \\ &= 485.6 \text{Kgf} \end{aligned}$$

La carga dinámica máxima que se especifica para el rodamiento 6201 2RS es de 5.3 KN, la cual está bastante por encima de lo estimado. (Especificaciones en Apéndice A).

C. Conducción de calor máxima del disco al rodamiento

Es importante conocer la máxima transferencia de calor que podría presentarse a lo largo de la flecha de transmisión, pues un exceso de calor en el rodamiento podría dañar el funcionamiento del mismo. Asumimos que la temperatura máxima a la que el disco se puede encontrar en su cara superior es la temperatura de fusión del acero inoxidable (caso extremo). Y por otro lado, debido a la longitud de la flecha hacemos la suposición de que la temperatura a la que se encontrará en su extremo inferior es de aproximadamente la temperatura de la atmósfera circundante $\approx 20^\circ\text{C}$. Todo ello en estado estacionario y sin considerar el calor que por convección se transmite, lo cual beneficia aún más este resultado.



Los datos que tenemos entonces son:

$$K_{\text{acero}} = 0.17 \text{ cal/ s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$K_{\text{cerám}} = 10.0 \text{ BTU in/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F} = 3.44 \times 10^{-3} \text{ cal/ s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta x_1 = 6.3 \text{ mm.}$$

$$T_{1\text{máx}} = 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta x_2 = 4.0 \text{ mm.}$$

$$T_{5\text{máx}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta x_3 = 47.8 \text{ mm.}$$

$$\Delta x_4 = 192.2 \text{ mm.}$$

Calculando la resistividad de cada material por unidad de área:

$$R_i = \frac{\Delta x_i}{k_i}$$

$$R_1 = 8.85 \times 10^{-5} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_2 = 2.77 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_3 = 0.67 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_4 = 2.70 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

de manera que si sustituimos en la ecuación de Fourier, tendremos la cantidad de calor conducido por unidad de área:

$$q_A = \frac{T_1 - T_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$q_A = 237,557.2 \text{ W}$$

si deseamos ahora conocer la temperatura que tendremos en el punto T_4 y utilizando la misma ecuación de Fourier tenemos:

$$q_A = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$237,557.2 \text{ W} = \frac{1773 \text{ K} - T_4}{0.00353} \rightarrow$$

$$T_4 = 934.30 \text{ K}$$

$$T_4 = 661.30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

que resulta ser aproximadamente la mitad de la temperatura de fusión del acero, por lo que el efecto no es tan considerable, más aún si consideramos las condiciones límite que tomamos y que se supone un estado estacionario y sin transferencia por convección. Que al no ser del todo ciertas, favorecen este resultado.

D. Par máximo de la flecha y diámetro mínimo requerido

Partiendo de la fórmula de torsión:

donde:

$$\tau_{máx} = \frac{T \cdot c}{J}$$

T- Momento torsionante

c- radio de la barra

J- Momento polar de inercia

Por lo tanto el esfuerzo máximo transmitido al eje será:

$$J = \frac{\pi c^4}{32}$$

T= 180 lb·in = 207.38 Kg·cm (par máximo que proporciona el atravesador)

c= 0.25 in.

J= 3.83×10^{-4} in⁴

$\tau_{máx} = 117,341$ lb/in² = 8,249 Kg/cm²

siendo el esfuerzo máximo característico del acero de 10,500 Kg/cm² tenemos:

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{máx}} = \frac{207.38 \text{ Kg} \cdot \text{cm}}{10,500 \text{ Kg/cm}^2} = 0.0198 \text{ cm}^3$$

de manera que el radio mínimo de la flecha, para soportar dicho esfuerzo debería ser:

$$\frac{J}{c} = 0.0198 \rightarrow c = 0.019 \text{ inches}$$

$$c = 0.05 \text{ cm.}$$

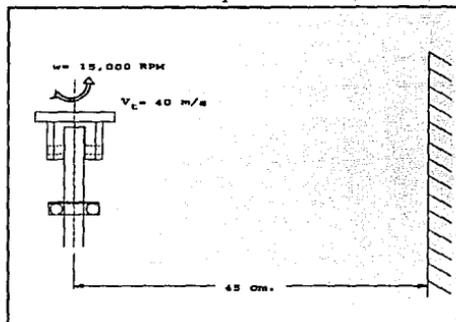
$$D = 1.00 \text{ mm.}$$

el diámetro escogido es de un diámetro superior para facilidad de maquinado.

E. Velocidades de enfriamiento estimadas dadas las restricciones del proceso.

Deseamos calcular el orden de magnitud de las velocidades de enfriamiento para diversos metales, dadas las condiciones estimadas de operación del sistema. Para ello determinamos los siguientes parámetros:

Velocidad angular: $\omega = 15,000$ RPM
 Radio del disco: $r = 2.5$ cm.
 Velocidad tangencial: $V_T = \omega r = 39.27$ m/s
 Radio aprox. de la cámara: $l = 0.45$ m.



Teniendo que fijar arbitrariamente ciertos parámetros para el cálculo de esta condición, suponemos que la temperatura del metal a pulverizar dentro del crisol (T_p) será de 50 a 100°C por encima de la temperatura de fusión (T_m) y la temperatura a la que deseamos llevar al metal pulverizado (T_f) previo al impacto con la pared del contenedor es de 50 a 100°C por debajo de su temperatura de fusión, esto para cualquier metal o aleación de la que se trate. Podemos entonces estimar que las velocidades de enfriamiento que obtendremos bajo estos parámetros será el siguiente:

$$\frac{\Delta T}{l} = \frac{200}{0.45} = 444.44 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$$

$$V_s = V_T \frac{\Delta T}{l} = 17,453 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$$

$$V_s \sim 1.7 \times 10^4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$$

Sin embargo en la producción de aleaciones, esta ΔT podría variar considerablemente, pues la temperatura de fusión variaría de acuerdo a la proporción de los constituyentes. De la misma manera que la temperatura final (T_f), deberá ser tal que la difusión que se pueda presentar sea controlada.

La temperatura de fusión en equilibrio para una aleación determinada puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$T_{liq}^{mix} = T_m^A X_A + T_m^B X_B + \dots \quad (6)$$

donde X_i representa la fracción molar del elemento i -ésimo.

Por ejemplo en una aleación Cu-80%, Si-20%, tenemos la siguiente temperatura inicial T_o .

$$T_m^{Cu} = 1083 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_m^{Si} = 1414 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o = (1083 \times 0.8) + (1414 \times 0.2) = 1149.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

y la temperatura final a la que se desea llegar es de $820 \text{ } ^\circ\text{C}$, que es una temperatura donde se estima no existirá una difusión grande. De manera que la velocidad de enfriamiento que tenemos:

$$\frac{\Delta T}{l} = \frac{1149.2 - 820}{0.45} = 731.56 \frac{^\circ\text{C}}{m}$$

$$V_s = V_T \frac{\Delta T}{l} = 28,728 \frac{^\circ\text{C}}{s}$$

como se observa, la velocidad de enfriamiento varía considerablemente.

F. Velocidad de giro del disco dada la transferencia de calor en la solidificación de las partículas

Como se comentó en la descripción de los procesos de pulvimetalurgia, la determinación de los parámetros que gobiernan la producción de polvos es hasta ahora una cuestión principalmente empírica y que se obtiene mediante cálculos teóricos aproximados o bien mediante el análisis posterior a las pruebas que se realizan. Este cálculo que se presenta a continuación resulta de gran importancia, pues mediante los valores que éste arroja se puede aproximar de manera inicial uno de los factores fundamentales en la estructura y característica de los polvos: la velocidad de giro del disco.

Para mostrar el desarrollo de este cálculo se tomó como material de análisis al plomo (Pb) del que se muestran las propiedades que serán utilizadas posteriormente:

Plomo (Pb)

Temperatura de fusión:

$$T_m = 327 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calor latente de fusión:

$$h_{fus} = 6.3 \text{ cal/gr}$$

Capacidad calorífica:

$$C_p = 0.037 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$$

DENSIDADES

sólido:

$$\rho_s = 11.340 \text{ gr/cm}^3$$

a $327 \text{ } ^\circ\text{C}$ (sólido):

$$\rho = 11.005 \text{ gr/cm}^3$$

a $327 \text{ } ^\circ\text{C}$ (líquido):

$$\rho = 10.686 \text{ gr/cm}^3$$

a $427 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\rho_{prom} = 10.846 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho = 10.493 \text{ gr/cm}^3$$

Tomamos para este cálculo al aire como medio refrigerante y mostramos las propiedades:

Aire

Temperatura en atmósfera controlada: $T_{amb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Presión " " " : $P_{amb} = 1 \text{ atm}$

a 300 K:

Conductividad térmica: $K = 26.3 \times 10^{-3} \text{ W/m } \cdot \text{K}$
Viscosidad cinemática: $\nu = 15.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Viscosidad dinámica: $\mu = 184.6 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
No. de Prandtl: $Pr = 0.707$

a 550 K:

Viscosidad dinámica: $\mu_s = 288.4 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$

Suponiendo que el área a través de la cual se realiza la extracción de calor de una partícula es el diámetro medio esperado, tenemos:

$$D_m = 200 \text{ } \mu\text{m}$$
$$A = 4 \pi r^2 = 1.26 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$
$$\text{Vol} = 4/3 \pi r^3 = 4.19 \times 10^{-12} \text{ m}^3$$

Nuevamente estimaremos que la temperatura del metal líquido de la que se parte es de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima de la de fusión y se llega $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por debajo de ella:

A) El tiempo requerido para enfriar a una partícula hasta la temperatura de solidificación está dada por:

$$-(\text{Vol})\rho C_p \frac{dT}{dt} = h (T - T_{amb}) A$$

simplificando:

$$\frac{dT}{T - T_{amb}} = \frac{-3h}{r\rho C_p} dt$$

integrando desde $T = T_i$ hasta $T = T_m$

$$\ln \left[\frac{T_m - T_{amb}}{T_i - T_{amb}} \right] = \frac{-3ht_{cl}}{r\rho C_p}$$

de manera que el tiempo de enfriamiento hasta que comienza la solidificación será:

$$t_{cl} = \ln \left[\frac{T_m - T_{amb}}{T_i - T_{amb}} \right] \left[\frac{-r\rho C_p}{3h} \right]$$

$$= \ln \left[\frac{327-20}{427-20} \right] \left[\frac{-(100 \times 10^{-6})(10.493)(0.037)}{3h} \right]$$

$$t_{cl} = \frac{3.65}{h} \left[\frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right]$$

B) El tiempo requerido para la solidificación está dado por la ecuación siguiente:

$$Q_s = h(T_m - T_{amb})A t_s$$

$$t_s = \frac{Q_s}{h(T_m - T_{amb})A}$$

calculando Q_s mediante la siguiente expresión y sustituyendo para encontrar t_s :

$$Q_s = h_{fus} m = h_{fus} \text{Vol } \rho_{prom}$$

$$Q_s = 0.286 \times 10^{-3} \text{ al}$$

$$t_s = \frac{7.41}{h} \left[\frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right]$$

C) Finalmente el tiempo requerido para enfriar la partícula ya sólida a una temperatura T_u arbitraria de 100°C por debajo de la temperatura de fusión T_m tenemos:

$$t_{c2} = \ln \left[\frac{T_m - T_{amb}}{T_u - T_{amb}} \right] \left[\frac{-r\rho_s C_p}{3h} \right]$$

$$\ln \left[\frac{327-20}{227-20} \right] \left[\frac{-(100 \times 10^{-6})(11.340)(0.039)}{3h} \right]$$

$$t_{c2} = \frac{-5.81}{h} \left[\frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right]$$

Ahora, para conocer los parámetros de la transferencia de calor calculamos el número de Nusselt (N_u), tomando como primera aproximación a la velocidad tangencial ($V_t = 40$ m/s):

$$N_u = 2 + (0.4Re^{1/2} + 0.06Re^{2/3}) Pr^{0.4} \left(\frac{\mu_{amb}}{\mu_s} \right)^{1/4}$$

donde:

$$Re = \frac{V_t D}{\nu} = 503.46$$

$$N_u = 11.94$$

finalmente para obtener el coeficiente convectivo de transferencia de calor que domina en este proceso, sustituimos:

$$h = N_u \frac{k}{D} = 11.94 \frac{26.3 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-6}} = 1570.74 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

con este resultado podemos conocer el tiempo total requerido para que una partícula se enfríe:

$$t_T = t_s + t_{c1} + t_{c2}$$

$$t_T = \frac{7.41}{h} + \frac{3.65}{h} - \frac{5.81}{h}$$

$$t_T = 13.99 \times 10^{-3} \text{ s}$$

por lo tanto, como velocidad tangencial V_t , aproximada para este metal podríamos considerar:

$$V_t = \frac{l}{t_T} = \frac{0.45}{13.99 \times 10^{-3}} = 32.16 \text{ m/s}$$

lo que equivale a una velocidad angular de:

$$\omega = 12,286 \text{ RPM}$$

este valor debería de volverse a evaluar en el cálculo del número de Reynolds hasta encontrar una velocidad convergente, sin embargo no sería muy diferente por lo que se omite dicho proceso.

G. Deflexión de la ménsula

Para la determinación de las dimensiones de las soleras que conformarían la ménsula que daría soporte al crisol, se prosiguió a realizar un cálculo de deflexión de vigas, se supuso una carga máxima $P = 10 \text{ Kg.}$ y material de acero:

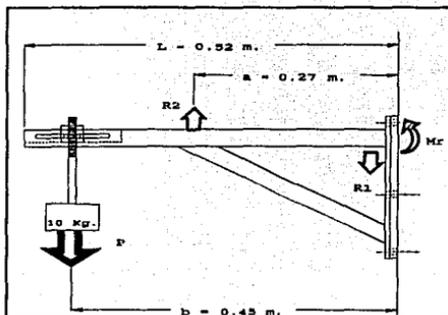
A) Determinación de las reacciones:

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_1 + R_2 = P + P_o L \dots (1)$$

$$\sum M_o = 0$$

$$-M_r - bP - \frac{L}{2}P_o L + aR_2 = 0 \dots (2)$$



B) Ecuación de la elástica $0 \leq x \leq a$:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_r - R_1 x - P_o \frac{x^2}{2}$$

C) Ecuación de la pendiente $0 \leq x \leq a$:

$$EI \frac{dy}{dx} = M_r x - R_1 \frac{x^2}{2} - P_o \frac{x^3}{6} + C_1$$

$$\text{Si } x=0, \frac{dy}{dx}=0 \therefore C_1=0$$

D) Ecuación de la flecha:

$$EI y = M_r \frac{x^2}{2} - R_1 \frac{x^3}{6} - P_o \frac{x^4}{24} + C_2$$

$$\text{Si } x=0, y=0 \therefore C_2=0$$

$$\text{Si } x=a, y=0 \therefore$$

$$M_r \frac{a^2}{2} - R_1 \frac{a^3}{6} = P_o \frac{a^4}{24} \dots (3)$$

E) Reacomodando ecuaciones:

$$-R_1 + R_2 = P + P_o L$$

$$aR_2 - M_r = bP + P_o \frac{L^2}{2}$$

$$-R_1 \frac{a^3}{6} + M_r \frac{a^2}{2} = P_o \frac{a^4}{24}$$

F) Sustituyendo valores:

$$-R_1 + R_2 = 127$$

$$0.27R_2 - M_r = 52.02 N \cdot m.$$

$$-0.0033R_1 + 0.0365M_r = 0.0115$$

G) Resolviendo:

$$-R_1 = 100.3 \quad R_2 = 227.3 \quad M_r = 9.4$$

H) Calculando el momento flector:

$$0 \leq x \leq a$$

$$M_r - R_1 x - P_o \frac{x^2}{2}$$

$$a \leq x \leq b$$

$$M_r - R_1 x - P_o \frac{x^2}{2} + R_2(x-a)$$

$$b \leq x \leq l$$

$$M_f = M_r - R_1 x - P_o \frac{x^2}{2} + R_2(x-a) - P(x-b)$$

I) De la ecuación de la elástica:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_r - R_1 x - P_o \frac{x^2}{2} + R_2(x-a)$$

J) De la ecuación de la pendiente:

$$EI \frac{dy}{dx} = M_r x - R_1 \frac{x^2}{2} - P_o \frac{x^3}{6} + R_2 \frac{x^2}{2} - aR_2 x + C_1$$

K) Igualando pendientes de los intervalos 0-a y a-b en $x = a$:

$$M_r x - R_1 \frac{x^2}{2} - P_o \frac{x^3}{6} = M_r x - R_1 \frac{x^2}{2} - P_o \frac{x^3}{6} + R_2 \frac{x^2}{2} - aR_2 x + C_1$$

$$\therefore C_1 = R_2 \frac{a^2}{2}$$

L) Ecuación de la flecha:

$$EI y = M_r \frac{x^2}{2} - R_1 \frac{x^3}{6} - P_o \frac{x^4}{24} + R_2 \frac{x^3}{6} - aR_2 \frac{x^2}{2} + R_2 \frac{a^2}{2} x + C_2$$

Si $x=a$, $y=0$ \therefore

$$C_2 = P_o \frac{a^4}{24} + R_1 \frac{a^3}{6} - R_2 \frac{a^3}{6} - M_r \frac{a^2}{2}$$

M) Ecuación de la flecha desde $a \leq x \leq b$:

$$EI y = M_r \frac{x^2}{2} - R_1 \frac{x^3}{6} - P_o \frac{x^4}{24} + R_2 \frac{x^3}{6} - aR_2 \frac{x^2}{2} + R_2 \frac{a^2}{2} x + P_o \frac{a^4}{24} + R_1 \frac{a^3}{6} - R_2 \frac{a^3}{6} - M_r \frac{a^2}{2}$$

de donde:

$$I = \frac{L^4}{12} = \frac{2.54^4}{12}$$
$$E = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

y sustituyendo los valores, tenemos finalmente que:

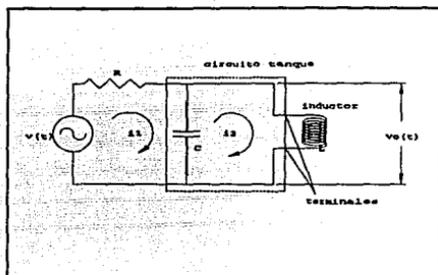
$$y = 1.85 \times 10^{-2} \text{ cm. en } x=b$$

lo que resulta una deflexión despreciable. Por lo tanto se decidió utilizar una barra de 1 pulg² para el diseño de la ménsula.

H. Potencia y frecuencias de campo para fundir

Un generador de RF consiste de una fuente de energía, un tubo oscilador y un circuito de almacenamiento o circuito "tanque". El tubo oscilador proporciona la energía en un rango de frecuencias. La frecuencia a la que se debe trabajar para garantizar la transmisión del máximo de energía, está determinada por los parámetros del circuito tanque.

Los elementos de este circuito están dispuestos como se muestra en la figura



1) Potencia necesaria, en las terminales de salida, para calentar el material.

Suponiendo un voltaje alterno $v(t) = V_p \sin \omega t$, donde ω es la frecuencia angular, se pueden establecer las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned}V_o(t) &= L \frac{di_2}{dt} \\v(t) &= i_1 R + \frac{1}{C} \int i_1 dt - \frac{1}{C} \int i_2 dt \\0 &= -\frac{1}{C} \int i_1 dt + \frac{1}{C} \int i_2 dt + L \frac{di_2}{dt}\end{aligned}$$

Aplicando transformada de Laplace

$$\begin{aligned}v_o(s) &= I_2(s) SL \\V(s) &= I_1(s) \left(R + \frac{1}{SC} \right) + I_2 \left(-\frac{1}{SC} \right) \\0 &= I_1(s) \left(-\frac{1}{SC} \right) + I_2 \left(\frac{1}{SC} + SL \right)\end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene

$$\begin{aligned}I_2 &= \frac{V(s)}{R + S^2CRL + SL} \\P(s) &= V_o(s) I_2(s) = \frac{V^2(s) SL}{(R + S^2CRL + SL)^2}\end{aligned}$$

Suponiendo $R \ll 1$ (Resistencia interna del generador)

$$P(s) = \frac{V^2(s)}{SL (SCR + 1)^2}$$

Si $s = j\omega$

$$P(j\omega) = - \frac{V^2 (\omega CR + j)}{\omega L [(\omega CR)^2 + 1]}$$

La parte real es la disipativa suponiendo inductancia ideal \therefore .

$$\text{Potencia} = \frac{V^2}{\omega L}$$

2) Frecuencia de Resonancia.

Para garantizar la máxima transmisión de energía, la frecuencia de oscilación a la que se debe trabajar corresponde a la frecuencia de resonancia de la combinación LC que está dada por

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

El valor de la inductancia deberá ser medido directamente del conjunto inductor-crisol-metal.

III.8.REFERENCIAS

1. BLUMIRCH, J.F., *Science*, **168**, p 1551-1554, 1970
2. CONTARDO L. Tesis Doctoral, INSA, Lyon Francia, 1987
3. ASM Encyclopedia, *Powder Metallurgy*, **7**, Ed. American Society for Metals, ninth edition, U.S.A., 1984.
4. HINOJOSA-TORRES J, RIOS-JARA D. y CHAMPIER G., *Microstructural Study of Centrifugally Atomized Powders of Al-Li and Al-Li-Fe Alloys*, *JIM*, **31**, Nov 17, 1989.
5. SEMIATIN, S.L., Stutz,D.E., *Induction Heat Treatment of Steel*, Carnes Publication Services Inc., A.S.M., U.S.A., 1987
6. DAVIS & DONALD, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **36**, (1978), pp 77-85.

CAPITULO IV: AVANCE EN LA CONSTRUCCION Y CONCLUSIONES

IV.1.CONSTRUCCION

IV.1.1.Descripción General y Presentación Gráfica del Equipo

A continuación se presentan ilustraciones de los elementos construidos y el ensamble de las piezas de cada sistema.

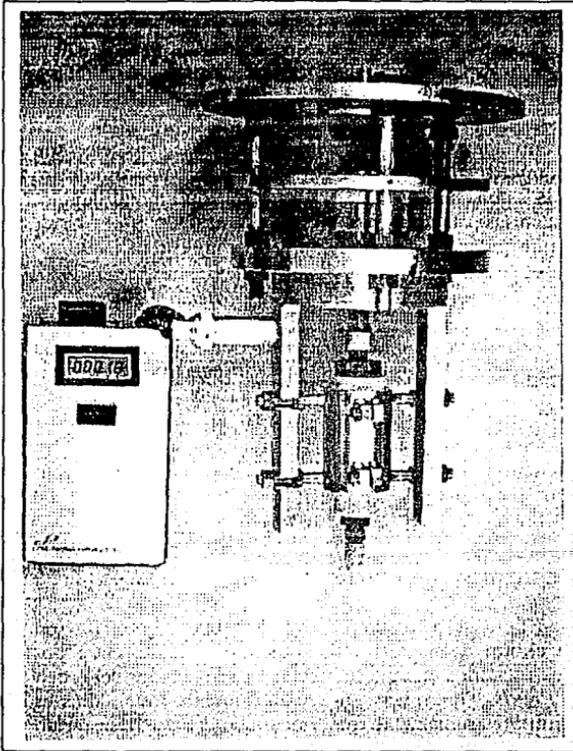


Figura 4.1:Sistema motriz exterior

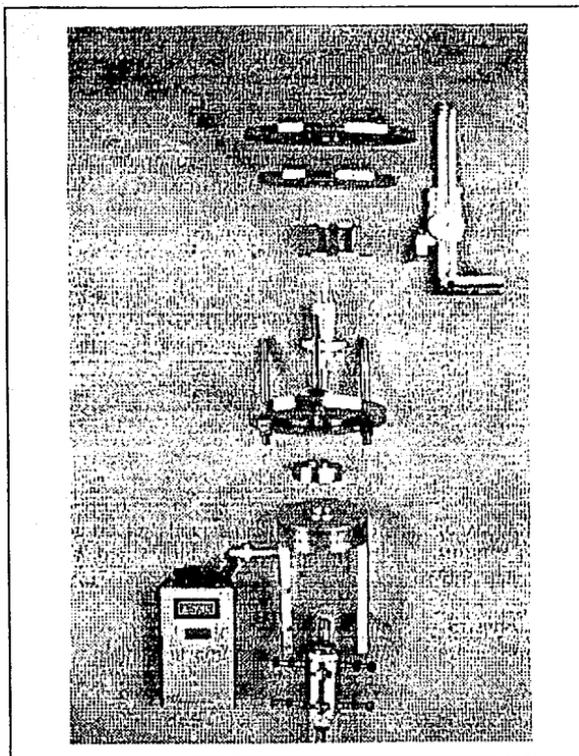


Figura 4.2: Sistema motriz exterior (despiece)

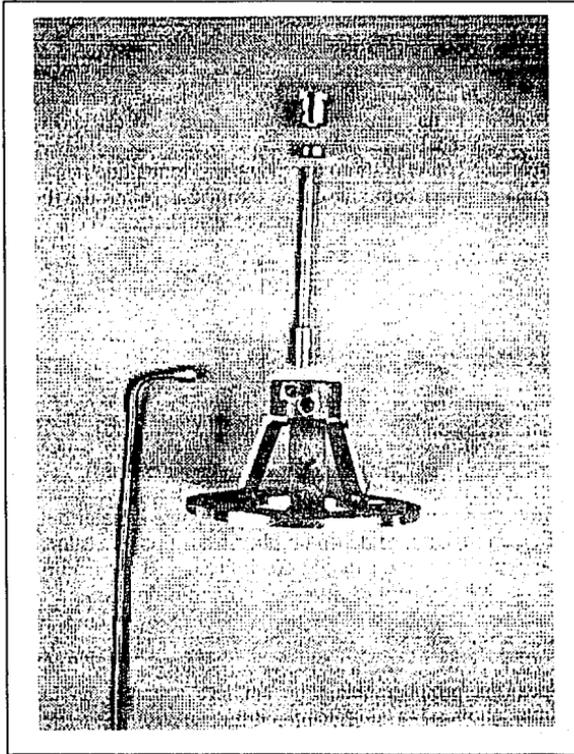


Figura 4.3: Sistema de alineación y enfriamiento del eje

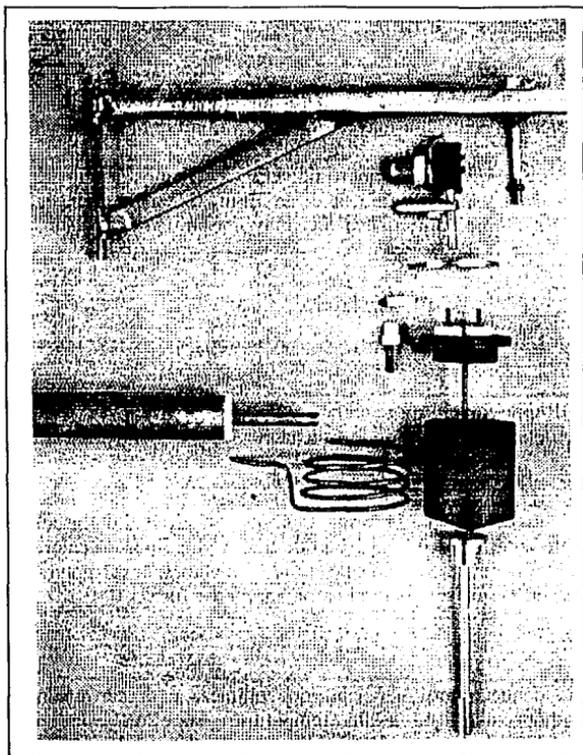


Figura 4.4: Flecha, disco, soporte del crisol e inductor

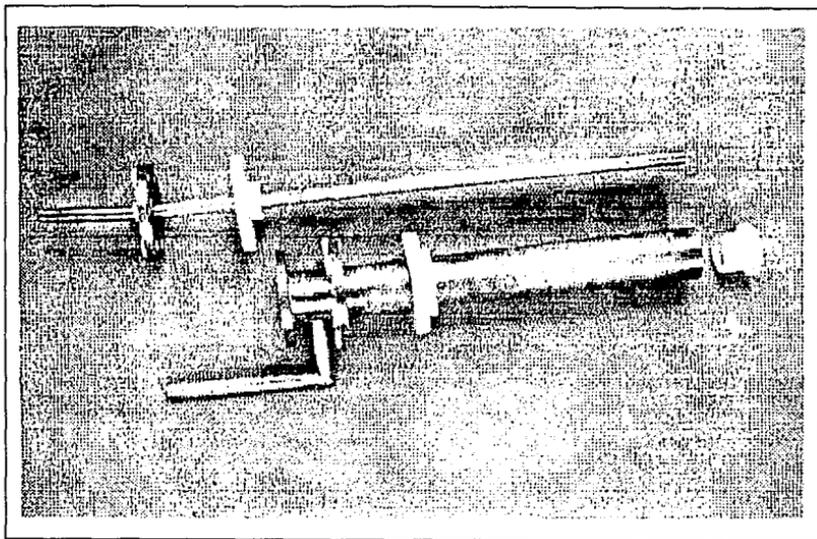


Figura 4.5:Tubería de RF

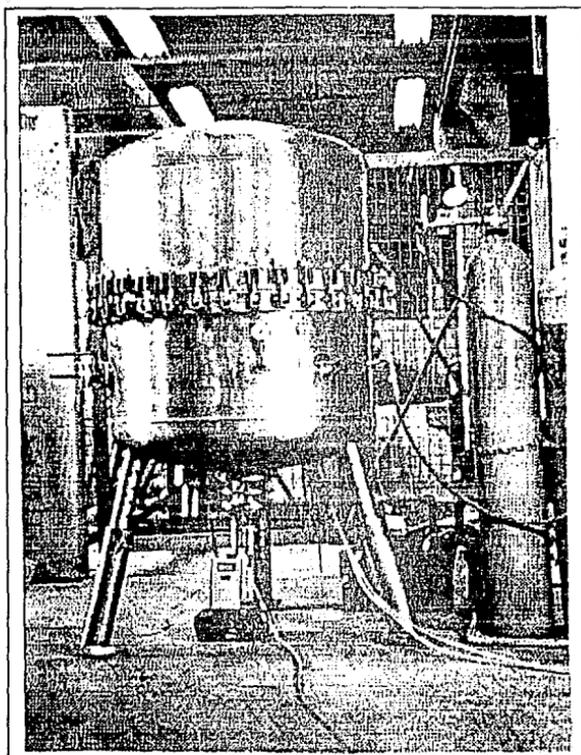


Figura 4.6: Equipo de pulverización instalado

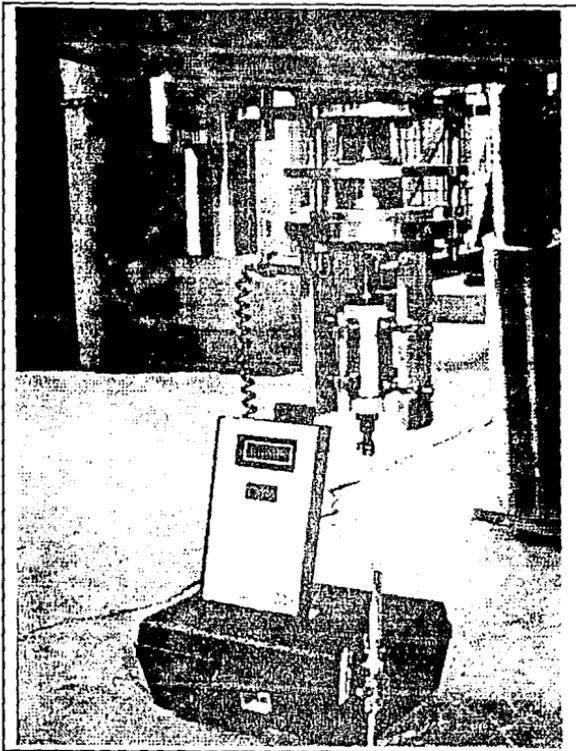


Figura 4.7: Sistema motriz exterior y sistema de recuperación del polvo

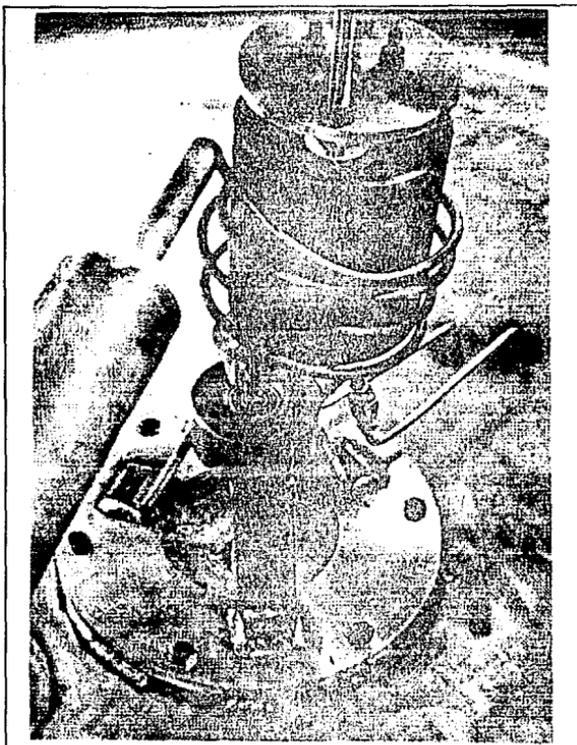


Figura 4.8: Crisol, inductor y sistema de alineación y enfriamiento

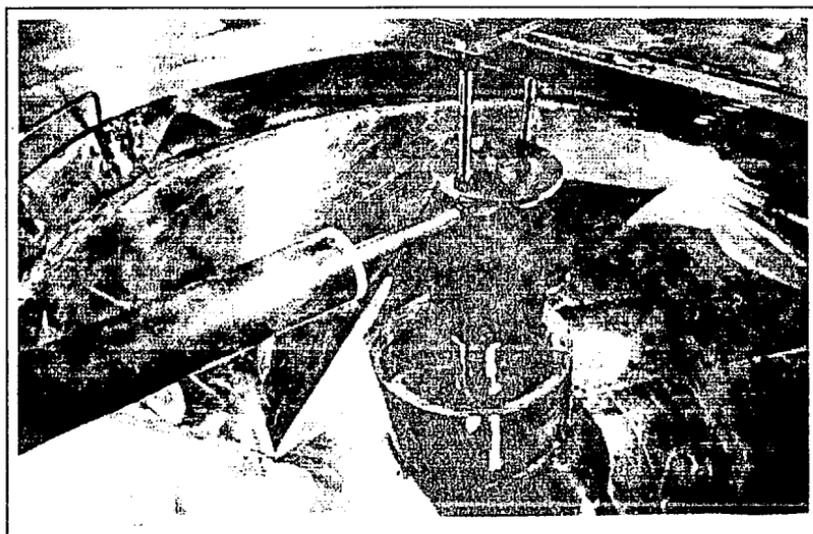


Figura 4.9: Cono invertido para recolección del polvo

IV.2. PRUEBAS PRELIMINARES

Como última parte del trabajo se presentan resultados de las pruebas que se hicieron en el laboratorio. Por razones de demora en la entrega de los equipos accesorios, no pudieron realizarse las pruebas de todas y cada una de las partes. Sin embargo, se probaron algunos mecanismos.

Estas pruebas fueron:

1. Velocidad angular máxima del sistema motriz.
2. Temperatura local máxima alcanzada por el rodamiento, con y sin enfriamiento.

Velocidad angular máxima del sistema motriz

Condiciones Iniciales:

- a) Presión del compresor a 7 bar constante, que es la presión de trabajo máxima de la turbina.
- b) Regulación de presión mediante una válvula (totalmente cerrada al inicio).
- c) Sistema motriz totalmente ajustado.
- d) Sistema de alineación y enfriamiento totalmente ajustado. Sin circulación de agua.

RESULTADOS

En los resultados que se presentan a continuación, se consideró un tiempo de prueba mayor o igual a 30 s, para cada prueba.

Bajo estas condiciones la velocidad alcanzada en función de la apertura de la válvula fue la siguiente:

Apertura de la Válvula	Velocidad Registrada [RPM]	Temperatura del Rodamiento [°C]
1/2	5,500	30
Tot. Abierta	18,000	42

Tabla 3.2. Velocidad y Temperatura del Sistema

IV.3. CONCLUSIONES

El equipo de pulverización presentado, constituye ahora un nuevo equipo de apoyo a los proyectos de investigación que requieren de la fabricación de polvos metálicos. Ahora, no se dependerá de las características que poseen los materiales que son proporcionados por un proveedor externo. Además, se podrán conocer los parámetros que intervienen en la elaboración de los polvos y tener control sobre ellos. Esto último permitirá tener ingerencia sobre las características del producto final que se elabore a partir de los polvos.

Los polvos que se desean obtener no deberán ser materiales amorfos. Sin embargo, pueden lograrse velocidades de enfriamiento características de la producción de materiales amorfos, para lo cual también está diseñado este equipo.

Las ventajas que el diseño ofrece son:

El equipo es factible de ser desarmado fácilmente para el reemplazo de piezas desgastadas o de mejoramientos posteriores de algunas de ellas. De hecho, se tiene presente que este equipo, constituye una primera etapa en el desarrollo del proyecto del cual forma parte (Aleaciones con Memoria de Forma), y que seguramente, los sistemas que lo componen deberán adaptarse a nuevos aditamentos e instrumentos que posteriormente se añadan al equipo para mejorar su funcionamiento.

Por otra parte, todas las piezas, a excepción de los elementos comerciales que se ilustran en los apéndices, se fabricaron en los talleres del Instituto de Investigaciones en Materiales (UNAM.), por técnicos del mismo y con materiales producidos y distribuidos en el país.

Del sistema motriz: se tiene un sistema que puede ser desplazado de manera sencilla para ajustar la separación entre el disco y el crisol, además de conocer con buena precisión dicho desplazamiento.

El problema de fugas en la transmisión del giro al disco es un problema que queda resuelto con el principio de funcionamiento del atravesador que asegura un sello hermético.

La turbina neumática permite regular mediante un dispositivo sencillo como lo es una válvula, la velocidad angular del sistema con una excelente precisión.

Como se mencionó anteriormente, prácticamente todas las piezas que componen a esta sección son removibles y reemplazables, de manera que prácticamente cualquier sistema generador o de desplazamiento, puede ser adaptado. Uno de ellos, por ejemplo, es el de tratar de optimizar el sistema motriz exterior ya que a pesar de que cumple perfectamente sus objetivos de funcionamiento, resulta laboriosa su instalación y ajuste.

Del sistema de alineación: la principal ventaja que ofrece este sector del equipo es el de mantener firme el eje de giro de la flecha, sin importar prácticamente el pequeño desbalanceo que pueda existir ni la velocidad de giro de las piezas móviles que lo conforman. Este problema, es un detalle importante, pues las vibraciones que pueden tenerse a las velocidades que se manejan, causarían daños considerables en el equipo.

Del sistema de soporte del crisol: Con este dispositivo, se tiene la ventaja de poder desplazar al crisol de forma vertical y horizontal sin afectar la alineación del mismo.

PROYECCION

Evidentemente este proyecto no está terminado, sino por el contrario, con el diseño y construcción del equipo se finaliza una primera etapa que da lugar a un proceso de desarrollo y experimentación que permitirá finalmente la producción de polvos de metal con las características deseadas. La automatización del equipo es una de las etapas que se contempla a futuro.

El sistema podrá ser utilizado para fines de investigación e incluso puede ser considerado como base para crear otros proyectos como el diseño de una planta piloto que consista en un sistema similar a gran escala.

El desarrollo de proyectos interdisciplinarios con aplicaciones prácticas es una manera de desarrollar nueva tecnología. El obtener mayores beneficios de esto es trabajo de futuros maestros y estudiantes.

APENDICE A

Especificaciones de Piezas e Instrumentos Comerciales (con copia de datos técnicos)

1. Tubo Flexible (1-8)
2. Atravesador (1-11)
3. Aislante de Cerámico Maquinable (2-2),(3-3)
4. Generador de Radio Frecuencia (4-3)
5. Válvula Manual (5-5)
6. Bomba de Vacío (5-7)
7. Tacómetro (6-2)
8. Pirómetro Optico (6-3)
9. Válvulas de Gas y Agua
10. Aros Sellos (O-rings)
11. Cámara de Trabajo (5-1)
12. Micrómetro (6-1)

CAJON

Flexible Tubing

321 Stainless Steel Tubing with rubber hose flexibility

PURPOSE

CAJON Flexible Tubing is the ideal replacement for rubber, plastic and glass tubing in high vacuum applications.

APPLICATIONS

Vibration absorbers • Relief for thermal expansion • Low pressure, high purity systems • Industrial & research vacuum applications • Replace expensive vacuum fittings • Adjustable-length static metal seal • Excellent as a heat transfer device • Permits connection of misaligned components.

FEATURES

The extremely flexible nature of CAJON Flexible Tubing provides compensation for misalignment, expansion and contraction in fabricated systems. CAJON Flexible Tubing is compressible by at least 20% and extendable by 50% of its nominal produced flexible length (see table of dimensions).

TECHNICAL DATA

MATERIAL—321 stainless steel.

TEMPERATURE RATING—Operating temperature ratings are dependent on application and installation methods, cycle life required, O.D. and nominal length of tubing, angular displacement and other variables. Contact factory for additional information.

PRESSURE RATING—Ultra-High Vacuum to 25 psig.

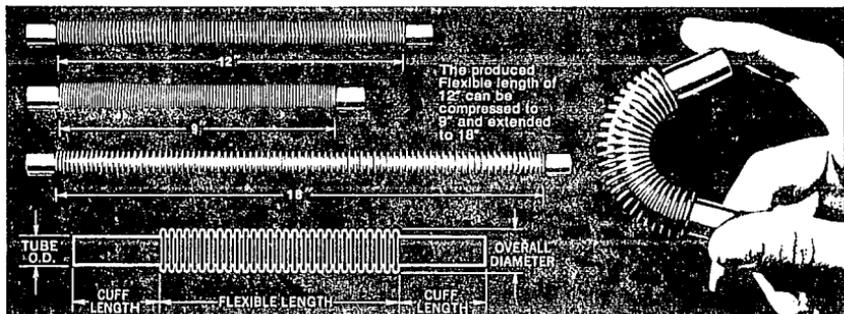
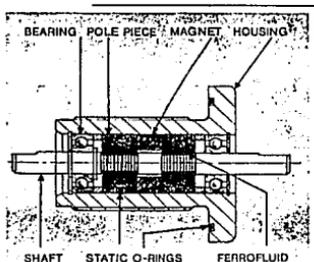


TABLE OF DIMENSIONS

Nominal Produced Tube O.D. (inches)	Flexible Length (inches)	Number of Turns	Compressed Flexible Length (inches)	Extended Flexible Length (inches)	Cuff Length (inches)	Overall Diameter (inches)	Angular* Displacement	Nominal Produced Tube O.D. (inches)	Flexible Length (inches)	Number of Turns	Compressed Flexible Length (inches)	Extended Flexible Length (inches)	Cuff Length (inches)	Overall Diameter (inches)	Angular* Displacement
1/4	2	2	1 1/2	3	1/4	1 1/4	180°	1/4	3	2	2 1/2	4 1/2	1	1 1/4	90°
1/4	4	4	3 1/4	6	1/4	1 3/4	360°	1/4	6	2	4 1/4	9	1	1 1/4	180°
1/4	6	6	4 1/4	9	1/4	1 3/4	360°	1/4	12	2	9	18	1	1 1/4	360°
1/4	12	12	9	18	1/4	1 3/4	360°	1/4	24	2	18	36	1	1 1/4	360°
1/4	24	24	18	36	1/4	1 3/4	360°	1/4	36	2	24	54	1	1 1/4	360°
3/8	1	1	3/4	1 1/2	3/8	1 1/8	90°	1	1	1	1 1/4	1 1/2	1	1 1/8	20°
3/8	3	3	2 1/4	4 1/2	3/8	1 1/8	225°	1	3	3	2 1/4	4 1/2	1	1 1/8	90°
3/8	6	6	4 1/4	9	3/8	1 1/8	360°	1	6	6	4 1/4	9	1	1 1/8	180°
3/8	12	12	9	18	3/8	1 1/8	360°	1	12	12	9	18	1	1 1/8	360°
3/8	24	24	18	36	3/8	1 1/8	360°	1	24	24	18	36	1	1 1/8	360°
1/2	1	1	3/4	1 1/2	1	1 1/4	45°	1	36	36	24	54	1	1 1/4	360°
1/2	3	3	2 1/4	4 1/2	1	1 1/4	180°	1 1/2	1	1	1 1/4	1 1/2	1	2	15°
1/2	6	6	4 1/4	9	1	1 1/4	360°	1 1/2	3	3	2 1/4	4 1/2	1	2	60°
1/2	12	12	9	18	1	1 1/4	360°	1 1/2	6	6	4 1/4	9	1	2	120°
1/2	24	24	18	36	1	1 1/4	360°	1 1/2	12	12	9	18	1	2	240°
3/4	36	36	24	54	1	1 1/4	360°	1 1/2	24	24	18	36	1	2	360°
1	1	1	3/4	1 1/2	1	1 1/4	30°	1 1/2	36	36	24	54	1	2	360°

*Angular displacements shown are based on the nominal produced flexible length. Displacements over 360° are sometimes possible depending on the actual installation. Contact factory for additional information.
Dimensions for reference only—subject to change.

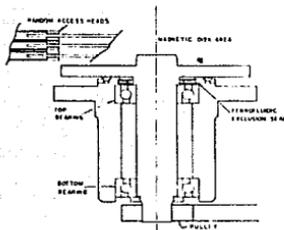
Ferrofluidic® Feedthroughs and Exclusion Seals



The most important products using the sealing principle described above are Feedthroughs and Exclusion Seals.

A typical Feedthrough configuration is shown in the picture below. Two bearings mounted on each side of the seal hold the shaft in place – concentric to the bore inside the pole pieces. Numerous "liquid O-rings" provide hermetic sealing and a high pressure capacity. Major advantages of this unique product are:

- Hermetic Sealing
- IMMEASURABLE LEAKAGE
- LONG LIFE
- High Reliability
- Non contaminating
- High Speed Capability
- Optimum Torque Transmission
- Low Power Loss
- No "Set Leakage" (Stick-slip)
- Application Proven



Since 1969 Ferrofluidics has built a variety of Feedthroughs of different types and sizes.

Customized designs for special applications are available on request.



Another example for the innovative sealing technology are the Ferrofluidic® Exclusion Seals used on Winchester disk drives. Their major purpose is to avoid the penetration of particles into the area of the discs minimizing the risk of a head crash.



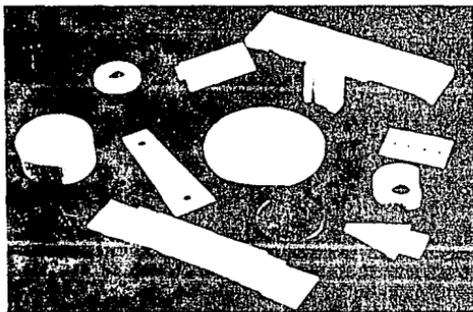
INNOVATORS OF ADVANCED TECHNICAL MATERIALS & EQUIPMENT

AREMCOLOXTM MACHINABLE CERAMICS

Aremco now offers industry five basic machinable ceramics, available in standard rods and plates which can be readily fabricated into precision parts using conventional machine shop equipment. Prototype costs can be cut dramatically and development time reduced using these easy-to-fabricate Aremcolox materials. Complete processing instructions and technical assistance are offered by Aremco engineers for all Aremcolox materials.

Aremcolox machinable ceramics offer the designer a wide range of properties with temperature limits from 750°F to 2600°F... enabling him to select the right grade for his application...

AREMCOLOX GRADE	TEMPERATURE LIMIT °F	GENERAL DESCRIPTION
502-400	750	Hard dense material, combine high strength with high dielectric properties, requires no post-cure.
502-600	1100	Dense, zero porosity, easily machined, highest dielectric properties, requires no post-cure.
502-1100	2100	Most versatile material, widest variety of standard shapes available, usable as received in unfired state to 1000°F, or easily fired after machining to harden and extend temperature limit to 2100°F.
502-1300	2200	Machinable as supplied. Offers unusual thermal shock resistance due to low thermal expansion rate... close to zero.
502-1400	2600	Machinable as supplied. Offers highest temperature resistance.



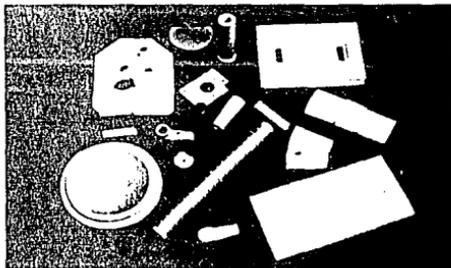
COMPONENTS

Microwave and vacuum tube insulators, substrates, transformer standoff, heating element holders, high temperature rocket components, etc.

TOOLING

High vacuum insulators, thin film pgs, semiconductor alloying boats, glass-to-metal sealing molds, furnace brazing fixtures, induction heating, soldering, spot welding and hot forming pgs, etc

See reverse for data and pricing on all Aremcolox Machinable Ceramics.



AREMCOLOX™ 502 SERIES MACHINABLE CERAMICS

AREMCO OFFERS — Aremcolox™ ceramics both as raw materials and finished parts. This group of ceramic materials will yield components which are ultra-hard and have high strength, corrosion resistance and excellent electrical properties combined with temperature resistance up to 3000°F.

RAW MATERIALS — Six basic machinable ceramics are now available in standard rods and plates which can be readily fabricated by the user with conventional machine shop equipment. Production lead times can be shortened or prototype costs reduced dramatically using these easy-to-fabricate Aremcolox™ ceramics.

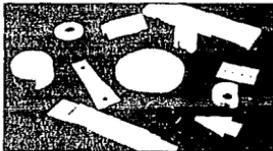
FABRICATED PARTS — Aremcolox™ machinable ceramics are also available as fabricated parts made by Aremco to your print. In addition to the six standard Aremcolox™ grades, Aremco offers parts precision manufactured in other ceramic materials such as boron-nitride, steatite, cordierite, Macor®, beryllia, mullite, zirconia, silicon carbide, and silicon nitride.

APPLICATIONS

Applications for Aremcolox™ ceramics cover a wide range of uses in industries such as instrument, aerospace, aircraft, electrical, medical and metallurgical.

COMPONENTS — Transformer standoffs, heating element holders, wear parts, instrument insulators, appliance parts, engine parts, furnace structures, microwave and vacuum tube insulators, and hot gas nozzles.

TOOLING — Semiconductor process boats, glass-to-metal sealing molds, furnace brazing fixtures, induction heating jigs, soldering fixtures, spot welding jigs and hot forming dies.



AREMCOLOX™ GRADE	GENERAL DESCRIPTION
502-400	Glass-Ceramic usable to 700°F. Excellent dielectric, high strength, zero porosity. No post curing necessary. Easily machined, threaded or tapped. Size limit 1½" maximum. Major uses: high dielectric components or plastic mold components.
502-600	Similar to 502-400 except higher temperature resistance (up to 1100°F). For large quantities, Aremco can mold parts to print.
502-1100	Alumino-Silicate Ceramic. Easy to machine in unfired state and use up to 1000°F with no firing required. After simple firing, parts are hard as carbide and usable to 2100°F. Offers the widest range of plates and rods to 12" diameter. Low CTE permits high thermal shock applications such as brazing boats, electrical appliance insulators, furnace parts, and wear components.
502-1200	Alumino-Silicate Ceramic with unique zero thermal expansion. Excellent thermal shock resistance to 2200°F. Easily machined. No post firing required. Available in diameters to 4".
502-1250	Silica-Foam Ceramic. Very low CTE. High thermal shock resistance to 2000°F. Easily cut or machined from basic block size to 4"x12"x18". Good replacement for asbestos insulation. RF fixtures, furnace links, melting troughs, hot press dies, high temperature microwave insulation.
502-1400	High Alumina Ceramic available in bisque fired rods and plates to 3" diameter. Often used for high temperature sintering boats to 2600°F. A fully fired version fabricated only by Aremco to print, suitable to 3000°F is available. Fully fired parts are impervious, high strength, high dielectric and can be metallized.

Refer to Chart Inside for Complete Data.

0102W



AREMCO PRODUCTS, INC.
P.O. BOX 429, OSSINING, NEW YORK 10562
FAX: (914) 762-1683 • PHONE: (914) 762-0685

AREMCOLOX™ 502 CERAMICS — TYPICAL PROPERTIES

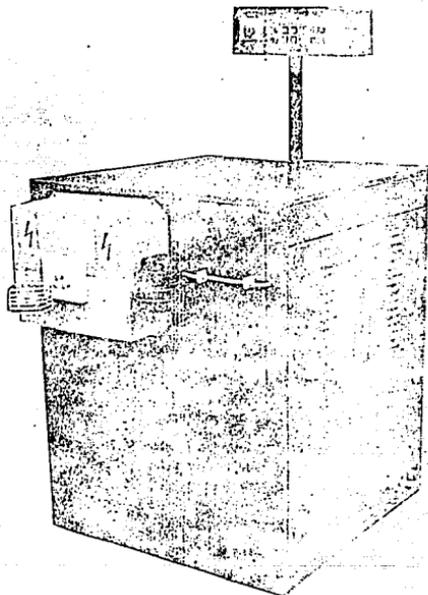
Properties	502-400	502-600	502-1100		502-1200	502-1250	502-1400	
			Unfired	Fired			Unfired	Fired
Max Operating Temperature (°F)	700	1100	1000	2100	2200	2000	2600	3000
Hardness (Mohs' Scale)	5.5	5.0	1-2	6.0	4.2	NA	1-2	9
Specific Gravity	3.0	2.8	2.4	2.3	1.6	0.79	3.0	3.9
Density (lbs/in ³)	0.11	0.10	0.098	0.083	0.068	0.029	0.10	0.134
Porosity (%)	Nil	Nil	2.6	2.3	3.4	95	25	Nil
Thermal Expansion (10 ⁻⁴ /°F)	6.0	5.2	2.5	2.9	.005	0.3	3.5	3.5
Compressive Strength (PSI)	40,000	32,000	12,000	25,000	16,000	1,400	9,000	340,000
Flexural Strength (PSI)	15,000	14,000	4,500	10,000	6,000	400	4,000	46,000
Dielectric Strength (volts/mil)	400	380	80	100	120	80	80	225
Loss factor at 1 MHz	.009	.012	.06	.053	NA	.0002	.003	.0018
Dielectric Constant at 1 MHz	6.9	6.8	5.8	5.3	NA	3.0	5.5	9.3
Thermal Conductivity [BTU • in/hr • ft ² • °f]	2.88	4.08	11.0	9.0	10.0	1.2	30	220
Recommended Companion Ceramabond® Ceramic Adhesive (Refer to Data Sheet M2)	632	632	633	633	618	618	503, 552, 569	503, 552, 569

Special Notes: Be sure to read application procedures before using Aremcolox™ ceramics. Grade 502-1100 does require firing after machining to harden the material and develop its maximum properties. Grades 502-400, 502-600, 502-1200, 502-1250 and 502-1400 can be machined as received with no further firing required. Grade 502-1400 can be fired only by Aremco in making finished parts to your print. Send prints for quotation.

- Ask for data on Aremco's high temperature ceramic adhesives used to bond Aremcolox™ ceramics.
- Refer to price lists for standard rods and plates.
- Send prints for quotation on finished parts.
- Ask for data and pricing on Aremco's Econo-Heat™ furnaces used to fire Aremcolox™ Grade 502-1100.

Line High Therm

HFG 1.5
HFG 3
HFG 6
HFG 12



Hochfrequenz-Industriegeratoren Standardbaureihe 1,5/3/6/12 kW

Bei diesen Hochfrequenz-Industrie-Generatoren handelt es sich um eine Baureihe kompakter und robuster Röhrgeneratoren im Frequenzbereich 0,5 - 3 MHz.

Sie zeichnen sich aus durch einfache Bedienung und eine zweckmäßig aufgebaute Steuerung mit allen Sicherheitsfunktionen. Der Anwendungsbereich umfaßt alle Arten der induktiven Erwärmung (Stärken, Schmelzen, Schwabeschmelzen, Löten, Schweißen, Härten). Der HF-Ausgang ist auf Wunsch mittels HF-Trafo an jeden konkreten Anwendungsfall anpassbar.

Die HF-Ausgangsleistung läßt sich stufenlos von ca. 5% bis 100% von Hand oder über ein externes Signal (0-10 V, 0-20 mA) regeln. Takttreiber von 0,5 - 1000 s über Fußschalter bzw. externes Signal.

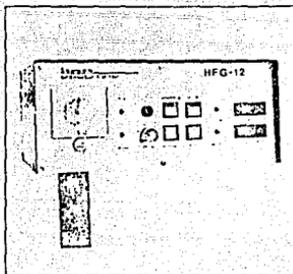
Die Konstruktion dieser HF-Generatoren läßt sich problemlos in Teilkonstruktion oder als Ersatzteil liefern. Für besondere Anwendungsstellen bieten wir Schutzgaslösungen, Spezialinduktoren und Tempera-

HF-industrial generators standard series 1,5/3/6/12 kW

With this HF-industrial generators it is concerned a series of compact and reliable tube generators with a frequency range from 0,5 - 3 MHz. They are characterized by easy handling and a functionally constructed controlsystem with all safety functions. The application range comprises all kinds of induction heating (heating, melting, ionization melting, brazing, soldering, welding, hardening).

The HF-output is stocless adjustable from ca. 5% to 100% by an external signal (0-10 V, 0-20 mA). Cycle generator from 0,5 - 1000 s by external switch or external signal. The generator can be built up and integrated without problems into automatic systems.

We deliver protective gas flushing equipment, special inductive coils, special constructions, special parts and replacement parts for special applications.



Steuerkonsole mit Mikroprozessor-Steuerung
Control panel with microprocessor control



HF-Spule für Schwebeschmelzen
HF-coil for levitation melting of pure alloys



PLAZA PEDREGAL PRINCESS
Iguala No. 2-1201
Col. Progreso Tizapan
Deleg. A. Obregón México 01090 D.F.
RES. FED. C. IFC 28966-7942 CDD, EMP, INSECO
D.O. CARACINTWA 28962
848-8828 TELEF 1764460 INSECO

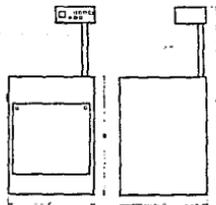


HF-Spule wassergekühlt, austauschbar
HF-coil water cooled, changeable

Technische Daten/Technical data

	A	B	C	D	kp ca.	V	kVA	HF max. kW	MHz	H ₂ O l/min.
HFG 1.5	1610	950	680	680	190	220/380	3.5	1.5	0,5-3	ca. 2
HFG 3	1610	950	680	680	220	380	5.5	3	0,5-3	ca. 4
HFG 6	1900	1100	800	800	320	380	11	6	0,5-3	ca. 8
HFG 12	1900	1100	800	800	480	380	23	12	0,5-3	ca. 16

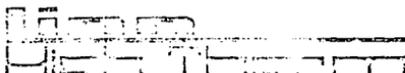
Sonder-HF-Frequenzen und andere Netzspannungen auf Wunsch
Special HF-frequencies and other main voltage on request



Überreicht durch:
Submitted by:

Technische, konstruktionsbedingte sowie dem
Fortschritt dienende Änderungen vorbehalten!

Subject to technical and constructional
changes with regard to technical progress.



Heinrich-Hertz-Platz 1, Eschenfelden
D-6489 Hirschbach 1, Federal Republic of Germany

Telefon (0 62 42) 21 00 00

miser

SERIE 400

Se automatizan con actuadores eléctricos o neumáticos fácilmente

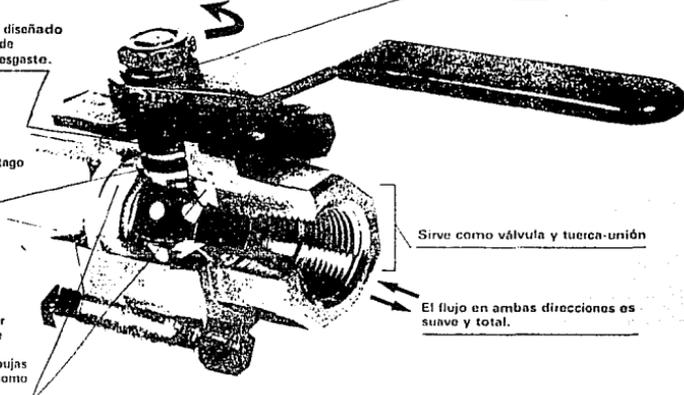
El doble sello en el vástago está diseñado para compensar las variaciones de temperatura, evitar fugas y el desgaste.

El sistema de seguridad del vástago lo protege contra su expulsión por sobrepresiones

Los asientos elásticos Worcester permiten la distribución total de la presión a través de la válvula asegurando un sellado anti-burbujas y reduciendo el desgaste y así como el esfuerzo de torque.

Abre o cierra con 1/4 de giro (90°) y el maneral identifica la posición (abierto ó cerrado)

Todas sus partes tienen sellado de alta seguridad.



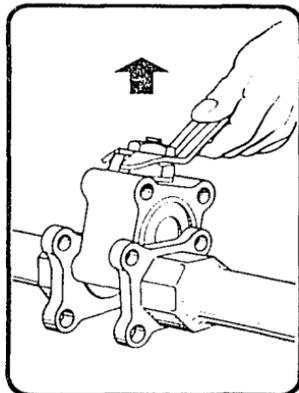
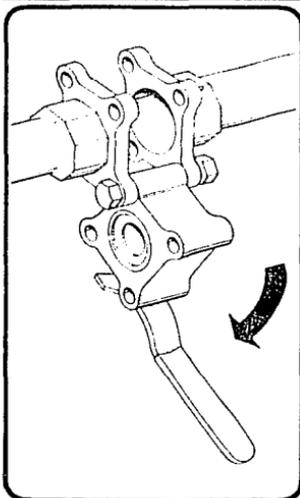
Sirve como válvula y tuerca-uni6n

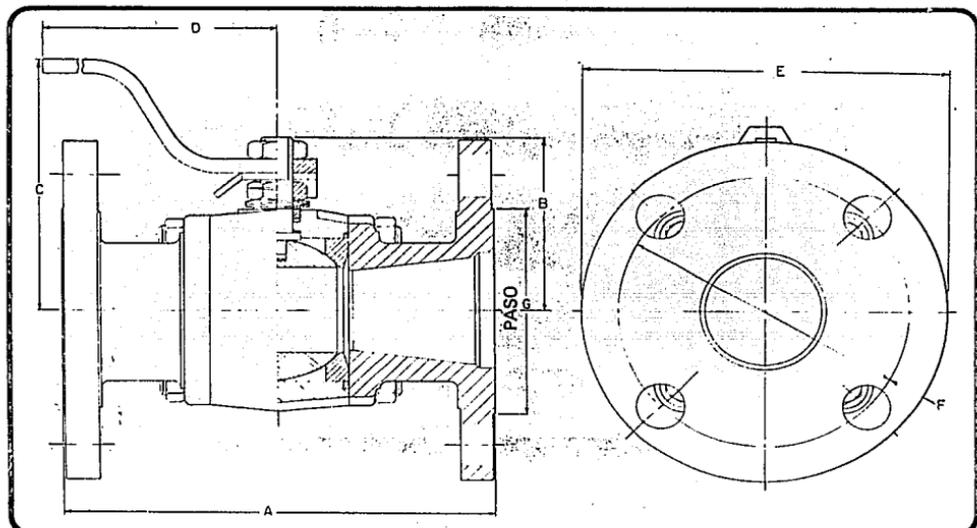
El flujo en ambas direcciones es suave y total.

MODERNO DISEÑO QUE SOLUCIONA SUS PROBLEMAS ECONOMICAMENTE

CONSTRUCCI6N DE 3-PIEZAS

Removiendo 3 tornillos sujetores, el cuerpo cae en péndulo para su rápido y sencillo mantenimiento, que facilita el intercambiar todas sus partes, lo que la transforma en la válvula más versátil al ampliar el rango de sus aplicaciones al más bajo costo, se puede utilizar una amplia variedad de conexiones, como son las roscadas, bridadas y soldables a tope o en caja y en este último caso, se evitará que, al aplicar el cord6n de soldadura, las partes interiores se fundan. En cada caso se entregará un juego adicional de sellos.





DIMENSIONES

1/2"	150 (38 10)	291 (73 91)	472 (119 89)	813 (20 65)	44 (11 18)	425 (107 95)	350 (88 90)	138 (35 05)	4	62 (15 75)	238 (60 45)
3/4"	162 (41 51)	300 (76 20)	472 (119 89)	969 (24 61)	56 (14 23)	462 (117 35)	388 (98 55)	160 (42 92)	4	62 (15 75)	275 (69 85)
1"	219 (55 63)	352 (88 90)	631 (162 81)	1250 (31 75)	81 (20 57)	500 (127 00)	425 (107 95)	200 (50 80)	4	62 (15 75)	312 (79 25)
1 1/2"	288 (73 15)	438 (111 25)	575 (146 05)	1906 (48 41)	125 (31 75)	650 (165 10)	500 (127 00)	288 (73 15)	4	62 (15 75)	388 (98 55)
2"	306 (77 72)	459 (116 59)	575 (146 05)	2218 (56 34)	150 (38 10)	700 (177 80)	600 (152 40)	362 (91 96)	4	75 (19 05)	475 (120 65)

TAMAÑO DE LA VALVULA MM.	BUNA-N TEFLON NEOPRENO			
	P.R.	CERO	P.R.	CERO
12 (1/2")	6	2	12	4
19 (3/4")	9	3	18	5
25 (1")	12	4	25	8
38 (1 1/2")	50	16	100	30
51 (2")	75	27	150	38

NOTA: La torsión de arranque puede ser tanto como 4 veces el momento torsional de operación normal, dependiendo de la longitud del tiempo entre los ciclos y el medio del sistema

TAMAÑO DE LA VALVULA MM.	CV (G.P.M.) (L.P.M.) ESTIMATIVOS	
	12 (1/2")	8
19 (3/4")	12	45
25 (1")	32	121
38 (1 1/2")	82	310
51 (2")	120	454

CV= Flujo a través de la válvula en galls. /agua /mts. (G.P.M. ó Lts. por mts. (L.P.M.) a 1 p.s.i. (0.703 K/cm²) presión

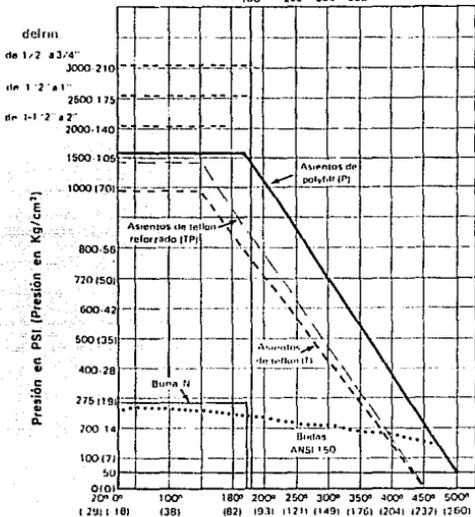
CV= g p m. $\sqrt{\frac{S.G.}{\Delta P}}$

PRESION VS TEMPERATURA

Válvulas de 1/2" a 2"
Extremidades de bronce.
Soportan hasta 1000 PSI
dependiendo del material
de los asientos.

Temperatura máxima para:

Juntas de Neoprene	Juntas de viton y teflon, asientos de T y TR.	Juntas "S" asientos de Polyfill
180°	250° 300° 350°	450° 500°
Juntas de Buna	EPR	



Nota: Asientos de teflon reforzado y Polyfill pueden ser usados hasta 1500 PSI. Algunas aplicaciones en la sede anti de los asientos pueden operar a partir de 1000 PSI. Asientos de teflon reforzado pueden ser usados en agua hasta 150 PSI. Asientos de Polyfill pueden ser usados en agua hasta 250 PSI.

CARACTERÍSTICAS DE FLUJO		
Tamaño válvula mm Pulg	Cv (GPM)	Pérdida de carga en tubería de largo equivalente (Schedule 80)
12 1/2	8	3.5
19 1/4	12	4.5
25 1	32	3.0
38 1 1/2	82	4.5
51 2	120	9.0

SERVICIO DE VAPOR

La combinación de asientos de Teflon reforzado y juntas de cuerpo de ethylene

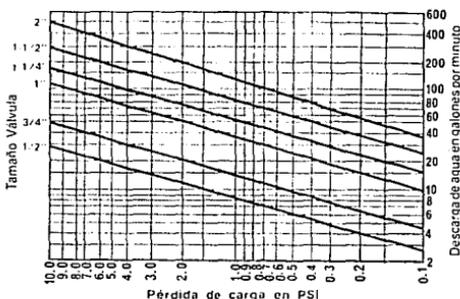
propylene (EPR), hacen de la Miser una válvula ideal para uso en vapor. Los asientos patentados con ranuras de alivio son particularmente útiles para esta difícil aplicación. Excelente resultado con vapor saturado hasta 150 psi, 10 kg/cm²

SERVICIOS APROBADOS POR
UNDERWRITER LABORATORY

U.L. No. 440 A21.13 (MAYO 26, 1967)

Aire, CO₂, hidrógeno, oxígeno (especialmente preparada), gases inertes y refri-

PERDIDA DE CARGA VS FLUJO



RESISTENCIA DE LAS JUNTAS

Tamaño válvula mm Pulg	Bronce	Acero al Carbono	Acero Inox. 316
12 1/2	6,300(441)	11,000(770)	6,800(476)
19 1/4	5,000(350)	7,500(525)	11,000(770)
25 1	4,700(329)	6,800(476)	9,000(630)
38 1 1/2	3,200(224)	5,000(350)	6,000(420)
51 2	3,000(210)	4,000(280)	4,700(329)

* Punto en que la junta del cuerpo alivia la excesiva presión interna.

TORQUE MÁXIMO

Tamaño válvula mm Pulg	Torque	
	pulg/lbs	(kg/cm)
12 1/2	30	(35)
19 1/4	45	(52)
25 1	100	(115)
38 1 1/2	300	(345)
51 2	400	(460)

El torque normal es igual a 1/3 del torque de apertura.

gerantes comunes. Máxima presión de trabajo 250 psi

U.L. No. 440 A21.21 (MAYO 10, 1967)
Válvula de cierre para gas licuado LPG.

Pag. 7

ECONOMICAL HIGH-VACUUM PUMPS

■ UL-listed, CSA-certified motors

07156-20

BELT-DRIVE VACUUM PUMPS

Belt-driven, high-vacuum pumps are designed for rapid recovery—ideal as fore-pumps and holding pumps. Feature large oil reserve to extend oil life and minimize oil changes.

Available in single- or double-stage models. Double-stage pumps feature two pump units, connected in series, which are driven from the same motor shaft—creates greater vacuums than can a single-stage pump. Double-stage pumps achieve pressures as low as 1×10^{-4} mm Hg (0.1 micron) under laboratory conditions. Maximum operating temperature 140 F (60 C).

Unique oiling system prevents oil suck-back when oil is maintained at the proper level. Order replacement vacuum pump oil separately below right. Order filters and accessories on page 1040.

Cast-iron, phenolic, and neoprene wetted parts; lip-type neoprene seals. Pumps include belt guard and oil supply. G 1/2, three-wire cord supplied with 1/2 and 3/4 hp models. All -20 models operate on 115 VAC, 60 Hz; all -22 models on 208/230 VAC, 50/60 Hz (except 07152-22 which operates on 115/230 VAC, 60 Hz.)

DIRECT-DRIVE VACUUM PUMPS

These direct-drive vacuum pumps feature a compact design and operate with little or no vibration. Ideal when compactness and portability are required.

Each unit features a built-in intake trap that catches solid foreign matter before it enters unit to prevent damage. In addition, pump castings are stress-relieved to prevent distortion at operating temperatures. Maximum operating temperature 140 F (60 C).

Use single-stage pumps for applications requiring pressures from 0.1 to 0.5 mm Hg. Use double-stage units when pressure levels of 0.2 mm Hg or less are required. Neither are recommended for moderate-pressure uses (atmospheric pressure to 740 mm Hg) on extended pumping cycles.

All -40 models are 115 VAC, 60 Hz and supplied with cord and plug. All -42 models are for 208/230 VAC, 50/60 Hz operation and supplied with cord. All models include oil supply.

SPECIFICATIONS AND ORDERING INFORMATION

High-vacuum pumps											Service kits		
Catalog number	Stage	Free-air capacity l/min	cfm	Max vacuum ¹ (mm Hg)	hp	Hose ID	NPT(F) ¹	Approx oil cap. (oz)	Dimensions L" x W" x H"	Shpg wt lbs (kg)	Price	Catalog number	Price
Belt-drive vacuum pumps													
G-07165-20	Single	45	1.60	1.0×10^{-2}	1/2	3/8"	3/8"	16	16 x 10 x 12	55 (25)	\$ 653.00	G-07165-23	\$35.50
G-07153-20											690.00		
G-07153-22	Double	45	1.60	1.0×10^{-4}	1/2	3/8"	3/8"	22	16 x 10 x 12	75 (34)	720.00	G-07153-23	41.50
G-07153-22											764.00		
G-07156-20	Double	75	2.65	1.0×10^{-4}	1/2	1/2"	1/2"	29	16 x 10 1/2 x 12	75 (34)	1100.00	G-07156-23	47.00
G-07156-22											1140.00		
G-07159-20	Double	155	5.5	1.0×10^{-4}	1/2	5/8"	3/4"	46	16 x 13 1/2 x 12	105 (48)	1250.00	G-07159-23	53.00
G-07159-22											1260.00		
G-07152-22	Double	285	10.0	1.0×10^{-4}	1/2	1 1/2"	3/4"	46	16 x 13 1/2 x 12	105 (48)	1470.00		
Direct-drive vacuum pumps													
G-07165-40	Double	42	1.5	1.0×10^{-2}	1/2	3/8"	3/8"	14	17 x 6 x 9 1/4	36 (17)	447.00	G-07165-80	23.50
G-07165-42											482.00		
G-07163-40	Double	85	3.0	1.0×10^{-2}	1/2	3/8"	3/8"	14	17 x 6 x 9 1/4	36 (17)	470.00		
G-07163-42											506.00		
G-07164-40	Double	170	6.0	1.0×10^{-2}	1/2	1/2"	1/2"	14	17 x 6 x 9 1/4	40 (18)	547.00		
G-07162-40	Single	42	1.5	2.5×10^{-2}	1/2	1/4"	1/4"	9	16 x 6 x 9 1/4	34 (16)	376.00		
G-07162-42											412.00		

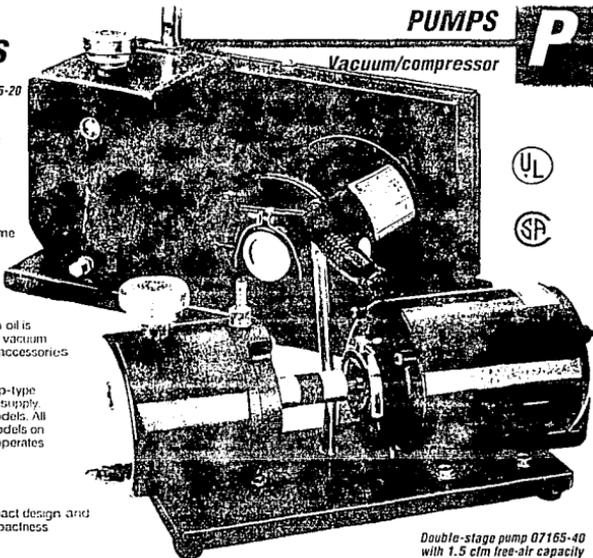
¹Maximum vacuum based on direct-connected blank-end test to trapped McLeod gauge under laboratory conditions.
*Use barb adapter is threaded into NPT(F) port and is removable.

Call us toll-free at 1-800-323-4340

PUMPS

P

Vacuum/compressor



Double-stage pump 07165-40
with 1.5 cfm free-air capacity

PUMP OIL. Use high-vacuum pump oil with rotary mechanical pumps. Oil has low vapor pressure and is free of additives for superior performance.

Catalog number	Container size	Shpg wt	Price
G-07111-10	1 quart	2 lbs (0.9 kg)	\$ 11.25
G-07111-20	1 gallon	8 lbs (3.6 kg)	29.50

SERVICE KITS for belt-driven pumps include instructions, vanes, tanks gasket, shaft seal, valves, vacuum breaker O-ring, vacuum grease. Service kits for direct-drive pumps include valves, seals, gaskets, and grease. Shipping weight for both kit types is 2 lbs (0.9 kg).

BENCHTOP OPTICAL TACHOMETERS

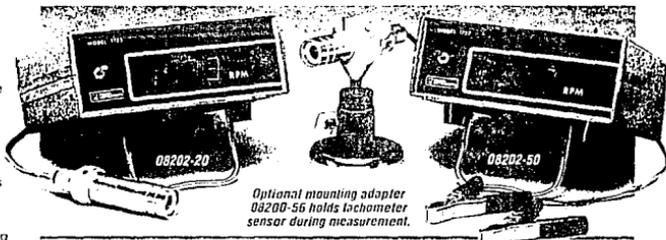
- Line-powered and battery-operated models available
- Feature 0 to 5 VDC recorder output

These benchtop optical tachometers provide easy, accurate measurements of rotating objects. Large LED display indicates speeds from 100 to 9999 rpm. Solid-state circuitry and a quartz-crystal time base maintain an accuracy of $\pm 0.01\%$, ± 1 rpm.

Remote optical sensor operates at distances up to 25'. Sensor is connected to meter via an 8 foot cable; measures 3.5" x 0.86" dia. Order optional magnetic mounting adapter 08200-56 to hold the sensor stationary during measurements.

For permanent records of your speed measurements, hook up the analog output (0-5 VDC) to a recorder. See pages 1058-1087 for our complete selection of recorders.

Select from line-powered or battery-operated models. Line-powered models have a 4 ft cord with three-prong plug. Battery-operated model comes with two battery clips on 8 ft cables, ideal for measuring shaft rotation in desiccators. All models measure 6 $\frac{3}{4}$ " x 6 $\frac{1}{2}$ " x 3 $\frac{1}{2}$ " H. Ship wt 4 lbs (1.8 kg).



Optional mounting adapter 08200-56 holds tachometer sensor stationary during measurement.

Cat. no.	Power	Price
Line-powered tachometer		
G-08200-20	115 VAC, 50/60 Hz	\$470.00
G-08200-30	230 VAC, 50/60 Hz	470.00
Battery-operated tachometer		
G-08200-50	12 VDC	535.00

G-08200-56 Optional magnetic mounting adapter. Holds benchtop tachometer remote sensor stationary during measurement. Rated at 50 lbs straight pull\$47.00

SPECIFICATIONS

Range: 100 to 9999 rpm
Resolution: 1 rpm
Accuracy: $\pm 0.01\%$, ± 1 rpm
Max measuring distance: 25'
Display: 4 digit LED $\frac{1}{2}$ " high
Display update: one second
Recorder output: 0 to 5 VDC
Power: 115 VAC, 230 VAC, or 12 VDC

COLE-PARMER® RATE AND PROCESS TIME INDICATOR/TACHOMETER

- Interchangeable sensors adapt to your application
- 0 to 5 VDC analog output for recorder hookup

This versatile microprocessor-based benchtop meter handles most linear and rotational tachometry applications, including conveyor belt and shaft speed measurement. Easily program the meter to monitor rate or process time—ideal for furnaces, spray lines, and batching procedures.

Front-panel membrane keypad lets you access all functions including memory recall of minimum, maximum, and average readings. Factory calibrated for immediate use.

To get the most out of your meter, choose sensors (below) that suit your changing applications. Each sensor provides optimal precision within its given operating range, while the meter's floating decimal maximizes resolution.

Cat. no.	Power	Price
G-08200-55	115 VAC, 50/60 Hz	\$517.00
G-08200-55	230 VAC, 50/60 Hz	517.00

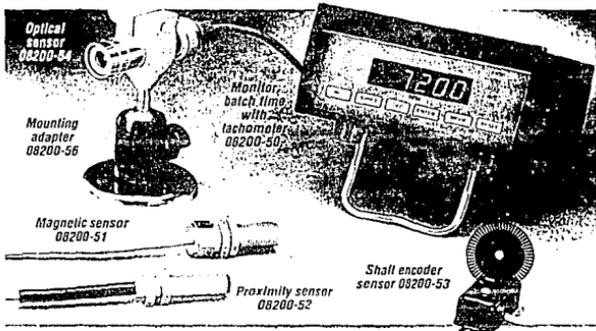
INTERCHANGEABLE SENSORS

MAGNETIC SENSOR measures gear speeds from 1 to 99,999 rpm. Recommended gap between sensor and gear is 0.005". Sensor measures 2" L x 0.62" dia. Includes 8 ft cable.

G-08200-51 Magnetic sensor\$59.00

PROXIMITY SENSOR measures gear speeds from 1 to 2000 rpm. Use with a $\frac{1}{16}$ " pitch gear. Sensor measures 2" L x 0.55" dia. Comes with 8 ft connecting cable.

G-08200-52 Proximity sensor\$94.00



NEAR FIELD PROXIMITY SENSOR incorporates infrared light to measure shaft speeds less than 1 rpm, and up to 6000 rpm. Sensor fits $\frac{1}{16}$ " ID shaft; wheel measures 1.5" dia with 0.2" dia hole. Includes 8 ft connecting cable.

G-08200-53 Shaft encoder sensor\$53.00

OPTIONAL SENSOR measures from 1 to 99,999 rpm at distances up to 12' away. Sensor measures 3.5" L x 0.87" dia. Includes 8 ft connecting cable and reflective tape. Optional magnetic mounting adapter 08200-56 holds sensor stationary during measurements.

G-08200-54 Optical sensor\$88.50

G-08200-56 Optional magnetic mounting adapter. Rated at 50 lbs straight pull.....\$47.00

SPECIFICATIONS

Range: < 1 to 99,999 rpm, depending on sensor
Resolution: 1 rpm, with autoranging decimal
Accuracy: $\pm 0.01\%$, ± 1 LSD
Max measuring distance: 12' using optical sensor 08200-54
Display: 5 digit LED, $\frac{1}{2}$ " high
Display update: one second
Recorder output: 0 to 5 VDC, 10 mA
Power: 115 or 230 VAC, 50/60 Hz
Dimensions: 6 $\frac{3}{4}$ " L x 5 $\frac{1}{2}$ " W x 2 $\frac{1}{2}$ " H
Ship wt: 3 lbs (1.4 kg)



TEMPERATURE MEASUREMENT

Infrared

NEW REMOTE INFRARED TEMPERATURE SENSORS

NEW

- Choose models with type J, type K, or 4-20 mA output
- Close-focus models available
- NEMA Type 4 sensing head

Optional NEMA enclosure protects electronics.

Sensing head has NEMA Type 4 rating.

39651-00

Temperature controller (at right) not included

Use these new remote sensors for noncontact infrared temperature measurement and control. The sensing head is compact enough to fit into tight places—measures only 3/16" x 1/8" dia! Sensing head has a NEMA Type 4 rating for moisture and dust resistance.

Choose from four types of sensors. We offer standard-focus and close-focus models—each available with the cooling jacket feature. Use the close-focus models to measure objects with diameters as small as 1/8" and as close as 2". Use the sensors with cooling jacket to take temperature measurements in areas above 185 F (85 C). Cooling jacket requires either a water flow of 0.5 GPM or an airflow of 6 cfm at 9 psf.

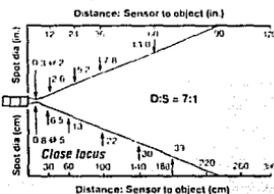
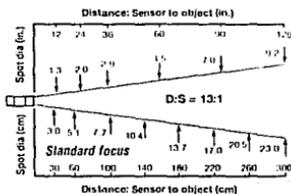
Sensors consist of a sensing head with mounting bracket; an electronic circuit board; and a 15 ft. quick disconnect cable. For applications requiring a longer cable length, order one of the optional 50 ft cables below right.

Use the optional NEMA Type 12 enclosure to protect the electronic circuit board from dust and dripping noncorrosive liquids. Use the optional NEMA Type 4 enclosure to protect the electronic circuit board from dust and splashing or hose-directed water.

Order the optional air purge collar (at right) to protect the sensing head lens from dust, smoke, fumes, and other contaminants. When used with cooling jacketed sensors, the air purge collar also protects the lens from condensation.

NOTE: To display temperature readings, you must use these sensors with a temperature controller or indicator having a digital display—see the "Temperature Control" section on pages 1304-1325. For sensors with a type J or K output, select a standard thermocouple temperature controller or indicator. For sensors with a 4-20 mA output, choose a temperature controller or indicator with a 0-20 or 4-20 mA input.

Cat. no.	Output	Description	Price
G-39651-00	Type J	Standard focus	\$ 647.00
G-39651-02	Type J	Close focus	705.00
G-39651-04	Type J	Standard focus with cooling jacket	852.00
G-39651-06	Type J	Close focus with cooling jacket	911.00
G-39651-10	Type K	Standard focus	647.00
G-39651-12	Type K	Close focus	705.00
G-39651-14	Type K	Standard focus with cooling jacket	852.00
G-39651-16	Type K	Close focus with cooling jacket	911.00
G-39651-20	4 to 20 mA	Standard focus	770.00
G-39651-22	4 to 20 mA	Close focus	835.00
G-39651-24	4 to 20 mA	Standard focus with cooling jacket	976.00
G-39651-26	4 to 20 mA	Close focus with cooling jacket	1040.00



SPECIAL FEATURES

- Type J and type K thermocouple models: 0 to 1000 F (-18 to 538 C)
- 4 to 20 mA models: 0 to 1000 F (0 to 500 C)
- Accuracy: ±1% of reading or (2.5 F / ±1.4 C), whichever is greater
- Resolution: 0.5% of reading, 1 digit
- Response time: 8 to 14 microseconds
- Response time to 100%: 0.4 second
- Beam diameter: 3/16" dia
- Beam diameter to 100%: 13:1 for standard-focus models; 7:1 for close-focus models
- Temperature adjustable from 0 to 0.99
- Power: 9 to 24 VDC, 50 mA, or 115 VAC, 50/60 Hz, 100 mA with optional power adapter
- Sensing head: 3/16" x 1/8" dia
- Electronic circuit board: 5/16" x 3/8" W
- Weight: 1 lb (0.5 kg)

OPTIONAL ACCESSORIES

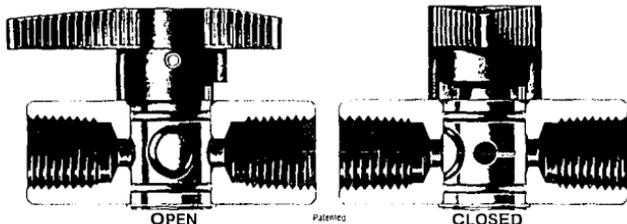
- G-39651-60 Optional NEMA Type 12 enclosure protects electronics, IP52 rating. Measures 6" L x 4" W x 2 1/4" H.....\$59.00
- G-39651-61 Optional NEMA Type 4 enclosure protects electronics, IP66 rating. Measures 6" L x 4" W x 4 1/2" H.....\$116.00
- G-39651-70 Optional air purge collar protects lens from dust and condensation. Ideal for sensors with cooling jacket.....\$100.00
- G-39651-80 Optional conduit adapter for 1/2" NPT conduit.....\$76.50
- G-39651-50 Optional 50 ft quick disconnect cable. For sensors without cooling jacket.....\$29.50
- G-39651-51 Optional 50 ft quick disconnect cable. For sensors with cooling jacket.....\$59.00
- G-10450-50 Optional power adapter for 115 VAC operation.....\$19.50

P4T & P6T SERIES PLUG VALVES

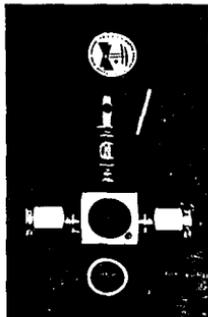
1/4 Turn, fast acting operation

PURPOSE

NUPRO Plug Valves provide the ultimate design simplicity in a compact quick-acting, high capacity valve. One quarter turn of the handle actuates the valve from fully open to fully closed. Flow throttling is possible in interim positions. In addition, NUPRO Plug Valves cover a wide pressure and temperature range.

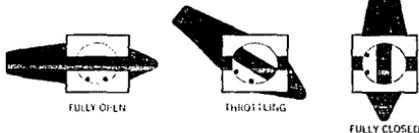


DESIGN



Only three major components (body, plug and handle), and three O-Ring seals make up the entire package. TFE coating acts as a lubricating interface between the plug and body bore. Very low torque is required, even at the maximum pressure rating. Valve actuator threads are unnecessary in this design, assuring simplicity and reliability. System pressure acts on equal body seal areas, preventing unbalanced plug load and promoting safety. As the valve is actuated a bleed groove in the plug vents any trapped pressurized fluids from the plug orifice to the downstream port.

OPERATION



APPLICATIONS

- Energy conservation — leak-tight closure
- Plant maintenance use on all compatible fluids
- Laboratories • Instrumentation
- Hydraulic and pneumatic systems
- Chemical and petrochemical plants
- Pulp and paper equipment such as tube lines
- Moderate vacuum systems • Air lines
- Bleed and drain valves • Test equipment
- High pressure systems • O. E. M.
- Temperature cycling • All research facilities
- Pollution control equipment
- Sampling • Corrosives

SPECIAL FEATURES

- One quarter turn, fast acting operation
- Large orifice and straight through flow for minimum pressure drop
- Temperatures from -10°F to 400°F (-23°C to 204°C)
- Pressures to 3000 PSI (20,600 kPa)
- Extremely low torque operation
- Throttling capability
- Compact, attractive appearance
- TFE coated plugs are color coded to prevent mixing of materials
- Long cycle life
- Moderate vacuum service
- Positive shut-off; no leaks to atmosphere
- High reliability due to simple design
- Pressure balanced seals for safety
- Ease of maintenance — plug replacement subassembly minimizes system downtime
- Roddable for easy cleaning
- Uni-body construction provides safety
- Color coded, flow directional handles
- Heavy duty roll pin secures the handle for dependable performance
- Stem packing adjustment not required
- 100% factory tested
- Available with SWAGELOK Tube Fitting, male and female pipe end connections in brass and 316 stainless steel

MATERIALS

BODY* — Brass or 316 stainless steel
PLUG* — Same as body — TFE coated
HANDLE† — Solid phenolic-green is standard; available in optional colors of red, blue and black

O-RINGS — TFE coated Viton is standard; optional materials available

PINS and SNAP RING — 316 stainless steel
ALL OTHER PARTS — Same material as body

*Body and Plug available in Carbon Steel, Monel, Hastelloy C, Carpenter 20, Inconel and Titanium on special order.
†“P4T” series only

†All metal handle available on request.

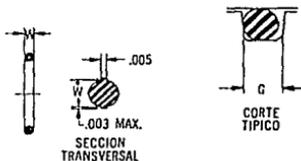
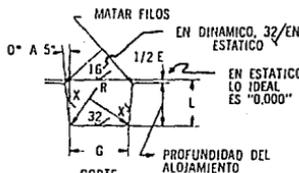
COMPUESTOS PARKER - CARACTERISTICAS Y RECOMENDACIONES

Designación ASTM D2000-70b SAE J200	Compuesto Parker No.	Polímero Básico	Resistencia a la Temperatura en Servicio Continuo	Dureza Shore "A"	Aplicación y uso Recomendado y Especificación que Cubre Direct.
3CH715 A25 B14 E16 E36	N 3000-7 M	NITRILO (BUNA "N")	-40°F a +250°F -40°C a +121°C	70	Aceites minerales, fluidos hidráulicos, gasolinas y aire. SAE J120 II, clase I, clasificación lista U.L.
7HG915 B14 E14 E4 E51 E41 E14	N 3006-9 M	NITRILO (BUNA "N")	-30°F a +250°F -34°C a +121°C	90	Aceites minerales, fluidos hidráulicos, gasolinas y aire. Gran resistencia a la extrusión.
7BG820 E14 E34 E51 E61 F16 L14 Z1 Z2	N 3009-8 M	NITRILO (BUNA "N")	-20°F a +225°F -29°C a +107°C	80	Para sellos rotatorios, Dinámicos de alta velocidad acción intermitente. Gran resistencia a la fricción.
5BC715 A14 B14 E14 E34	C 3002-7	CLOROPRENO (NEOPRENO*)	-65°F a +300°F -54°C a +149°C	70	Frío 12, Agua, Agua salada, aplicaciones Industriales en general. AMS 3209.
2AA815 A13 F17 L14	E 3003-8	ETILENO PROPILENO	-65°F a +300°F -54°C a +149°C	80	Silicón, Celulosa y otros aceites fosforados, vapor, agua, aire, aceites diluidos y alcalis.
7GE707 B37 E16 E34 F19	S 3018-7	SILICON	-80°F a +450°F -62°C a +232°C	70	Aire y Gases, aplicación estática únicamente. AMS 3304.
2HK715 A110 B37 E71 E88 F15 Z1	V 3022-75	FLUORO-ELASTOMERO (VITON*)	-20°F a +400°F -29°C a +204°C	70	Aceites de muy alta temperatura, Solventes Aromáticos y Servicio Químico. AMS 7276.
3HK915 A110 B37 E71 E88 F15	V 3027-9	FLUORO-ELASTOMERO (VITON*)	-20°F a +400°F -29°C a +204°C	90	Aceites de muy alta temperatura, Solventes Aromáticos y Servicio Químico. AMS 7279.

* MARCA REGISTRADA DE DU-PONT, S.A.

TABLA PARA DISEÑO DE ALOJAMIENTOS ESTATICOS Y DINAMICOS (PULGADAS)

No. PARA EL ARO	DIAMETRO (W) DE LA SECCION TRANSVERSAL O EXTIENDE	PERFUNDIDAD DEL ALOJAMIENTO		APLASTAMIENTO		CLASO DIAMETRAL	ANCHO DEL ALOJAMIENTO		BOLSO DEL ALOJAMIENTO	
		NOMINAL	REAL	REAL	%		±	±		
ESTATICO	2-014 A1. 2-010	1/16	0.070	0.050	0.015	22	0.002	0.093	0.005	
			±.003	A	A	32	0.005	0.038	0.015	
	2-110 A1. 2-178	3/32	0.103	0.081	0.017	17	0.002	0.140	0.005	
			±.003	A	A	24	0.005	0.145	0.015	
	2-210 A1. 2-284	1/8	0.139	0.111	0.022	16	0.003	0.187	0.010	
			±.004	A	A	23	0.006	0.192	0.025	
	2-325 A1. 2-395	3/16	0.210	0.170	0.032	15	0.003	0.281	0.020	
			±.005	A	A	21	0.006	0.286	0.035	
	2-425 A1. 2-475	1/4	0.275	0.226	0.049	15	0.004	0.375	0.020	
			±.006	A	A	20	0.007	0.380	0.035	
	DINAMICO	2-086 A1. 2-012	1/16	0.070	0.055	0.010	15	0.002	0.093	0.005
				±.003	A	A	25	0.005	0.038	0.015
2-110 A1. 2-116		3/32	0.103	0.088	0.010	19	0.002	0.140	0.005	
			±.003	A	A	17	0.005	0.145	0.015	
2-210 A1. 2-222		1/8	0.139	0.121	0.012	9	0.003	0.187	0.010	
			±.004	A	A	16	0.006	0.192	0.025	
2-325 A1. 2-349		3/16	0.210	0.185	0.017	8	0.003	0.281	0.020	
			±.005	A	A	14	0.005	0.286	0.035	
2-425 A1. 2-460		1/4	0.275	0.237	0.029	11	0.004	0.375	0.020	
			±.006	A	A	16	0.007	0.380	0.035	



(a) En estático este claro debe conservarse al mínimo para evitar fallas por CAMBIO DE TEMPERATURA, igual en dinámico pero en este último para evitar fallas por EXTRUSION.
 (b) La lectura total entre el alojamiento y la superficie de contacto adyacente.
 (c) Reducir el claro diametral máximo en un 50% cuando se use un ArOsclo de Silicón.

CATALOGO P S M-2
AGOSTO 1979

Parker SEAL DE MEXICO. S. A.

FABRICA Y OFICINAS: Río Lerma 221, Tlalpanpantla, Edo. de México
 (Fracc. Industrial San Nicolás) Tel. 565-36-22

NÚMERO PARKER	0.210 ± 0.005 PULG.				
	5.33 ± 0.13 M.M.				
	EXACTAS NOMINALES (PULGADAS)				
	D.I.	D.E.	D.I.	D.E.	W

NÚMERO PARKER	0.275 ± 0.008 PULG.				
	6.99 ± 0.15 M.M.				
	EXACTAS NOMINALES (PULGADAS)				
	D.I.	D.E.	D.I.	D.E.	W

NÚMERO PARKER	PARA CONEXIONES DE ROSCA RECTA			
	PULGADAS		MILIMETROS	
	D.I.	W	D.I.	W

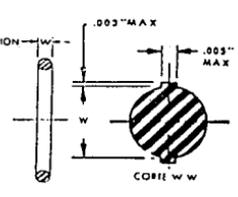
3-309	.412	10 48	7/16	13/16	3/16
3-310	.475	12 07	1/2	7/8	3/16
3-311	.537	13 64	9/16	15/16	3/16
3-312	.600	15 24	5/8	1 1/16	3/16
3-313	.663	16 81	1 1/8	1 1/8	3/16
3-314	.725	18 42	3/4	1 1/8	3/16
3-315	.787	19 99	13/16	1 3/16	3/16
3-316	.850	21 58	7/8	1 3/16	3/16
3-317	.912	23 17	1 1/8	1 3/16	3/16
3-318	.975	24 77	1 1/2	1 3/16	3/16
3-319	1.037	26 34	1 1/2	1 7/16	3/16
3-320	1.100	28 94	1 1/2	1 7/16	3/16
3-321	1.162	29 51	3/16	1 9/16	3/16
3-322	1.225	31 12	1 1/4	1 9/16	3/16
3-323	1.287	32 69	1 1/4	1 9/16	3/16
3-324	1.350	34 29	1 3/8	1 3/4	3/16
3-325	1.475	37 47	1 1/2	1 7/8	3/16
3-326	1.600	40 14	1 5/8	2 3/16	3/16
3-327	1.725	43 85	1 3/4	2 1/8	3/16
3-328	1.850	46 59	1 7/8	2 1/4	3/16
3-329	1.975	50 17	2 1/8	2 3/8	3/16
3-330	2.100	53 34	2 1/8	2 3/8	3/16
3-331	2.225	56 55	2 1/4	2 3/8	3/16
3-332	2.350	59 88	2 3/8	2 3/4	3/16
3-333	2.475	62 87	1 1/2	2 7/8	3/16
3-334	2.600	66 04	2 5/8	3 1/16	3/16
3-335	2.725	69 22	2 3/4	3 1/8	3/16
3-336	2.850	72 39	2 7/8	3 1/4	3/16
3-337	2.975	75 57	3 1/4	3 1/8	3/16
3-338	3.100	78 74	3 1/8	3 1/2	3/16
3-339	3.225	81 92	3 1/4	3 1/2	3/16
3-340	3.350	85 09	3 3/8	3 5/8	3/16
3-341	3.475	88 27	3 3/8	3 5/8	3/16
3-342	3.600	91 44	3 5/8	4 1/8	3/16
3-343	3.725	94 62	4 1/8	4 1/8	3/16
3-344	3.850	97 79	3 7/8	4 1/4	3/16
3-345	3.975	100 97	4 3/8	3/16	3/16
3-346	4.100	104 14	4 1/8	4 1/2	3/16
3-347	4.225	107 32	4 1/4	4 3/8	3/16
3-348	4.350	110 49	4 3/8	4 3/4	3/16
3-349	4.475	113 67	1 1/2	4 7/8	3/16
3-350	4.600	116 84	4 5/8	5 3/16	3/16
3-351	4.725	120 02	4 3/4	5 3/16	3/16
3-352	4.850	123 19	4 7/8	5 1/4	3/16
3-353	4.975	126 37	5 1/8	5 3/8	3/16
3-354	5.100	129 54	5 1/8	5 1/2	3/16
3-355	5.225	132 72	5 1/4	5 3/8	3/16
3-356	5.350	135 89	5 3/8	5 3/4	3/16
3-357	5.475	139 07	5 1/2	5 7/8	3/16
3-358	5.600	142 24	5 5/8	6 3/16	3/16
3-359	5.725	145 42	5 3/4	6 1/8	3/16
3-360	5.850	148 59	5 7/8	6 1/4	3/16
3-361	5.975	151 77	6 3/8	6 3/8	3/16
3-362	6.100	154 94	6 1/4	6 5/8	3/16
3-363	6.225	158 12	6 1/2	6 7/8	3/16
3-364	6.350	161 29	6 3/4	7 1/8	3/16
3-365	6.475	164 47	7 1/8	7 3/8	3/16
3-366	6.600	167 64	7 1/4	7 3/8	3/16
3-367	6.725	170 82	7 1/4	7 7/8	3/16
3-368	6.850	173 99	7 3/4	8 1/8	3/16
3-369	6.975	177 17	8 1/8	8 1/8	3/16
3-370	7.100	180 34	8 1/4	8 3/8	3/16
3-371	7.225	183 52	8 1/2	8 3/8	3/16
3-372	7.350	186 69	8 3/4	8 7/8	3/16
3-373	7.475	189 87	9 1/4	9 3/8	3/16
3-374	7.600	193 04	9 1/4	9 3/8	3/16
3-375	7.725	196 22	9 1/2	9 7/8	3/16
3-376	7.850	199 39	10 1/4	10 1/8	3/16
3-377	7.975	202 57	10 1/4	10 3/8	3/16
3-378	8.100	205 74	10 1/2	10 7/8	3/16
3-379	8.225	208 92	11 1/4	11 3/8	3/16
3-380	8.350	212 09	11 1/4	11 7/8	3/16
3-381	8.475	215 27	12 1/8	12 3/8	3/16
3-382	8.600	218 44	12 1/8	12 3/8	3/16
3-383	8.725	221 62	12 1/4	12 7/8	3/16
3-384	8.850	224 79	13 1/8	13 3/8	3/16
3-385	8.975	228 00	13 1/8	13 3/8	3/16
3-386	9.100	231 17	13 1/2	13 7/8	3/16
3-387	9.225	234 34	14 1/8	14 3/8	3/16
3-388	9.350	237 52	14 1/8	14 3/8	3/16
3-389	9.475	240 69	14 1/4	14 7/8	3/16
3-390	9.600	243 87	15 1/8	15 3/8	3/16
3-391	9.725	247 04	15 1/8	15 3/8	3/16
3-392	9.850	250 22	15 1/4	15 7/8	3/16
3-393	9.975	253 39	16 1/8	16 3/8	3/16
3-394	10.100	256 57	16 1/4	16 3/8	3/16
3-395	10.225	259 74	16 1/2	16 7/8	3/16

2-425	4.475	113.67	4 1/2	5	1/4
2-426	4.600	116.84	4 5/8	5 1/8	1/4
2-427	4.725	120.02	4 3/4	5 1/4	1/4
2-428	4.850	123.19	4 7/8	5 3/8	1/4
2-429	4.975	126.37	5	5 1/2	1/4
2-430	5.100	129.54	5 1/8	5 5/8	1/4
2-431	5.225	132.72	5 1/4	5 3/4	1/4
2-432	5.350	135.89	5 3/8	5 7/8	1/4
2-433	5.475	139.07	5 1/2	6	1/4
2-434	5.600	142.24	5 5/8	6 1/8	1/4
2-435	5.725	145.42	5 3/4	6 1/4	1/4
2-436	5.850	148.59	5 7/8	6 3/8	1/4
2-437	5.975	151.77	6	6 1/2	1/4
2-438	6.100	154.94	6 1/4	6 3/4	1/4
2-439	6.225	158.12	6 1/2	7	1/4
2-440	6.350	161.29	6 3/4	7 1/4	1/4
2-441	6.475	164.47	7	7 1/4	1/4
2-442	6.600	167.64	7 1/8	7 3/4	1/4
2-443	6.725	170.82	7 1/8	7 3/4	1/4
2-444	6.850	173.99	7 1/4	7 3/4	1/4
2-445	6.975	177.17	7 1/4	7 3/4	1/4
2-446	7.100	180.34	7 3/8	8 1/4	1/4
2-447	7.225	183.52	7 3/8	8 1/4	1/4
2-448	7.350	186.69	7 3/4	8 1/4	1/4
2-449	7.475	189.87	7 1/2	8	1/4
2-450	7.600	193.04	8	8 1/4	1/4
2-451	7.725	196.22	8 1/8	8 1/2	1/4
2-452	7.850	199.39	8 1/8	8 1/2	1/4
2-453	7.975	202.57	8 1/2	8 1/2	1/4
2-454	8.100	205.74	8 1/2	8 1/2	1/4
2-455	8.225	208.92	8 1/2	8 1/2	1/4
2-456	8.350	212.09	8 1/2	8 1/2	1/4
2-457	8.475	215.27	8 1/2	8 1/2	1/4
2-458	8.600	218.44	8 1/2	8 1/2	1/4
2-459	8.725	221.62	8 1/2	8 1/2	1/4
2-460	8.850	224.79	8 1/2	8 1/2	1/4
2-461	8.975	227.97	8 1/2	8 1/2	1/4
2-462	9.100	231.14	8 1/2	8 1/2	1/4
2-463	9.225	234.32	8 1/2	8 1/2	1/4
2-464	9.350	237.49	8 1/2	8 1/2	1/4
2-465	9.475	240.67	8 1/2	8 1/2	1/4
2-466	9.600	243.84	8 1/2	8 1/2	1/4
2-467	9.725	247.02	8 1/2	8 1/2	1/4
2-468	9.850	250.19	8 1/2	8 1/2	1/4
2-469	9.975	253.37	20	20 1/2	1/4
2-470	10.100	256.54	21	21 1/2	1/4
2-471	10.225	259.72	22	22 1/2	1/4
2-472	10.350	262.89	23	23 1/2	1/4
2-473	10.475	266.07	24	24 1/2	1/4
2-474	10.600	269.24	25	25 1/2	1/4
2-475	10.725	272.42	26	26 1/2	1/4

3-901	0.185	0.036	4.70	1.42
3-902	0.239	0.064	6.07	1.62
3-903	0.301	0.064	7.65	1.62
3-904	0.351	0.072	8.92	1.83
3-905	0.414	0.072	10.52	1.83
3-906	0.458	0.078	11.80	1.98
3-907	0.530	0.082	13.46	2.08
3-908	0.608	0.082	15.36	2.24
3-909	0.706	0.097	17.93	2.46
3-910	0.795	0.097	19.18	2.46
3-911	0.863	0.116	21.92	2.95
3-912	0.924	0.116	23.47	2.95
3-913	0.986	0.116	25.04	2.95
3-914	1.047	0.116	26.58	2.95
3-915	1.171	0.116	29.74	2.95
3-916	1.355	0.116	34.42	2.95
3-917	1.475	0.118	37.47	3.00
3-918	1.720	0.118	43.08	3.00
3-919	2.090	0.118	53.09	3.00
3-920	2.337	0.118	59.26	3.00

NOTA: Al determinar el D. E. del tubo o manguera a corresponde de la conexión, nos da directamente el tamaño de arOsellos a utilizar. La serie 3-completo, se suate siempre en dureza 90 y con el N3000-9

*Diámetro exterior del tubo manguera.



Los arOsellos (O-rings) son medidos por su sección o grueso (W) y su diámetro interior (D. I.).

Julio 2, 1990.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Instituto de Investigación de Materiales
Ciudad Universitaria.

Atención Dr. Jaime Hinojosa.

Ref: 1-4401

Estimados Señores:

De acuerdo a conversaciones previas con su apreciable Ing. Jorge López, -
tenemos el gusto de someter a su amable consideración nuestra oferta por-
el siguiente equipo:

Tipo de Equipo: Tanque cilíndrico vertical con tapas abombadas -
tipo torresféricas, con unión bridada a la mitad
del mismo.

Dimensiones: Diámetro 0.95 m.
Altura: 1.00 m. a líneas de tangencia.

Materiales de Fabricación:

Envolvente y tapas - Acero Inoxidable SA-240-T-316
Bridas unión - Acero Inoxidable SA-240-T-304
* Tornillería: - Acero Inoxidable tipo 304.

No se considera el suministro de boquillas y soportes.
(*) Tornillos tipo "t" abatibles o similares.

Precio de venta del equipo descrito:

\$ 16'395,600.00 M.N. Más 15% I.V.A.

Tomando en consideración que este equipo es para fines educativos y de inves-
tigación, Pfaueler, S.A., propone que ustedes cubran únicamente el costo de
materiales, absorbiendo P.S.A. el costo de mano de obra y utilidad correspon-
diente, condicionado a que se nos permita realizar cierto tipo de promoción-
para nuestra compañía.

Costo de materiales a ser cubierto por la U.N.A.M.

\$ 7'695,000.00 M.N. más 15% I.V.A.

o en su defecto suministro del total de materiales por ustedes, según lista-
proporcionada por P.S.A.

Tiempo de Entrega: 8-10 Semanas.

Pfaueler, S.A. de C.V.

Encarnación Ortiz No 1860. Antes Av de las Torres. Mexico. D F 02670 * 355-0100 Tele* 0001772601

■ 各部の名称 / Nomenclature

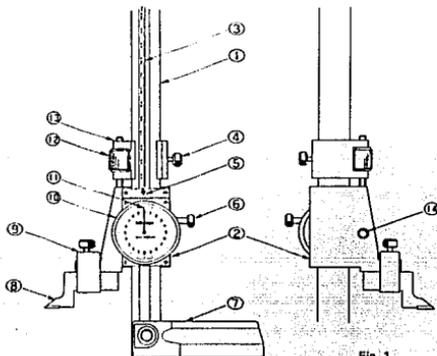


Fig. 1

- ① 本尺 / Main blade
- ② スライダ / Slider
- ③ ラック / Rack
- ④ 送り爪クランプネジ / Carrier clamp screw
- ⑤ 本尺目盛読取り位置 / Reading plate
- ⑥ スライダクランプネジ / Slider clamp screw
- ⑦ ベース / Base
- ⑧ スクワイバ / Scriber
- ⑨ スクワイバクランプ / Scriber holder
- ⑩ 外枠 / Bezel
- ⑪ 指針 / Pointer
- ⑫ 微調整ネジ / Fine adj. nut
- ⑬ 送り爪 / Carrier
- ⑭ 外枠クランプネジ / Bezel clamp screw

■ 読取り方法 / How to take reading

● 例 (ミリ仕様) / Example (metric)

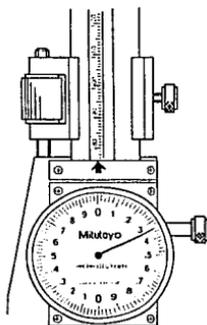


Fig. 2

■ 使用上の注意

- ベースの底面、スクワイバの測定面・取付け面、本尺などはきれいにしてお使いください。
 - スクワイバをしっかりと固定します。
 - 使用する前に、必ずスクワイバの測定面も精密定盤に密着させ指針がダイヤルのゼロ点と一致していることを確認します (Fig. 4)。
- 指針がゼロ点と一致していない場合は「ゼロ点の調整方法」に従い調整します。

本尺 : 76 mm
 ダイヤル : 0.34mm (±)
 読取り : 76.34mm

Blade : 76 mm
 Dial : 0.34mm (±)
 Reading : 76.34mm

● Example (English)

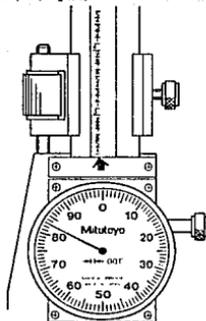


Fig. 3

Blade : 2.3"
 Dial : .083" (±)
 Reading : 2.383"

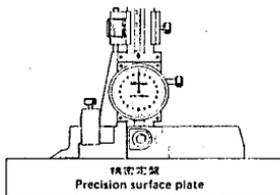


Fig. 4

■ PRECAUTIONS

- Wipe clean the base bottom, scriber (measuring and mounting surfaces), and main blade, etc.
- Attach the scriber to the holder and tighten the clamp screw firmly.
- Check the zero point of the indicator before measurements. The dial must read zero when the scriber is set on the surface plate (Fig. 4). If it does not, zero set the indicator following the way described on "HOW TO ZERO SET."

Mitutoyo

APENDICE B

Especificaciones de Piezas e Instrumentos Comerciales: (sin copia de datos técnicos)

1. Turbina (1-1):

Turbina neumática de fabricación sueca marca Atlas Copco.
Presión Máxima: 7 bar
Velocidad Máxima: 38,000 RPM

2. Manómetro (6-4):

Manómetro de fabricación nacional marca Metrón.
Presión Máxima: 14 Kg/cm²
Resolución: 0.25 Kg/cm²

3. Rodamiento (2-4):

Rodamiento rígido de bolas marca SKF denominación: 6201,2RSR
Capacidad de carga dinámica [KN]: 5.3
Capacidad de carga estática [KN]: 3.1
Número límite de revoluciones (grasa) [RPM]: 16,000
Peso aproximado: 0.04 Kg

BIBLIOGRAFIA

1. ASM Encyclopedia, *Powder Metallurgy*, 7, Ed. American Society for Metals, ninth edition, U.S.A., 1984.
2. ORTIZ PRADO Armando, Texto de la Facultad de Ingeniería: *Apuntes de Procesos de Conformado de Materiales*, p.211-236, México, 1991.
3. ASKELAND Donald R., *La ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Cap. ocho: Solidificación y Aleación, Grupo Editorial Iberoamérica, 1a. Ed., México, 1987.
4. DIETER, George., *Engineering Design, A Materials and Processing Approach*, McGraw Hill Int., International Student Edition, 1983.
5. KRICK, Eduard W., *Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería*, Edit. Limusa, 2a. Ed., México, 1982.
6. RAY, Martyn S., *Elements of Engineering Design, An Integral Approach*, Prentice Hall Int., United Kingdom, 1985.
7. LEVEN, Alexander S., *Análisis Gráfico para Arquitectura e Ingeniería*, Edit. Limusa.
8. LUZZADER, Warren J., *Fundamentos de Dibujo en Ingeniería*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 9a. Ed., México, 1990.
9. RAKER, Daniel., RICE, Herbert., *Inside Autocad*, New Riders Publishing, 5th ed., USA., 1989
10. FERDINAND P. Beer, E. RUSSELL JOHNSTON Jr., *Mecánica Vectorial para Ingenieros*, Mc.Graw Hill, 5a. Ed., México, 1990.
11. POPOV Egor P., *Introducción a la Mecánica de Sólidos*, Ed. Limusa, 7a. Reimpresión, México, 1989.
12. GUY A.G, *Fundamentos de Ciencia de Materiales*, Mc.Graw Hill, 1a. Ed., México, 1980.
13. DOYLE Lawrence E. y otros, *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*, Prentice Hall, 3a. Ed., México, 1988.
14. LAUSTER, Franz, *Electrotermia Industrial*, Edit. URMO S.A, España 1972
15. BARBER, H., *Electro Heat*, Granada Publishing, 1983, Great Britain.

16. SEMIATIN, S.L., Stutz, D.E., *Induction Heat Treatment of Steel*, Carnes Publication Services Inc., A.S.M., U.S.A., 1987
17. MOLECULAS GIGANTES, Colección Científica Time Life, Ediciones Culturales Internacionales, 2a. Ed., México.
18. HOLMAN, Jack P., *Métodos Experimentales para Ingenieros*, McGraw Hill, segunda edición, México, 1986.
19. SHEWMON Paul, *Transformation in Metals*, Chap. five: Solidification
20. USING WORDPERFECT 5.1, Que Corporation, Special Edition, U.S.A., 1989.
21. METALIC GLASSES, Papers Presented at a Seminar of the Materials Science Division of the ASM, Sep. 18 and 19 1976, Metals Park, Ohio, 1976.
22. LAWLEY Alan, *An Overview of Powder Atomization Processes and Fundamentals*, International Journal of Powder Metallurgy & Powder Technology, 3, July 1977.
23. GALLARDO José M. y HERRERA Enrique J., *Métodos de Obtención de Polvos de Aceros Rápidos*, Metalurgia y Electricidad, Sevilla, España, abril 1987.
24. CHAMPAGNE G. & R. Angers, *REP Atomization Mechanisms*, Powder Metallurgy International, 16, No. 3, 1984.
25. HINOJOSA-TORRES J, RIOS-JARA D. y CHAMPIER G., *Microstructural Study of Centrifugally Atomized Powders of Al-Li and Al-Li-Fe Alloys*, JIM, 31, Nov 17, 1989.
26. MPR, *Characteristics of Powders Produced by the Rotating Electrode Processes*, May 84.
27. BERKOWITZ A.E. and WALTER J.L., *Spark Erosion: A Method for Producing Rapidly Quenched Fine Powders*, Journal of Materials Research, Mar/Apr 1987.