



D-13060

671.87
L 24

Rubén Gallardo
6/3/03



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"FABRICACION DE POLVOS METALICOS PARA
LA INDUSTRIA MANUFACTURERA"**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de

INGENIERO EN MECANICA

Presentado por:

LUIS ZAMBRANO DURANGO



Guayaquil

Ecuador

Año

1992

DEDICATORIA.



A MIS PADRES

A MI HERMANO

AGRADECIMIENTO.

A la ESPOL, por la enseñanza impartida.

Al ING. IGNACIO WIESNER, por su acertada conducción en el desarrollo de esta Tesis.

A los INGS. JOSE PACHECO y JULIAN PEÑA, por su magnífica colaboración, en la ejecución de este trabajo.

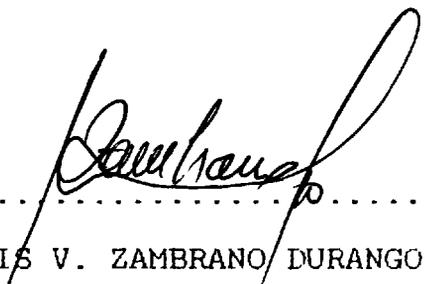
Al BENEMERITO CUERPO DE BOMBEROS, por la ayuda prestada y, a todas las personas que han hecho posible la realización de esta experiencia.

DECLARACION EXPRESA.



" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos profesionales de la ESPOL).

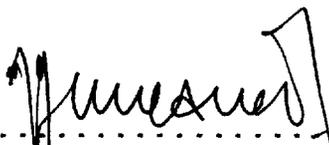

.....
LUIS V. ZAMBRANO DURANGO.



ING. NELSON CEVALLOS.

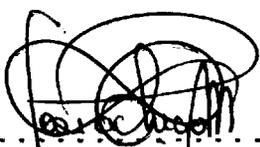
Decano de la Facultad

de Ingeniería en Mecánica.



ING. IGNACIO WIESNER.

Director de Tesis.



ING. JOSE PACHECO.

Miembro del Tribunal.



ING. JULIAN PENA.

Miembro del Tribunal.



BIBLIOTECA

R E S U M E N .

El presente trabajo, tiene por objetivo el diseño y la construcción del equipo experimental, necesario para la fabricación de polvos de Bronce utilizando el proceso de atomización con agua.

Se construyen herramientas normalizadas, con la finalidad de determinar la calidad de los polvos, a través de la medición de características importantes como densidad aparente, razón de flujo y ángulo de reposo.

Se evalúan propiedades mecánicas de polvos propios de la aleación SAE 64, con probetas compactadas y sinterizadas verificando una calidad aceptable, utilizando normas de control ASTM.

I N D I C E G E N E R A L .

PAG.

RESUMEN.....	
INDICE GENERAL.....	
INDICE DE FIGURAS.....	
INDICE DE TABLAS.....	
INTRODUCCION.....	
I FUNDAMENTO TEORICO Y DISEÑO DE EQUIPO.....	
1.1. PROCESO DE ATOMIZACION PARA LA OBTENCION DE POLVOS.....	
1.2. ATOMIZACION CON AGUA.....	
1.3. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO.....	
1.4. DISEÑO DE EQUIPO EXPERIMENTAL.....	
1.5. PRUEBAS PRELIMINARES.....	
II TRABAJO EXPERIMENTAL.....	
2.1. OBTENCION DE POLVOS CON EQUIPO EXPERIMENTAL PARA DIFERENTES ALEACIONES.....	
2.2. DESARROLLO DE EQUIPO PARA EVALUAR POLVOS.....	
2.3. EVALUACION DE PROPIEDADES DE POLVOS EN BRUTO.....	
2.4. RESULTADOS DE LA EVALUACION.....	
2.5. MOLDEO Y SINTERIZACION.....	
III DISCUSION DE RESULTADOS.....	
3.1. PROCESO DE PRODUCCION.....	

3.2. POLVOS OBTENIDOS.....

3.3. COMPARACION CON POLVOS IMPORTADOS.....

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

TABLAS, DIAGRAMAS, ANEXOS.....

BIBLIOGRAFIA.....



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

INDICE DE FIGURAS.

Nº.		Pag.
1.	Atomización con agua.....	
2.	Atomización con gas.....	
3.	Esquema general del proceso.....	
4.	Esquema particular del proceso.....	
5.	Etapas de la atomización.....	
6.	Tobera de caída libre.....	
7.	Tobera confinada.....	
8.	Prueba de múltiple a baja presión.....	
9.	Prueba de múltiple a alta presión.....	
10.	Macrofotografía del polvo en bruto.....	
11.	Macrofotografía del polvo malla 100.....	
12.	Macrofotografía del polvo malla 200.....	
13.	Macrofotografía del polvo de fondo.....	
14.	Medidor de flujo Hall.....	
15.	Medidor de flujo Carney.....	
16.	Taza para densidad.....	
17.	Disco para ángulo de reposo.....	
18.	Sinterización de las probetas.....	
19.	Designación de las probetas.....	
20.	Fotomicrografía de probeta N°.1.....	
21.	Fotomicrografía de probeta N°.4.....	
22.	Fotomicrografía de probeta N°.21.....	
23.	Fotomicrografía de probeta N°.24.....	
24.	Macrofotografía del polvo en bruto.....	



25. Macrofotografía del polvo malla 100.....
26. Macrofotografía del polvo malla 200.....
27. Macrofotografía del polvo de fondo.....
28. Macrofotografía del polvo de fondo.....
29. Macrofotografía del polvo importado.....

INDICE DE TABLAS.

No.		Pag.
I	Producción de polvos.....	
II	Designación de las probetas.....	
III	Valores de dureza en escala Rh.....	
IV	Temperaturas de sinterización convencionales para aleaciones de Cobre.....	
V	Parámetros y variables usados en la experiencia.....	



I N T R O D U C C I O N .

La producción de polvos metálicos, está siempre influenciada grandemente por su costo, y la calidad requerida para las técnicas de consolidación y aplicaciones. Esta interrelación entre costo y calidad, conduce al desarrollo de muchos procesos para fabricar polvos, de tal forma que los métodos de manufactura deben tener su costo efectivo, además que el polvo deba poseer los requerimientos físicos y las características químicas adecuadas. Generalmente, los polvos en uso corriente son limpios, uniformes en tamaño y son fabricados dentro de los rangos de especificación indicados.

Para llevar a cabo métodos de manufactura refinados, se usa Control por Microprocesador, con el fin de mejorar la calidad del producto final y, obtener una completa caracterización del polvo.

Debido al gran uso que se hizo de los polvos de hierro durante la II Guerra Mundial, estos se constituyen en los más importantes de la industria de la Metalurgia de Polvos.

Sobre el año 1965, la mayoría de los polvos de hierro usados en Norteamérica, fueron fabricados por reducción

de óxidos o minerales metálicos. Debido a los avances significativos en la Tecnología de la atomización, durante la década de los años 50 y 60, se comenzó a producir polvos con estas técnicas de atomización. Tal es así, que polvos de hierro producidos por atomización con agua, tuvieron un incremento sustancial, debido a que ello ofrece bajos costos de producción, excelente compresibilidad y alta pureza.

La alta compresibilidad, es muy importante en la fabricación de partes estructurales por prensado y sinterizado, siendo este uno de los mayores usos de los polvos de hierro. Como comprobación de lo anterior, antes del año 1965, los polvos de hierro electrolíticos, despreciados por su alto costo, se usaban en gran escala, debido a la no superada compresibilidad; mientras que polvos de hierro de bajo carbono atomizados con agua, son menos caros y poseen una compresibilidad similar. Luego, con el desarrollo de técnicas tales como el forjado de polvos, que asegura completa densidad, fue muy importante la pureza del mismo, con el fin de asegurar máximas propiedades dinámicas.

Los polvos de partículas muy finas, son importantes en la manufactura de pinturas, tintas, catalizadores, pirofóricos, explosivos, aditivos para comidas, electrodos para soldadura y, en la obtención de plasma.

Otras aplicaciones, tienen relación con la industria automotriz, aeroespacial, aplicaciones eléctricas, magnéticas, dentales, médicas y nucleares.

Por todo lo expuesto anteriormente, es importante que se desarrolle en el país, la Tecnología apropiada para la fabricación de los polvos metálicos; debido a esto, el presente trabajo experimental, es el primer esfuerzo nacional, que permitirá despertar el interés para investigaciones futuras, y conlleven a mejorar siempre, los resultados obtenidos en cuanto a cantidad, calidad y costo del producto final.



CAPITULO I

FUNDAMENTO TEORICO Y DISEÑO DE EQUIPO.

1.1. PROCESO DE ATOMIZACION PARA LA OBTENCION DE POLVOS.

La tecnología de la atomización, tuvo su impulso y se volvió más sofisticada durante la II Guerra Mundial, con la fabricación de polvos de hierro en gran escala. Los polvos de alta calidad como el aluminio, latón y polvos de hierro para acero inoxidable, acero de herramientas y superaleaciones, en combinación con la consolidación de nuevas técnicas, tienen muchas aplicaciones nuevas y algunas veces, las propiedades de partes construidas con estos polvos son superiores.

La atomización es el método más común usado en la producción de polvos metálicos, como se puede apreciar en la Tabla I, haciendo comparación de totales de producción contra producción por atomización, de los polvos más importantes comercialmente, tomando como referencia los Estados Unidos de Norteamérica.

La atomización puede ser definida como la rotura de

un líquido en finas partículas, tan pequeñas, que pueden ser del orden de 150 micras. Consecuentemente, todo material disponible como un líquido puede ser atomizado. La rotura de un metal líquido, causado por el choque de chorros de agua o gas a alta presión, es llamado atomización con "agua" o "gas" respectivamente, o de una forma más general se lo conoce como la atomización de dos fluidos, tal como se puede apreciar en las figuras 1 y 2.

Tabla I.

Producción de polvos (1981).

Polvo	Producción	
	Ton. totales	Ton. atomizadas
Hierro	174000	87000
Cobre	20000	17000
Cobre aleado	3500	3500
Aluminio	40000	40000
Acero inox.	1700	1700
Niquel aleado	1000	1000
Cobalto aleado	1000	1000
Estano	1000	1000

Existen otros mecanismos de atomización para la obtención de polvos, tales como "atomización centrífuga" en la que una fuerza centrífuga es usada para fracturar el metal líquido; "atomización al vacío", realizada en un medio del mismo nombre y, "atomización ultrasónica", en la que se requiere una energía ultrasónica para efectos del rompimiento del metal líquido.

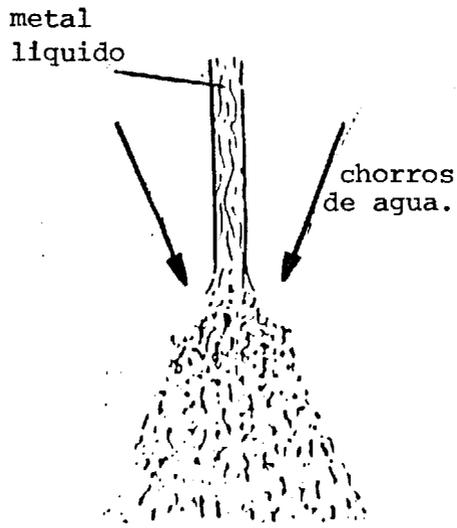


Fig.No.1.- Atomización con agua.

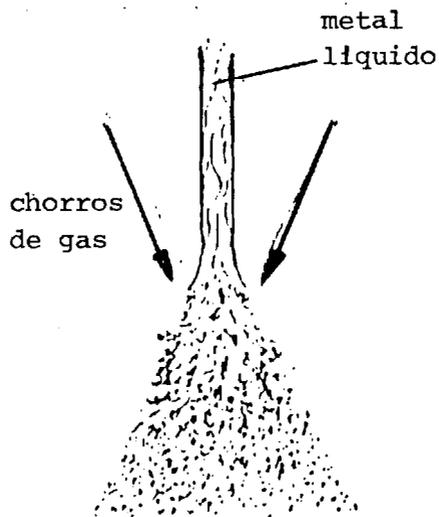


Fig.No.2.- Atomización con gas.



Las propiedades más importantes de un polvo atomizado, incluye el tamaño promedio de partícula, distribución del tamaño de partícula, forma de la partícula, composición química (incluye composición de la superficie) y microestructura. Estas propiedades fundamentales, conllevan a las propiedades ingenieriles como densidad aparente, razón de flujo, resistencia en verde, compresibilidad, razón de sinterizado, forjabilidad y dureza, así como aplicaciones de los polvos en partes resultantes.

1.2. ATOMIZACION CON AGUA.

Los polvos atomizados con agua, generalmente son más irregulares en forma, y tienen relativamente alto contenido de oxígeno en la superficie (oxidación). Este tipo de atomización es preferida cuando se requiere altos volúmenes y bajos costos de producción.

Un esquema típico de atomización con agua se muestra en las figuras 3 y 4. Los mayores componentes de una instalación típica son la facilidad de fundición, una cámara de atomización y el equipo de secado del polvo.

Una descripción del proceso, indica que el metal líquido es vertido directamente dentro de un distribuidor, el cual es esencialmente un reservorio que suministra un

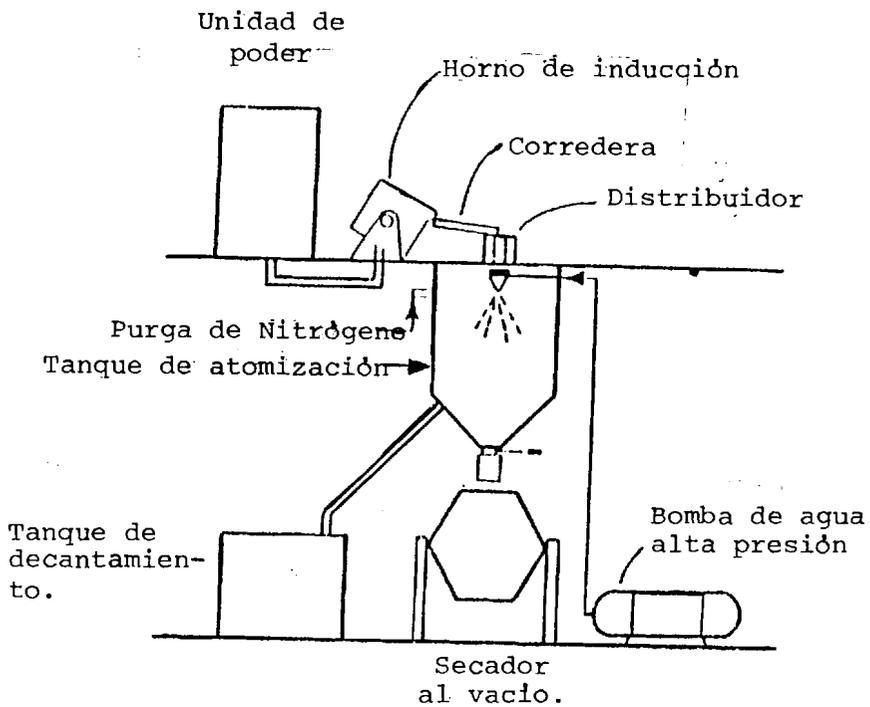


Fig.No.3.- Esquema general del proceso.

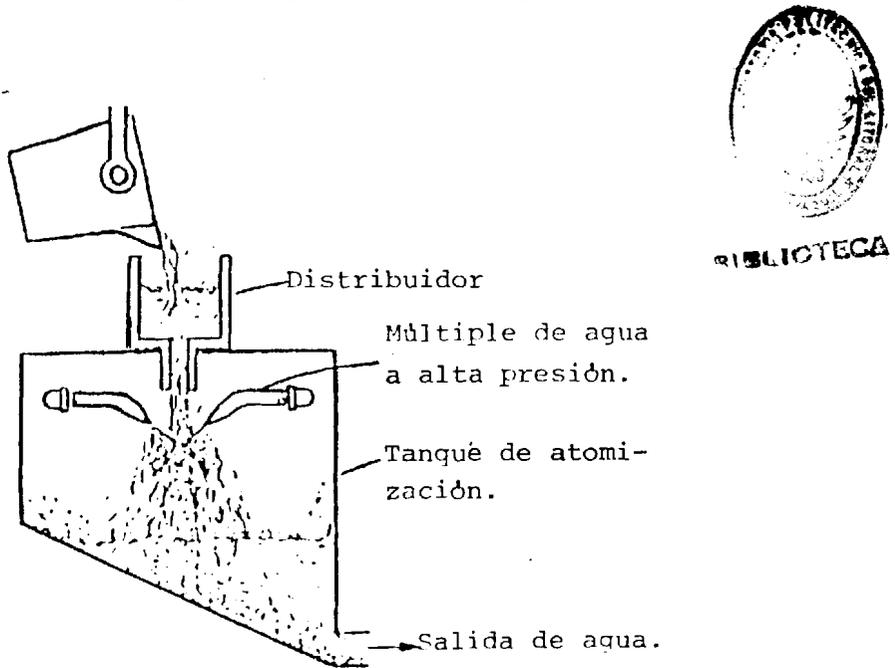


Fig.No.4.- Esquema particular del proceso.

controlado y uniforme flujo de metal líquido a la tobera del mismo, la cual se encuentra localizada en la base del distribuidor y controla la forma y tamaño del chorro de metal, dirigiéndolo a través del sistema de toberas de atomización, donde el chorro de metal es desintegrado en finas partículas debido a la alta velocidad del medio de atomización. Luego de esto, gotas de metal líquido se enfrían y solidifican, asentándose en el fondo del tanque de atomización, el cual debe ser purgado con un gas inerte para minimizar o prevenir la oxidación del polvo.

En la atomización con agua o gas, se crea un vacío arriba del punto de choque del medio de atomización, el cual causa que el metal líquido tome la forma de un cono hueco o la forma de una sombrilla. Datos recientes, sugieren que en los modelos de atomización con agua o gas, se debe incluir la formación de partículas en forma de membrana, lo cual significa que son altamente irregulares, así como también la presencia de colisiones entre las partículas.

Debido a esto, cuando se tiene una atomización convencional con agua, existen cinco etapas distintas como se describe a continuación, y que se muestran esquemáticamente en la Fig.Nº.5:

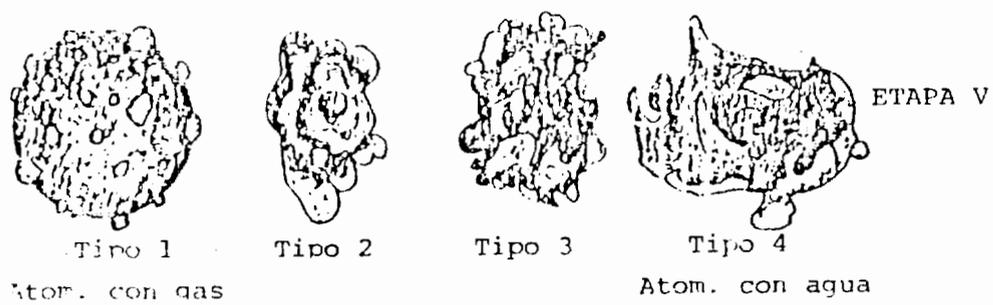
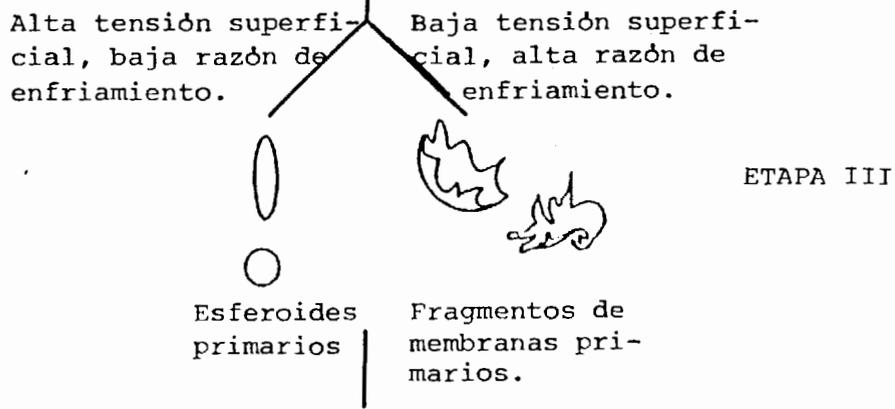
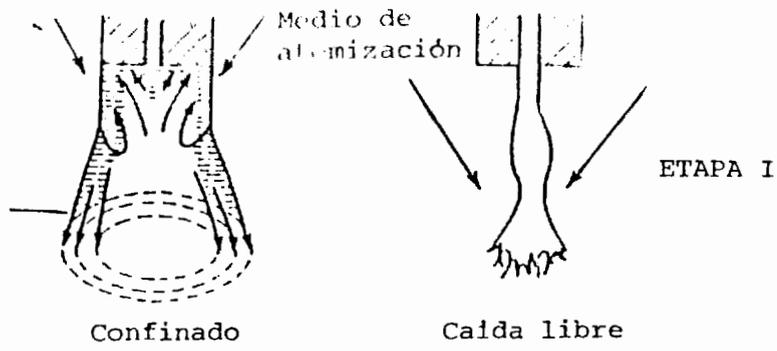


Fig. No. 5.- Etapas de la atomización.

ETAPA I: Formación de onda a través de la iniciación de pequeños disturbios en la superficie del líquido.

ETAPA II: Fragmentación de la onda y formación de ligamentos debido a fuerzas de corte en los disturbios de la etapa anterior.

ETAPA III: Colapso de ligamentos en gotas. Esta etapa se la conoce como atomización primaria, en la cual existen partículas de forma regular debidas a la alta tensión superficial y baja razón de enfriamiento, así como partículas de forma irregular debidas a la baja tensión superficial y alta razón de enfriamiento.

ETAPA IV: Deformación ulterior y afinamiento de gotas y fragmentos de ondas en partículas pequeñas. Esta etapa se conoce como atomización secundaria.

ETAPA V: Colisión y coalescencia de partículas.

La estabilidad de un chorro de metal líquido, esto es, su longitud antes de la desintegración, se incrementa con un incremento en el diámetro del chorro.

Disminuyendo la razón longitud-diámetro de la tobera, desde donde sale el líquido, hay cambios en el flujo pasando de turbulento a laminar, por lo tanto mejora la estabilidad del chorro.

La formación de la membrana, está bien documentada con fotografías de alta velocidad, de gotas de agua expuestas a chorros de aire que tienen alta velocidad. Las membranas se revientan provocando una lluvia de gotas muy finas, pero preferentemente gotas grandes, obteniéndose con esto una distribución de tamaño bimodal. La formación de estas membranas en el polvo solidificado, se debe a la baja tensión superficial del metal líquido y a la alta razón de enfriamiento: mientras que con la alta tensión superficial y bajas razones de enfriamiento, se favorece la formación de partículas de forma esférica.

Las colisiones que ocurren durante la atomización, tienen un gran efecto sobre el tamaño de la partícula, distribución del tamaño de la partícula y la forma de la partícula que han sido previamente asumidas. Estas colisiones reducen la eficiencia de atomización y la probabilidad de su presencia se incrementa con un incremento en la razón de flujo de metal. Así, de esta manera, el máximo promedio de tamaño de partícula y desviación geométrica normalizada, se presentan en el

centro del chorro que está atomizándose, lugar donde la concentración del metal es generalmente alto.

Las colisiones causan también la no homogeneidad microscópica de los bordes de las partículas internas (primarias), y la forma de minimizar las colisiones o prácticamente eliminarlas, es con métodos centrífugos de atomización, en el cual la densidad del tráfico de la partícula decrece rápidamente con la distancia.

Los cálculos de la eficiencia de atomización, usualmente están basados sobre una comparación de la energía superficial de un polvo atomizado con la suma de la energía proveniente del medio de atomización. Para atomización con agua, los cálculos de eficiencia son bastante bajos, siendo alrededor del 1% o menos. Una forma de maximizar la eficiencia, es aumentando el área de contacto entre el metal líquido, y el medio de atomización en el espacio de alta velocidad de dicho medio.

DISEÑO DE TOBERAS.- Existen muchos diseños de toberas en uso corriente, tanto para atomización con chorros de agua o gas. Su función es el control del flujo y modelar el medio atomizador, para proveer una eficiente desintegración del metal líquido y, producir un polvo de propiedades deseadas. Muchos diseños de toberas en uso corriente están patentados. Generalmente toman la forma

de anillos concéntricos al chorro de metal o también chorros discretos. Hay diseños de toberas disponibles como "caída libre" y "confinado", que se muestran en la Fig.6 y 7 respectivamente. El diseño confinado es raramente usado en atomización con agua. En la atomización con caída libre, el metal líquido fluye desde el distribuidor por gravedad una cierta distancia que puede variar de 5 a 20 cm., luego interacciona con el medio atomizador de alta presión.

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



La oxidación generalmente se incrementa, con el aumento del supercalentamiento del metal líquido, y depende del tamaño de la partícula como se muestra en la tabla siguiente:

Medio	Contenido de O ₂ .en ppm.		
	mallá-60+150	mallá-150+400	mallá-400
Gas inerte	123	161	255
Agua	3850	4410	5270

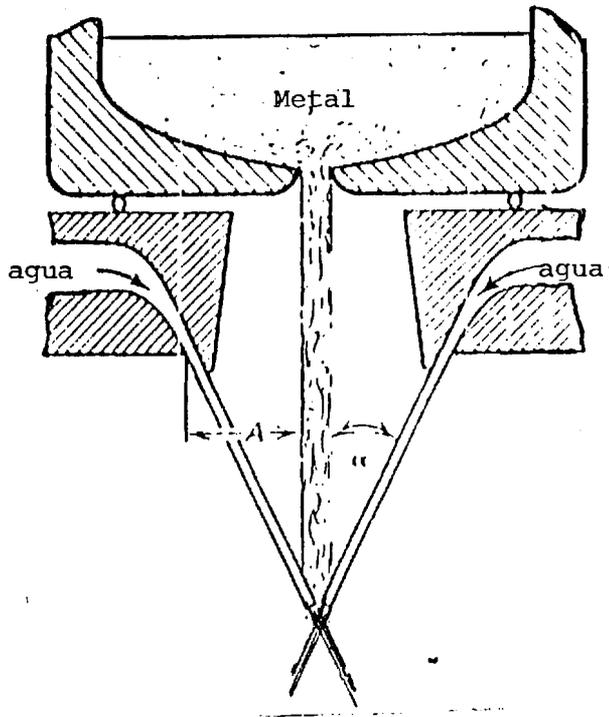


Fig.No.6.- Tobera de caída libre.

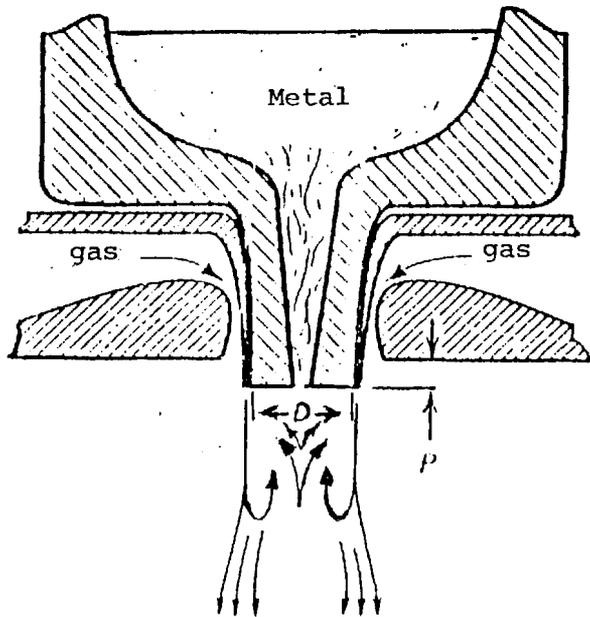


Fig.No.7.- Tobera confinada.



Algunos materiales presentan un mínimo de oxidación, al graficar la pérdida de Hidrógeno versus el tamaño de la partícula, tal como se muestra en el diagrama 1.

Tal mínimo, resulta de dos factores opuestos. Con el incremento del tamaño de partícula, el tiempo de enfriamiento y la exposición, se incrementa la oxidación, formándose una capa gruesa. Contrariamente, con la disminución del tamaño de la partícula el área específica superficial del polvo se incrementa rápidamente. Así, de este modo, aunque las pequeñas partículas se enfrían mucho más rápido y producen capas de óxido delgadas, su gran área superficial (por unidad de peso) provoca un incremento en el contenido de oxígeno, aunque el tamaño de partícula disminuya.

Para minimizar la presencia de óxidos en el metal fundido antes de la atomización, particularmente en el caso de aleaciones que contienen elementos fácilmente oxidables, es importante una buena práctica de fundición y desoxidación. Se debe tener precauciones durante la transferencia del metal líquido desde la cuchara al distribuidor, evitando en lo posible, turbulencia dentro del mismo. La cantidad, naturaleza y composición de los óxidos y su distribución espacial dentro de la partícula tienen un gran efecto sobre la utilidad y los subsecuentes requerimientos de procesado del polvo.

Técnicas analíticas de superficie, muestran que la superficie de aleaciones atomizadas con agua, son muy ricas en óxidos de elementos que tienen altas energías libres negativas, y elevada difusividad a alta temperatura. Los óxidos penetran la partícula en algunos cientos o inclusive algunos miles de angstroms. Para el caso del Cobre atomizado con agua, el contenido de oxígeno puede ser del orden de 800 ppm.

1.3. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO.

La atomización es un proceso muy complejo en cuanto a variables que intervienen en el mismo. Cada una de ellas es capaz de alterar las características del polvo obtenido, especialmente en lo que se refiere a tamaño y forma de partícula, además de causar variaciones en la eficiencia del proceso. Las variables que se deben manejar con mucho cuidado son las siguientes:

- Razón de flujo de metal a través de toberas de simple orificio, están en el rango que va desde 4.5 Kg/min. hasta 90 Kg/min.

- Caudales de agua tienen un rango de operación que va desde 110 litros/min. hasta 380 litros/min.

- Velocidad del chorro de agua, que puede variar desde

70 m/seg. hasta 230 m/seg.

- Presión del chorro de agua, una de las variables más importantes, tiene un rango de aplicación que va desde 5.5 MPa. hasta 21 MPa.

- El diferencial entre la temperatura del punto de fusión del metal y, la temperatura a la cual el metal fundido es atomizado (supercalentamiento del metal fundido), se ubica generalmente entre 75° a 150°C.

1.4. DISEÑO DE EQUIPO EXPERIMENTAL.

Para la ejecución del presente trabajo, se requiere la construcción del equipo atomizador, así como del distribuidor de metal líquido.

El equipo atomizador consiste en un múltiple de agua, el mismo que está constituido por el cuerpo y la tapa: cuatro portatoberas y cuatro toberas formadoras de chorro de agua. El cuerpo del múltiple es construido en Aluminio fundido y tiene su respectiva entrada de agua, en la cual se acopla una brida con tubo y tuerca flotante para conectar la manguera del equipo contraincendio, que será el encargado de suministrar el agua a la presión y flujo requeridos; en el cuerpo se almacena cierto volumen de agua a alta presión, que se

reparte por igual a cada una de las toberas del sistema.

La tapa del múltiple es igualmente de Aluminio, y en ella se sujetan los portatoberas por medio de arandelas y tuercas de sujeción que se enroscan en un extremo. Se coloca sellos de caucho entre la arandela y la tapa con la finalidad de evitar fuga de agua, y en forma similar entre la tapa y el cuerpo, y entre el cuerpo y la brida de entrada, se coloca empaques de caucho-lona de 3mm. de espesor con la misma finalidad anterior. Las dimensiones finales del cuerpo y la tapa se aprecian en los anexos 1 y 2 respectivamente.

Los portatoberas consisten en unas barras huecas de bronce fundido. Son huecas porque se requiere que por su interior fluya el agua. Estas se encargan de orientar los chorros de agua a una inclinación de 30° con respecto al eje vertical, y como se dijo anteriormente un extremo es roscado para sujetarlo a la tapa y el otro también lo es, con el fin de sujetar la tobera formadora de chorro. Sus características dimensionales se registran en el anexo 3.

La tobera formadora del chorro de agua, es fabricada a partir de una barra de bronce fundido. Su función es la de proporcionar un modelo al chorro de agua; por este motivo existe un cambio de forma de sección de redondo a

plano. Esta abertura plana que tiene 2 mm. de espesor se la realiza en la máquina de electro-erosión, en la cual el electrodo tiene la forma deseada, causando que el chorro de agua tienda a ser plano divergente, semejándose a un abanico. Sus dimensiones se observan en el anexo 4.

El distribuidor de metal líquido es el recipiente en el cual se vierte el metal fundido. Consta de dos partes, el recipiente en sí y la boquilla. Para la primera parte se rola un pedazo de plancha de 3 mm. de espesor, 940 mm. de ancho y 440 mm. de alto, obteniéndose un cilindro de 300 mm. de diámetro.

La parte interior es revestida por una capa de 28 mm. de cemento refractario, luego va una segunda capa de refractario de Silicato de Sodio de 32 mm. de espesor que se recubre con una mezcla de cemento blanco, arena y agua con el fin de disminuir porosidades. Finalmente, se realiza un baño interno (pintado), con una mezcla de Silicato de Sodio y Grafito en polvo, para de esta manera reducir la adherencia de metal en la superficie interna del distribuidor.

En la parte inferior del distribuidor, se coloca la boquilla, la cual es roscada en la parte metálica del distribuidor. Se la construye a partir de una barra de

BIBLIOTEC

Grafito y, su función es la de dar un flujo modelado al chorro de metal líquido. El diámetro del orificio de la tobera es aproximado, usando las ecuaciones de Geiger. Poirier (Ref. 2), tomando como referencia las propiedades del Cobre a alta temperatura (Ref. 3), flujo requerido, tiempo de descarga y cabezal seleccionados.

Las dimensiones del distribuidor y la boquilla, se registran en los anexos 5 y 6 respectivamente.

1.5. PRUEBAS PRELIMINARES.

Una vez concluidos los trabajos de construcción de las diferentes partes que conforman el equipo, se procede a la verificación del funcionamiento de cada uno de ellos en diferentes situaciones, para corregir errores que se pudieran presentar.

PRUEBA No.1.

En esta prueba, se revisa el funcionamiento del múltiple atomizador de agua, básicamente para detectar fugas y tener una visión de la convergencia de los chorros de agua. Para el efecto, se utiliza una bomba centrífuga de 1/3 Hp., acoplada mediante mangueras al múltiple. Se efectúa la prueba en las instalaciones de la Espol, y se observa la no convergencia de los chorros en un solo



BIBLIOTECA

punto, así como la fuga de agua por una de las toberas. Esto condujo a regraduar el ángulo de ataque de los chorros de agua sólo con respecto al plano vertical y, corregir la fuga de agua, dando mayor apriete a la tuerca sujetadora, para lograr mejor acción del sello de caucho. Se puede apreciar la figura 8.

PRUEBA No.2.

Para esta prueba, se utiliza el equipo contraincendio, con el fin de tener la presión y el caudal requeridos. En esta se revisa la convergencia y forma de los chorros de agua así como fugas a alta presión. Con una presión de 12.4 MPa. se aprecia una buena convergencia de los chorros, los mismos que toman la forma de un abanico plano divergente, deseado para este tipo de atomización. No se registran fugas de agua y realizando mediciones de volumen contra tiempo, se obtiene un caudal de agua de 92 litros/min. para las cuatro toberas que conforman el sistema. La figura 9 presenta esta situación.

PRUEBA No.3.

Esta prueba se ejecuta para verificar el funcionamiento del distribuidor de metal líquido. Se medirá la descarga del metal para parámetros dados, como por

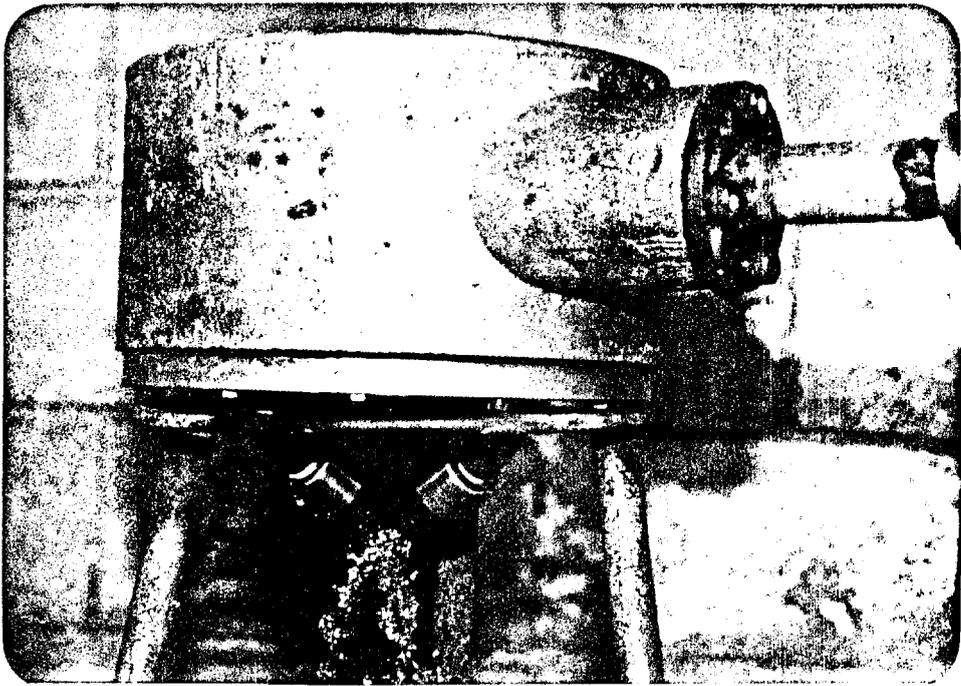


Fig.No.8.- Prueba de múltiple a baja presión.



Fig.No.9.- Prueba de múltiple a alta presión.

ejemplo diámetro de tobera de 6.3 mm. También se hará una evaluación del estado en que queda el distribuidor luego de la descarga.

Se utiliza como material de prueba Cobre puro, fundiéndose en el horno 75 Kg. del mismo. Este Cobre líquido es vertido en el distribuidor, el cual tiene un diámetro interno de 244 mm., produciéndose un cabezal ho de 180 mm. Metal líquido sale por la tobera durante un tiempo de 6.5 min., que se solidifican para dar una masa de 62.5 Kg. De manera experimental se ha obtenido un flujo de 9.61 Kg/min., que está por abajo del flujo requerido. Como se observa, hay una diferencia entre la masa fundida y la masa solidificada, esto se debe a pérdidas por fusión e ineffectividad del distribuidor en cuanto a que todo el metal se libere por la tobera, provocando la solidificación del mismo en el interior del distribuidor.

En esta prueba, la pared interna del distribuidor es de cemento refractario, el mismo que permitió la poca o nada adherencia de metal en su superficie.

PRUEBA No.4.

Para esta prueba se trata de variar el flujo de metal, modificando el diámetro de la tobera a 10 mm. y el

diámetro interno del distribuidor, para lograr un mayor cabezal. Para el efecto, se reviste el interior con una capa gruesa de refractario de Silicato de Sodio, teniendo ahora un diámetro interno de 180 mm.

Se funden 67 Kg. de Cobre puro en el Horno Basculante, lográndose un cabezal h_o de 260 mm. en el distribuidor. Metal líquido sale por la tobera durante un tiempo de 1.33 min., que se solidifican para dar una masa de 60 Kg. De forma experimental se obtiene ahora un flujo de metal de 45.11 Kg/min., el cual está muy por arriba del flujo requerido para el Cobre, observándose que todo el metal logra salir por la tobera, por lo tanto, la diferencia en masa sólo se debe a pérdidas por fusión.

Debido a que el Silicato de Sodio es poroso, se nota mayor adherencia de metal en la superficie interna del distribuidor.

PRUEBA N^o.5.

Basándose en las pruebas anteriores y, con la ayuda analítica de ecuaciones (Ref.2), demostradas en el anexo 7, se trata de conseguir un flujo de metal deseado. De igual manera, se tratará de disminuir adherencia de metal en el interior del distribuidor.

Se cambia el material de prueba a una aleación 70%Cu - 30%Zn (latón amarillo). Una masa de 45 Kg. de la aleación son fundidas en el horno y se vierten en el distribuidor, para el cual se ha seleccionado un diámetro de tobera de 6.3 mm., además de pintar su interior con una mezcla de cemento blanco, arena y agua.

Esta masa de metal líquido, produce un cabezal de 220 mm. que se descargan durante un tiempo de 2.58 min. para solidificarse en una masa de 41 Kg. consiguiéndose de esta manera un flujo de 15.89 Kg/min. La diferencia en masa se debe como se dijo anteriormente a pérdidas por fusión.

Con el recubrimiento superficial de cemento blanco, se logró que la adherencia de metal sea casi nula.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL.



BIBLIOTECA

2.1 OBTENCION DE POLVOS CON EQUIPO EXPERIMENTAL PARA DIFERENTES ALEACIONES.

Habiendo realizado las pruebas preliminares y observando que las diferentes partes del equipo funcionan adecuadamente, se procede a la ejecución de la prueba final. Para el efecto, se dispone de todo el equipo en la forma apropiada. El material a atomizarse es una aleación de Cobre con la siguiente composición: 80%Cu - 10%Sn - 10%Pb (SAE 64).

Se funden 59 Kg. de la aleación en el horno basculante, durante un tiempo de 90 min. con el fin de conseguir una temperatura de 1150°C. Este material fundido es vertido en el distribuidor, consiguiéndose un cabezal de 286 mm.

Se consigue atomizar 10.2 Kg. de metal en forma de polvo con partículas que tienen tamaño desde malla 100. Otra parte de material, no alcanza a atomizarse completamente quedando en forma de hojuelas grandes, con una masa de

38 Kg. El proceso se detiene cuando los últimos 5 Kg. de metal se solidifican antes de llegar al punto de choque, causando la obstrucción del chorro de metal. En esta prueba, la presión suministrada por el equipo contraincendio fue apenas de 3.44 MPa., ya que se produjeron fugas inesperadas en el tanque de atomización, el cual es un cilindro que almacena el material atomizado y libera el agua por medio de un tubo de descarga. En el tubo de descarga se colocan tamices No. 100 y 200, con el fin de retener polvos que puedan quedar en suspensión.

Terminada la prueba, se procede a retirar el material que contiene el tanque, es decir el polvo y las hojuelas. Se lava el polvo con agua limpia y se trata de separar partículas grandes. Luego, en el horno del laboratorio, se procede a secar el polvo, consiguiéndose con esto la oxidación del mismo. Esta oxidación violenta, es removida con un baño en una solución de ácido clorhídrico diluido al 15%, para luego lavar el polvo con alcohol, tratando de reducir al mínimo el contenido de agua. Inmediatamente se prosigue con el secado, usando nuevamente el horno.

El polvo limpio es tamizado, para obtener tamaño de partículas de malla 100, malla 200 y fondo, en porcentajes de 30%, 50% y 20% respectivamente, para una

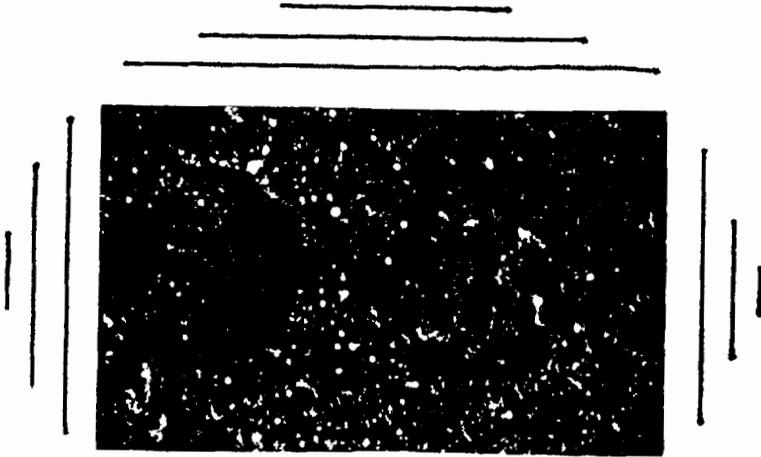


Fig.No.10.- Macrofotografía del polvo en bruto. 32X.

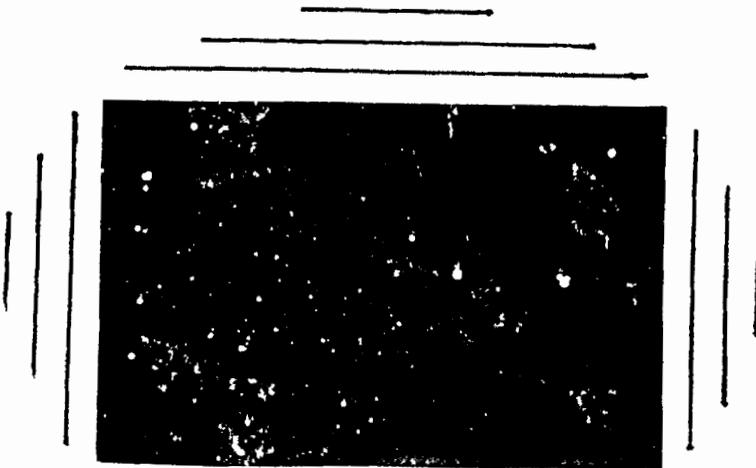
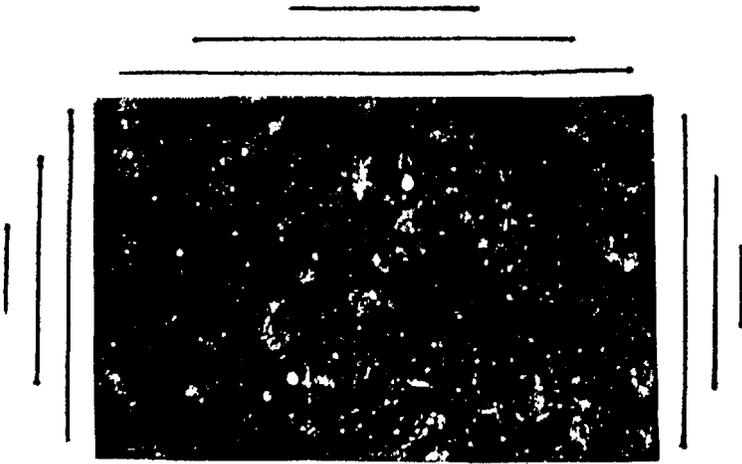


Fig.No.11.- Macrofotografía del polvo malla 100. 32X.



BIBLIOTECA

Fig.Nº.12.- Macrofotografía del polvo malla 200. 32X.

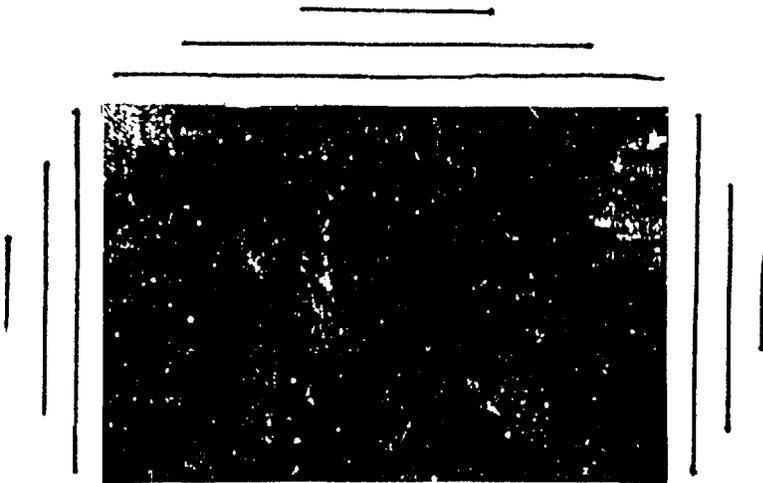


Fig.Nº.13.- Macrofotografía del polvo de fondo. 32X.

cantidad cualquiera de polvo. Se puede apreciar los diferentes tamaños de polvos con las Macrofotografías registradas en las figuras 10, 11, 12 y 13.

2.2. DESARROLLO DE EQUIPO PARA EVALUAR POLVOS.

El presente trabajo experimental comprende además, la construcción de un equipo adicional, que servirá para la medición de algunas de las propiedades del polvo obtenido. Dicho equipo está constituido por las siguientes piezas:

- Medidor de flujo o embudo Hall.
- Medidor de flujo o embudo Carney.
- Taza para densidad.
- Disco para ángulo de reposo.



Todas las piezas anteriormente descritas, son construidas de Aluminio fundido y luego maquinado, para dar las dimensiones finales que se observan en las figuras 14, 15, 16 y 17.

Haciendo una descripción, del uso para el cual fueron construidas las piezas, se tiene que el embudo Hall, el embudo Carney y la taza, sirven para evaluar la densidad aparente y la razón de flujo, mientras que el plato, se utiliza para medir el ángulo de reposo del polvo, como

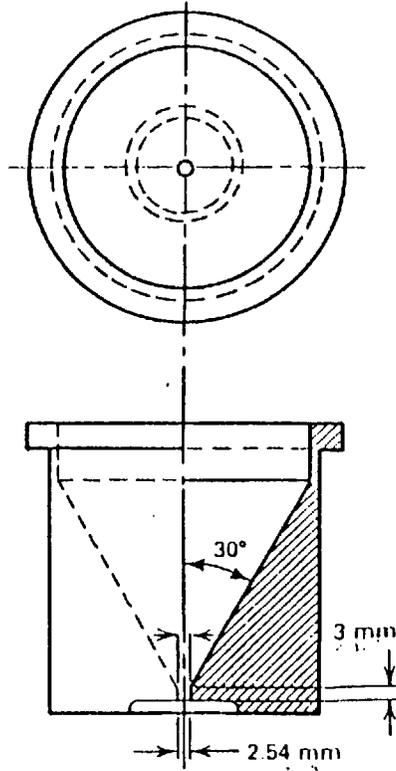


Fig.Nº.14.- Medidor de flujo Hall.



BIBLIOTECA

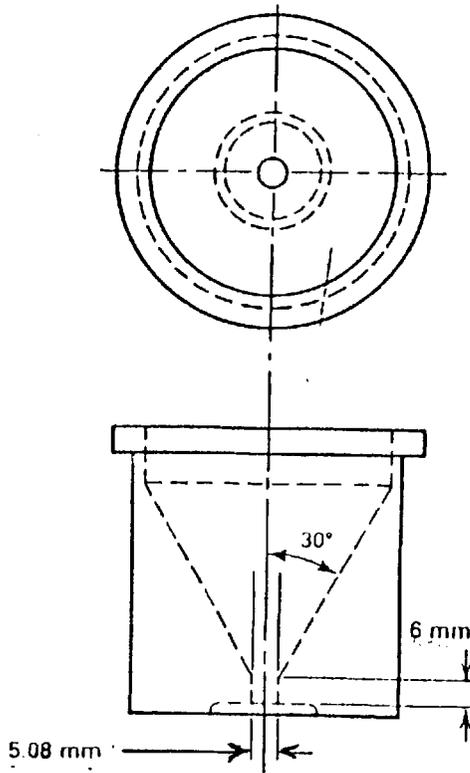


Fig.Nº.15.- Medidor de flujo Carney.

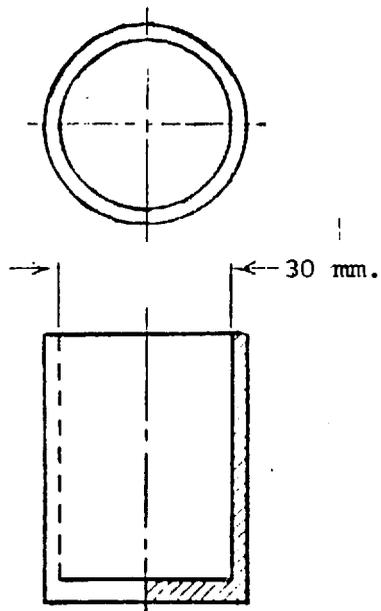


Fig. No. 16.- Taza para densidad.

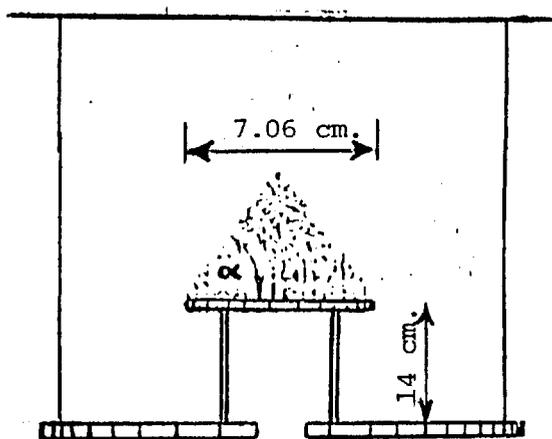


Fig. No. 17.- Disco para ángulo de reposo.



se demuestra en la sección siguiente.

2.3 EVALUACION DE PROPIEDADES DE POLVOS EN BRUTO.

Como se dijo en la sección anterior, las propiedades que serán evaluadas en este trabajo son la densidad aparente, razón de flujo y ángulo de reposo.

DENSIDAD APARENTE.

Es el peso de una unidad de volumen de polvo sin cohesión, expresado en gramos por centímetro cúbico, siendo una propiedad fundamental de un polvo. Esta característica define en volumen ocupado por una masa de polvo libre, el cual directamente afecta parámetros de proceso, tales como el diseño de la herramienta de compactación y la magnitud del mecanismo de prensado, requeridos para compactar y densificar polvo libre. Hay factores que afectan la densidad aparente. Entre ellos están, el tamaño de partícula, la forma de la partícula, la rugosidad de la superficie y la distribución del tamaño de partícula.

TAMAÑO DE PARTICULA.- Disminuyendo el tamaño de partícula, generalmente decrece la densidad aparente. Para partículas pequeñas, aumenta grandemente la superficie específica del polvo, lo cual incrementa la

fricción entre las partículas. bajando subsecuentemente la densidad aparente.

FORMA DE PARTICULA.- Para partículas menos esféricas, la densidad aparente disminuye. Debido a esto, se incrementa el área de la superficie friccional, bajando la uniformidad de las partículas del polvo durante el embalaje. Polvos esféricos, los cuales son normalmente producidos por atomización, tienen alta densidad aparente, alrededor del 50% de la densidad de un metal forjado.

RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE.- Decreciendo la razón entre el área de la superficie y el volumen, y disminuyendo la rugosidad de la superficie, tiende a reducir las fuerzas friccionales entre las partículas acomodadas. Esta tendencia, así de este modo, incrementa la densidad aparente.

DISTRIBUCION DEL TAMANO DE PARTICULA.- Una vía más efectiva para incrementar la densidad aparente de un polvo, consiste en llenar los espacios entre las partículas con partículas pequeñas. La cantidad relativa de gruesas y finas partículas y, el porcentaje de partículas entre los dos extremos, determina la densidad aparente.

La forma de determinar la densidad aparente, es usando

el medidor de flujo Hall como lo determina la Norma B 212 de la ASTM (Ref. 6). Básicamente, consiste en colocar el polvo en el embudo, ubicando la taza en la parte inferior; luego de llenar la taza, se mueve el embudo y se desaloja cuidadosamente el exceso de polvo con una espátula o regla. La densidad aparente en gr/cm^3 , es luego determinada, pesando el polvo contenido en la taza en gramos, y dividiendo dicho valor para 25 cm^3 .

Para polvos que no fluyen libremente, se debe usar la Norma B 417 de la ASTM (Ref. 6), que consiste en usar el medidor de flujo Carney.

RAZON DE FLUJO.

La razón de flujo, es el tiempo requerido para que una muestra de polvo estandar en peso (50 gr.), fluya bajo condiciones atmosféricas a través del embudo, para ser recogido en un recipiente cualquiera. La determinación de la razón de flujo, es importante en manufacturas de alto volumen, las cuales dependen del rápido, uniforme y consistente llenado de la cavidad del molde.

Antes que el polvo sea usado en producción, se debe conocer las características de flujo, debido a que algunas herramientas de compactación requieren un polvo

de fluidez libre, mientras que otras pueden usar polvos de fluidez pobre. El término fluidez libre, se refiere a las propiedades físicas de un polvo, tales como la composición, finura de partícula y forma de partícula, que permiten que el polvo fluya fácilmente en la cavidad.

Para determinar la razón de flujo, se usa de igual manera que el caso anterior, el medidor de flujo Hall o el Carney, de acuerdo a las mismas Normas ASTM B 212 y B 417 (Ref. 6) respectivamente. Describiendo someramente la prueba, consiste en cronometrar el tiempo, para que una muestra de 50 gr. en peso de polvo seco, desalojen el embudo. La muestra ha sido previamente vertida en el embudo, tapando el orificio de descarga con la punta de un dedo. Finalmente, se reporta la razón de flujo en $\text{seg}/50 \text{ gr.}$

ANGULO DE REPOSO.

Este ángulo se refiere al ángulo que forma un pilo de sólidos (polvos), con la horizontal y es fácilmente obtenido. Está estrechamente relacionado a la fricción interpartículas y la flujoabilidad de la menor cohesión del material. Esta propiedad es frecuentemente usada para caracterizar materiales polvoreados, tratando de seleccionar cuidadosamente su método de medida.



BIBLIOTECA

especialmente cuando el ángulo de reposo, es usado para determinar otra propiedad, y obtener el mejor reflejo de la propiedad a cuantificarse.

Existen varios métodos para evaluar el ángulo de reposo, entre los que están:

Cono a alto fijo.- El polvo es cuidadosamente desalojado desde el cono, a partir de un alto fijo respecto de la base. La tangente del ángulo de reposo, es la razón entre el alto del pilo y el radio de la base.

Cono de base fija.- Durante el desalojo del polvo desde el cono, este es levantado verticalmente con respecto a una base fija. El ángulo, es evaluado de igual manera que el método anterior.

Tabla de inclinación.- Una caja rectangular llena con polvo, es inclinada hasta antes que el contenido comience a resbalarse. El ángulo que forma la superficie inferior de la caja, con la horizontal, es el ángulo de reposo.

Cilindro rotatorio.- Un cilindro hueco sellado, lleno de polvo hasta la mitad, es rotado hasta que la superficie del polvo, presente el máximo ángulo con la

horizontal, siendo este el ángulo de reposo.

Para el presente trabajo, se selecciona el primer método, usando una base en forma de disco, que tiene un diámetro de 7.6 cm., como se demostró en la figura 17.

2.4. RESULTADOS DE LA EVALUACION.

Luego de cumplir con las normas establecidas para la evaluación de los polvos, se ha obtenido los siguientes resultados experimentales:

DENSIDAD APARENTE:

Polvo de fondo:	3.55 gr/cm ³ .
Polvo malla 200:	3.21 gr/cm ³ .
Polvo malla 100:	2.95 gr/cm ³ .



BIBLIOTEC

En la evaluación del polvo de fondo y en el de malla 200, se usó el embudo Hall, mientras que para el polvo malla 100, se aplicó el embudo Carney.

RAZON DE FUJIO:

Polvo de fondo:	35 seg/50gr.
-----------------	--------------

Polvo malla 200: 40 seg/50gr.

En estas dos mediciones, se usó el embudo Hall.

Polvo de fondo: 4 seg/50gr.

Polvo malla 200: 5 seg/50gr.

Polvo malla 100: 7 seg/50gr.

Para estas tres mediciones, se usó el embudo Carney.

ANGULO DE REPOSO:

Polvo de fondo: 35°.

Polvo malla 200: 33°.

Polvo malla 100: 30°.

2.5. MOLDEO Y SINTERIZACION.

El ensayo de moldeo consiste básicamente en la compactación del polvo obtenido. Para el efecto se selecciona la presión de compactación adecuada para este tipo de aleación, la cual se ubica en $4.21 \cdot 10^7 \text{Kg/m}^2$.

(Ref. 5). Dicha presión es conseguida por medio de una prensa manual marca Soiltest, la misma que tiene una capacidad de hasta $1.55 \cdot 10^7 \text{N}$. Se compactan 32 gr. de polvo de todos los tamaños, para construir cuatro probetas de cada una de las medidas del polvo, que luego de compactarse pasarán a la etapa de sinterización.

Con la sinterización se va a conseguir propiedades mecánicas deseadas para las probetas construidas: en este caso se obtendrá un valor de resistencia a la fluencia en compresión, seleccionando la probeta que tenga mayor dureza.

La temperatura de sinterización es fijada en 775°C , la cual es recomendada para este tipo de aleación (Ref. 5.); se utiliza el horno Thermolyne, adaptado de tal manera que su cámara contenga un gas inerte que es el Nitrógeno, el mismo que se suministra desde un cilindro a una presión de 13.78 MPa. y un flujo de $2\text{m}^3/\text{hr}$. Se puede apreciar la figura 18.

La función del Nitrógeno será evitar la oxidación de la probeta durante la sinterización, para la cual se escojen tiempos de 15, 30, 60 y 90 min.

Para facilitar el manejo de datos, se construye la tabla II, para dar designación a las probetas, tal como se

muestra en la figura 19.

Tabla II.

Designación de las probetas.

Tiempo de sinter. (min)	Tamaño del polvo		
	malla 100	malla 200	fondo.
15	11	21	1
30	12	22	2
60	13	23	3
90	14	24	4

Basándose en esta designación, se construye la tabla III, en la que se registra los valores de dureza promedios de cinco mediciones.

En las figuras 20, 21, 22 y 23 se presentan Fotomicrografías de varias probetas sinterizadas.

Como se podrá observar en la tabla III, el mayor valor de dureza corresponde a la probeta No.1, seleccionándose para el ensayo de compresión, realizado en la máquina INSTRON, tal como se aprecia en el diagrama 2, obteniéndose un valor de 10.91 Kg/mm².

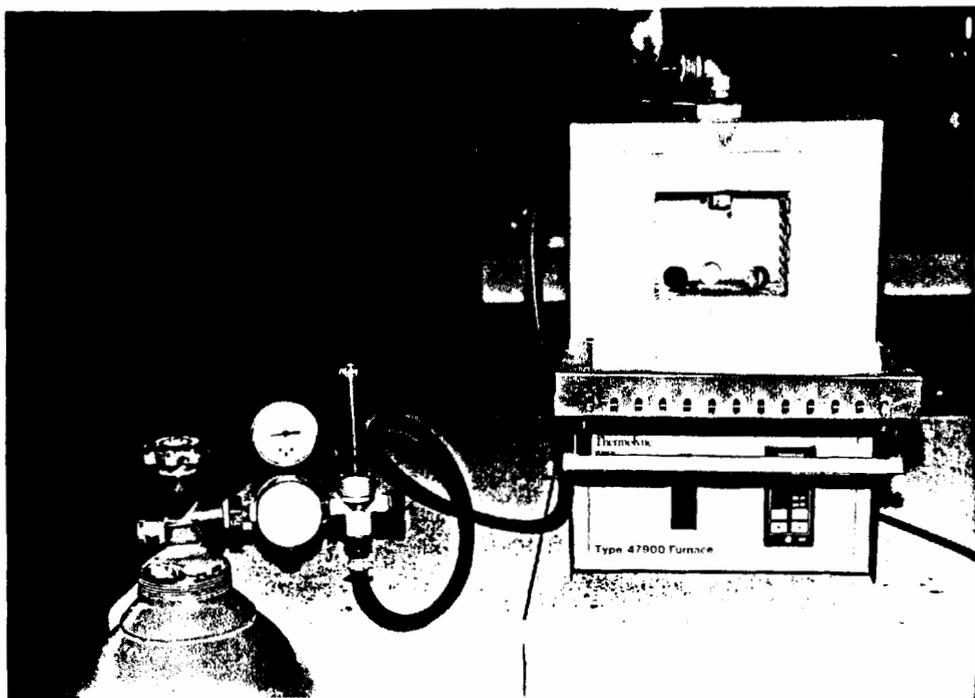


Fig.No.18.- Sinterización de las probetas.

BIBLIOTECA

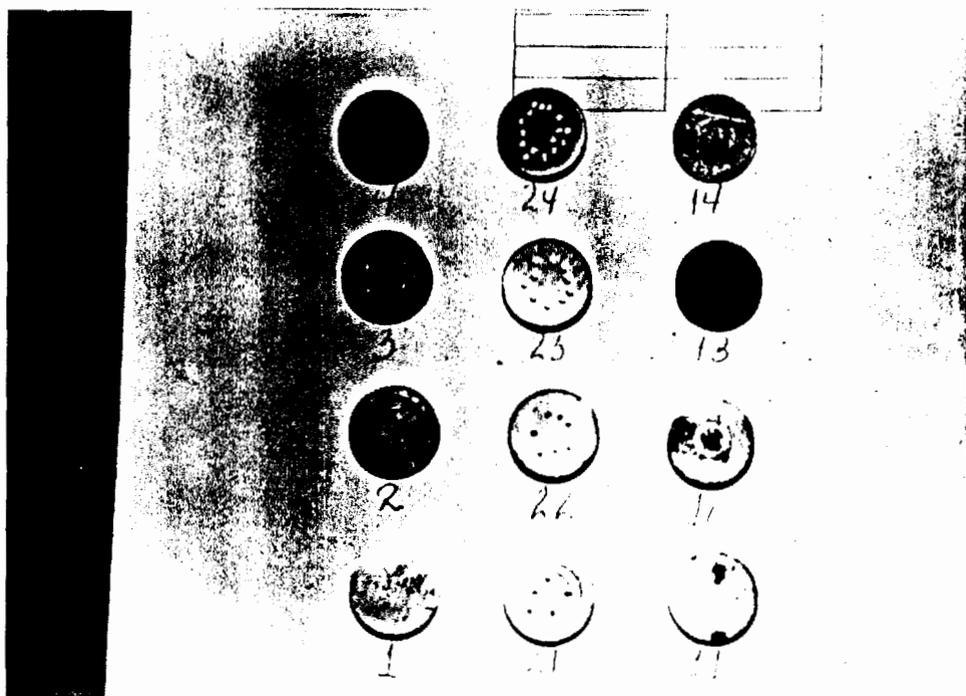


Fig.No.19.- Designación de las probetas.

Tabla III.

Valores de dureza en escala Rh.

Probeta No.	Dureza promedio Rh.
1	74.5
2	70.5
3	65
4	58
11	0
12	0
13	0
14	0
21	70.5
22	68
23	52
24	55.5

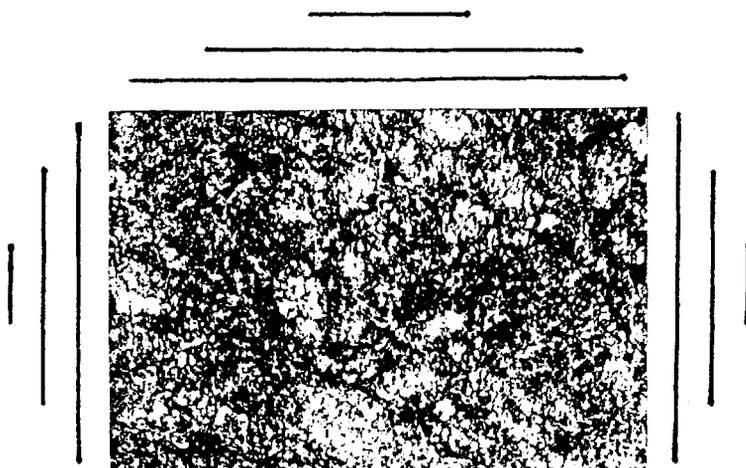


Fig.No.20.- Fotomicrografia de probeta No.1. 150X.

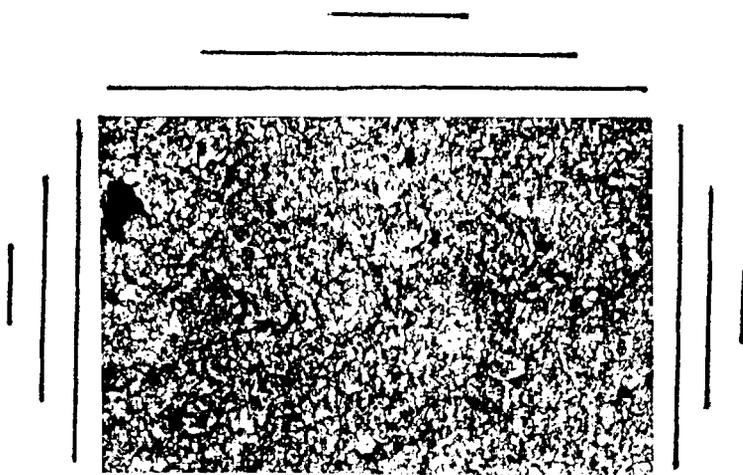


Fig.No.21.- Fotomicrografia de probeta No.4. 150X.

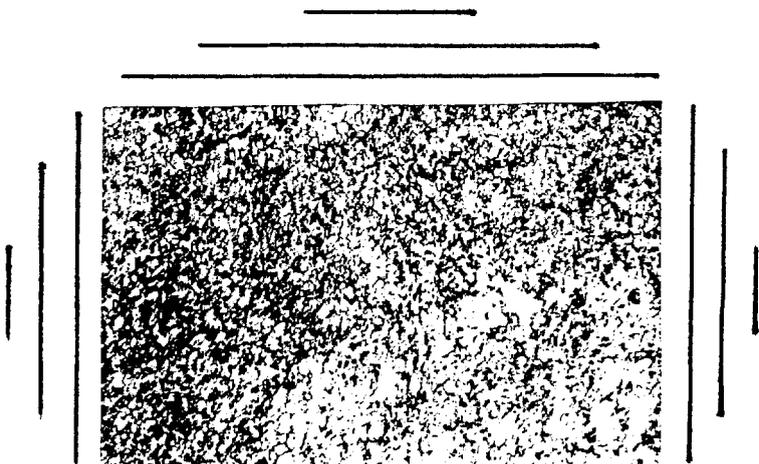


Fig.No.22.- Fotomicrografía de probeta No.21. 150X.

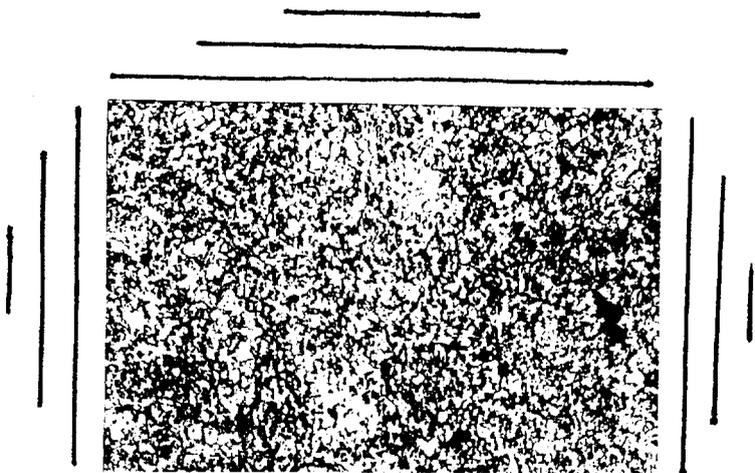


Fig.No.23.- Fotomicrografía de probeta No.24. 150X.

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS.

3.1. PROCESO DE PRODUCCION.

El resultado de seguir el proceso de manufactura de polvos de bronce, en el presente trabajo experimental, ha tenido una eficiencia baja, en producción de polvo, basándose en el hecho de que no todo el material logró atomizarse, tal como se hizo referencia en el Capitulo II, sección 2.1.

Los factores más importantes, motivo de la baja eficiencia, comprenden limitaciones que se presentaron en el proceso. Dentro de tales limitaciones, está la falta del equipo de bombeo de agua a alta presión, ya que la prueba final se realizó con la ayuda de una motobomba. La falta de dicho equipo, no permite la ejecución de nuevas pruebas para corregir errores.

Un grave problema que se presentó en el desarrollo de la prueba, fue la solidificación del metal en la cavidad del múltiple de agua, tapando la descarga de metal

líquido y por lo tanto deteniendo el proceso. Dicha solidificación, se debe al enfriamiento violento del metal líquido, arriba del punto de interacción de los chorros de agua con el chorro de metal, causando la paralización del proceso. Este chisporroteo, es causado por la poca inclinación del ángulo de ataque de los chorros de agua, que para este caso fue de 30° . Esta inclinación, juega un papel importante en lo que se refiere a la distancia que recorre el chorro de metal líquido, desde que sale de la tobera del distribuidor hasta el punto de choque, distancia que debe estar ubicada entre los límites hechos referencia en el Capítulo I, sección 1.2. y, que para el presente trabajo fue de 20 cm.

Otra limitación importante que condujo a un nuevo problema, fue la falta del equipo de secado del polvo, causando la contaminación del mismo con el oxígeno presente en los procesos convencionales de secado, tales como la emisión de calor con la ayuda del Horno Thermolyne del laboratorio, usado en esta experiencia.

3.2. POLVOS OBTENIDOS.

Realizado el proceso de fabricación, se ejecuta el análisis micro y macroscópico de los polvos obtenidos.

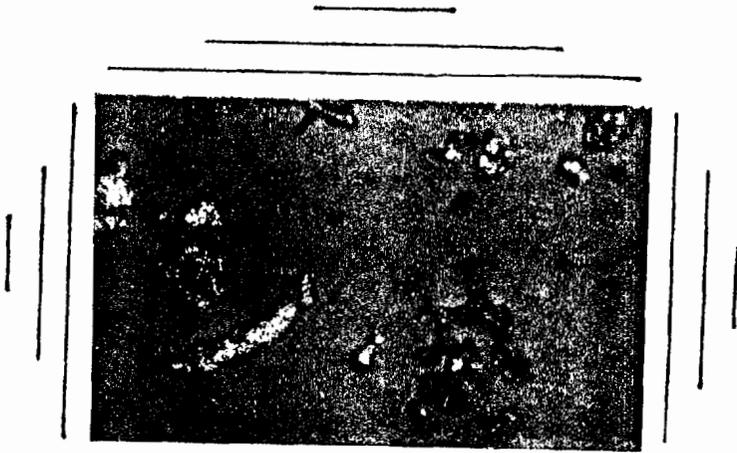


Fig.No.24.- Macrofotografía del polvo en bruto. 32X.

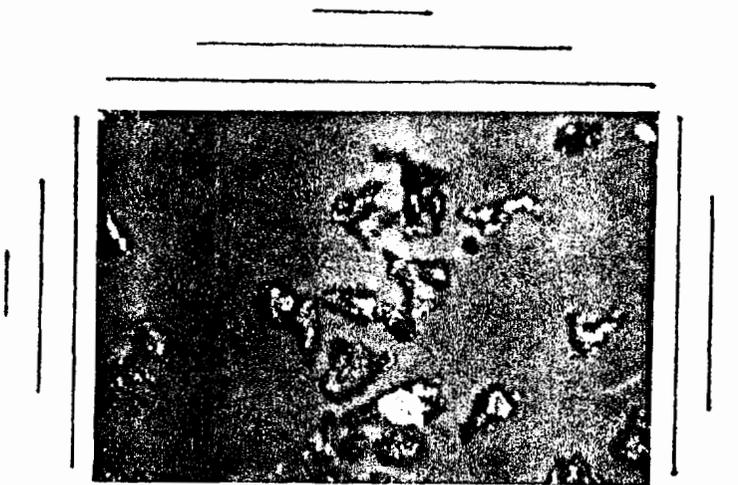


Fig.No.25.- Macrofotografía del polvo malla 100. 32X.

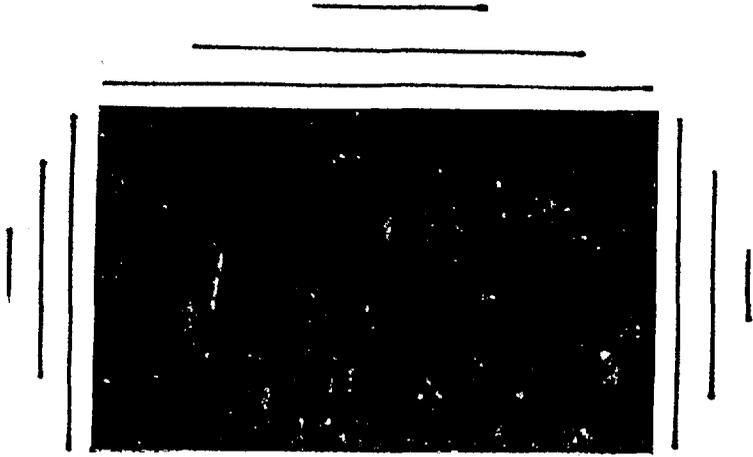


Fig. Nº.26.- Macrofotografía del polvo malla 200. 32X.

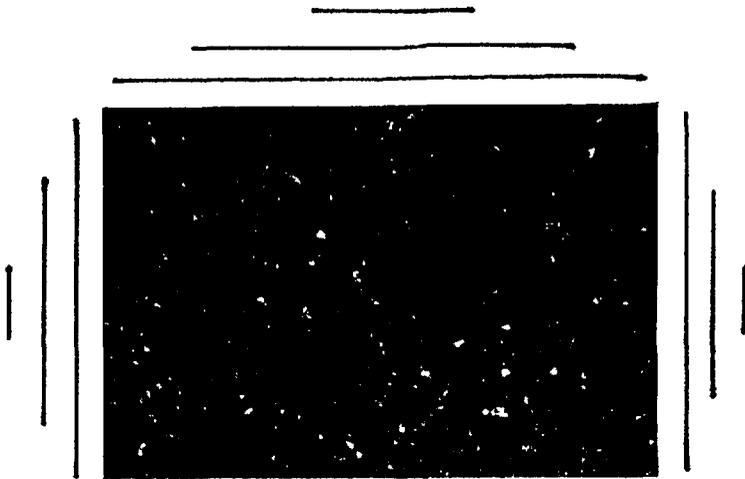


Fig. Nº.27.- Macrofotografía del polvo de fondo. 32X.

En la figura 24, se puede observar las características en cuanto a dimensión y forma del polvo sin separación, por lo tanto se aprecian varios tamaños de granos, en los porcentajes que se registraron en el Capítulo II, sección 2.1.

Observando las macrofotografías 25, 26 y 27 mostradas anteriormente, se puede apreciar la característica en cuanto a forma del polvo, encontrándose que las partículas son irregulares, del tipo 4 de la Fig. 5, propio de polvos fabricados con este proceso.

En el Capítulo II, sección 2.5., la tabla que registra los valores de dureza, presenta que el mayor valor de la misma corresponde a la probeta No.1, y como se dijo anteriormente, fue la seleccionada para el ensayo de resistencia a la fluencia en compresión, obteniéndose un valor muy acertado para este tipo de aleación. (Ref. 4.)

3.3. COMPARACION CON POLVOS IMPORTADOS.

Analizando las macrofotografías anteriores, y, con una macrofotografía del polvo importado, se asegura que la similitud en cuanto a tamaño y forma de grano, se encuentra con el polvo de fondo, tal como se puede apreciar en las figuras 28 y 29.

Del Capitulo II, sección 2.4, se puede observar que los valores de densidad aparente y razón de flujo para el polvo nacional, guardan bastante acercamiento, aunque la composición química de ambos es diferente. Sin embargo, se puede realizar la siguiente comparación:

Polvo nacional vs. Polvo importado.

Dens. aparente:	3.55 gr/cm³.	3.02 gr/cm³.
Razón de flujo:	30 seg/50gr.	33 seg/50gr.
Angulo de reposo:	35°.	35°.

Estos valores, demuestran que los polvos fabricados localmente, tienen calidad aceptable con respecto a polvos importados de especificaciones conocidas.

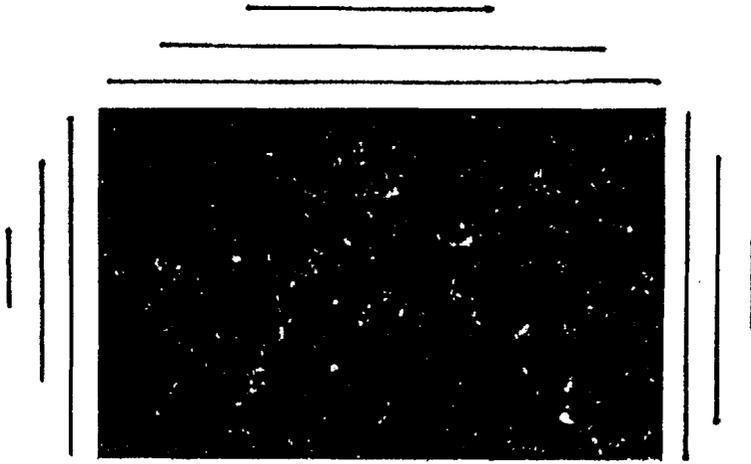


Fig.No.28.- Macrofotografía del polvo de fondo. 32X

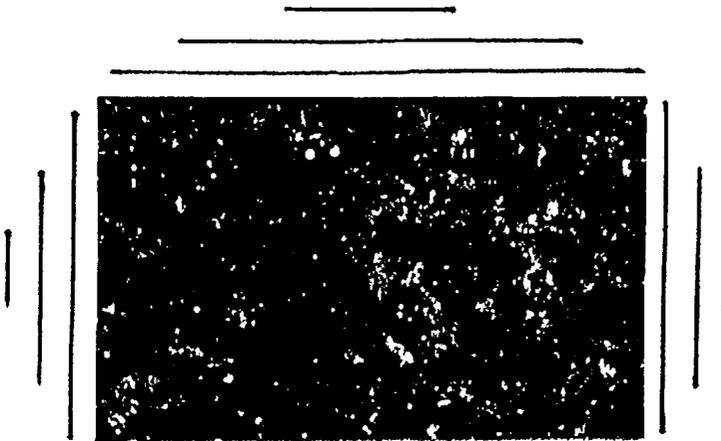


Fig.No.29.- Macrofotografía del polvo importado. 32X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

La secuencia del proceso de producción seguida en este trabajo, nos ha llevado a concluir lo siguiente:

- 1.- Es posible fabricar polvos de aleaciones de Cobre, usando la técnica de atomización con chorros de agua.
- 2.- Las pruebas realizadas sobre los polvos obtenidos, demuestran que se obtiene un producto sinterizado de características y propiedades ingenieriles, ajustadas a normas de control de calidad.
- 3.- Es imprescindible contar con el equipo de secado adecuado, para evitar la oxidación de las partículas.
- 4.- Aún cuando se trata de una Tecnología compleja, es posible pasar a desarrollar un equipo piloto, para una investigación y optimizar el proceso.
- 5.- La comparación de propiedades y características metalúrgicas de los polvos importados, y el producido en esta tesis, indica que no existen

diferencias importantes.

6.- El proceso de atomización de aleaciones de Cobre, reviste menor complejidad de las demás que son susceptibles de usarse, y esta ha sido la razón por lo que sin tener ninguna experiencia anterior, ha sido posible lograr éxito en nuestro objetivo.

RECOMENDACIONES:

De acuerdo al objetivo planteado, después de haber aplicado la metodología de experimentación y haber realizado la evaluación de los resultados, me permito hacer las siguientes recomendaciones para futuros trabajos, y que son producto de las experiencias exitosas y fallidas encontradas a través de mi trabajo:

- 1.- Impulsar un programa de investigación, sobre la fabricación de polvos metalúrgicos, tendiendo a abarcar la mayor cantidad posible de materiales, con el fin de satisfacer las diversas aplicaciones requeridas.
- 2.- Mejorar las características de diseño del pulverizador, usado en esta Tesis, con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso.



3.- Desarrollar proyectos de la Facultad que integren las áreas, para el diseño y la construcción de bomba de alta presión y alto caudal; así como el secador al vacío, requeridos en el equipo experimental.

T A B L A S.

D I A G R A M A S.

A N E X O S.

TABLA IV

TEMPERATURAS DE SINTERIZACION CONVENCIONALES PARA ALEACIONES A BASE DE COBRE.

M A T E R I A L	RANGO DE TEMPERATURA DE SINTERIZACION		TEMPERATURA PREFERIDA DE SINTERIZACION	
	C	F	C	F
Cobre	750-1000	1380 -1830	900	1650
90-5 Cu-Sn Bronce	850- 885	1560-1625	870	1600
90-10 Cu-Sn Bronce	750- 830	1380-1525	810	1490
88-10-2 Cu-Sn-Zn Bronce	750- 815	1380-1500	800	1470
88-10-2 Cu-Sn-Pb Bronce	725- 800	1335-1470	775	1425
90-10 Brass	860-940	1580-1725	880	1615
80-20 Brass	840-920	1545-1690	870	1600
70-30 Brass	825-900	1515-1650	865	1590
90-10 Cu-Ni cupro-nickel	910-1060	1670-1940	1010	1850
70-30 Cu-Ni cupro-nickel	940-1080	1725-1975	980	1800
70-25-5 Cu-Ni-Sn Cupro-nickel	940-1010	1725-1850	980	1800

TABLA V.

PARAMETROS Y VARIABLES USADOS EN LA EXPERIENCIA.

Longitud del chorro de metal	200 mm.
Diámetro del distribuidor	180 mm.
Cabezal de metal líquido	286 mm.
Diámetro del orificio de la tobera	6.3 mm.
Temperatura del metal	1150°C.
Flujo de metal	60 lb/min.
Presión de agua	3.44 MPa.
Caudal de agua	5.6 lt/seg.
Velocidad del chorro de agua	70 m/seg.
Angulo de los chorros de agua	30°.



ACONOTIZADA

DIAGRAMA 1.

Efecto del tamaño de partícula sobre la pérdida de H_2 .

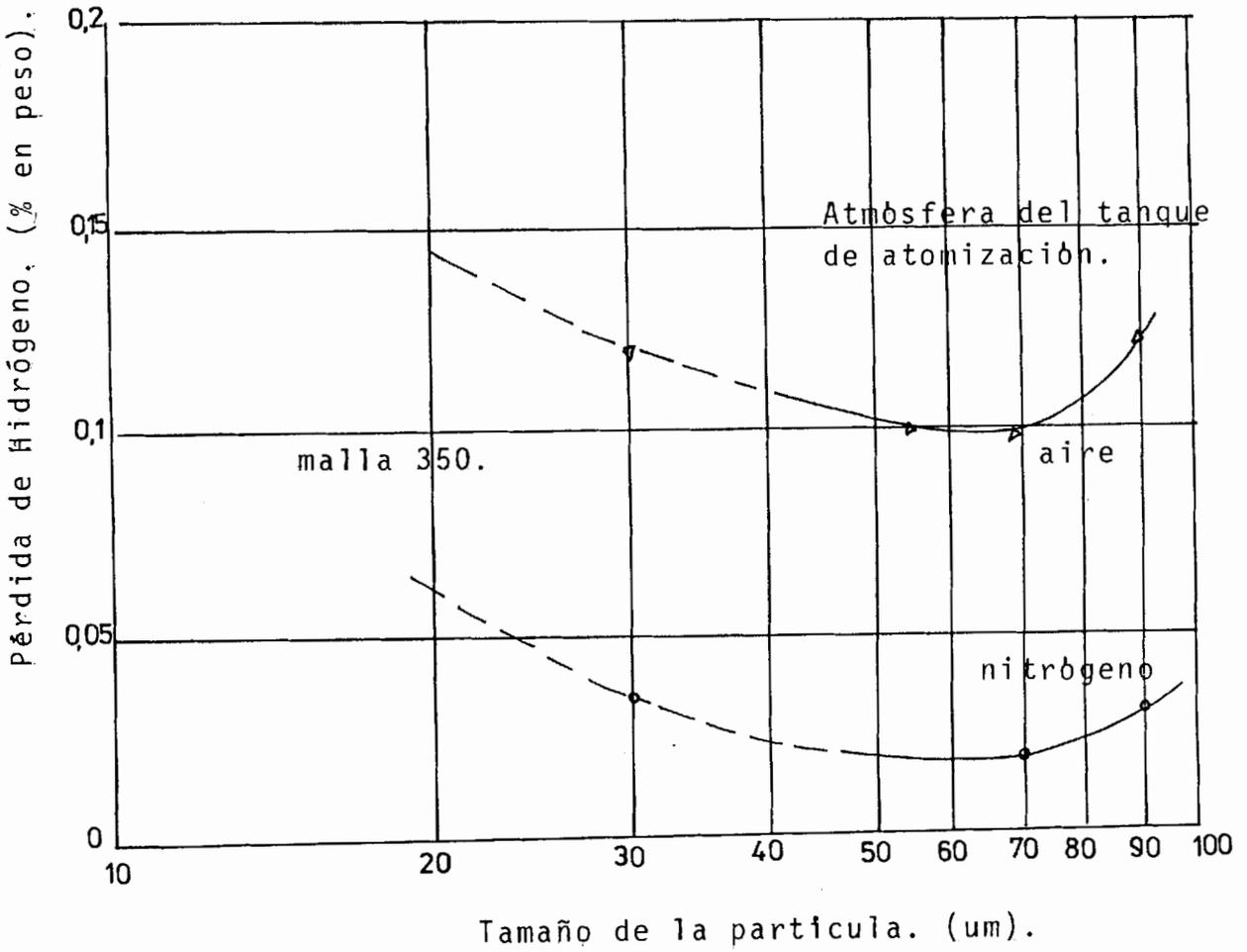


DIAGRAMA 2.

Ensayo de fluencia a la compresión.

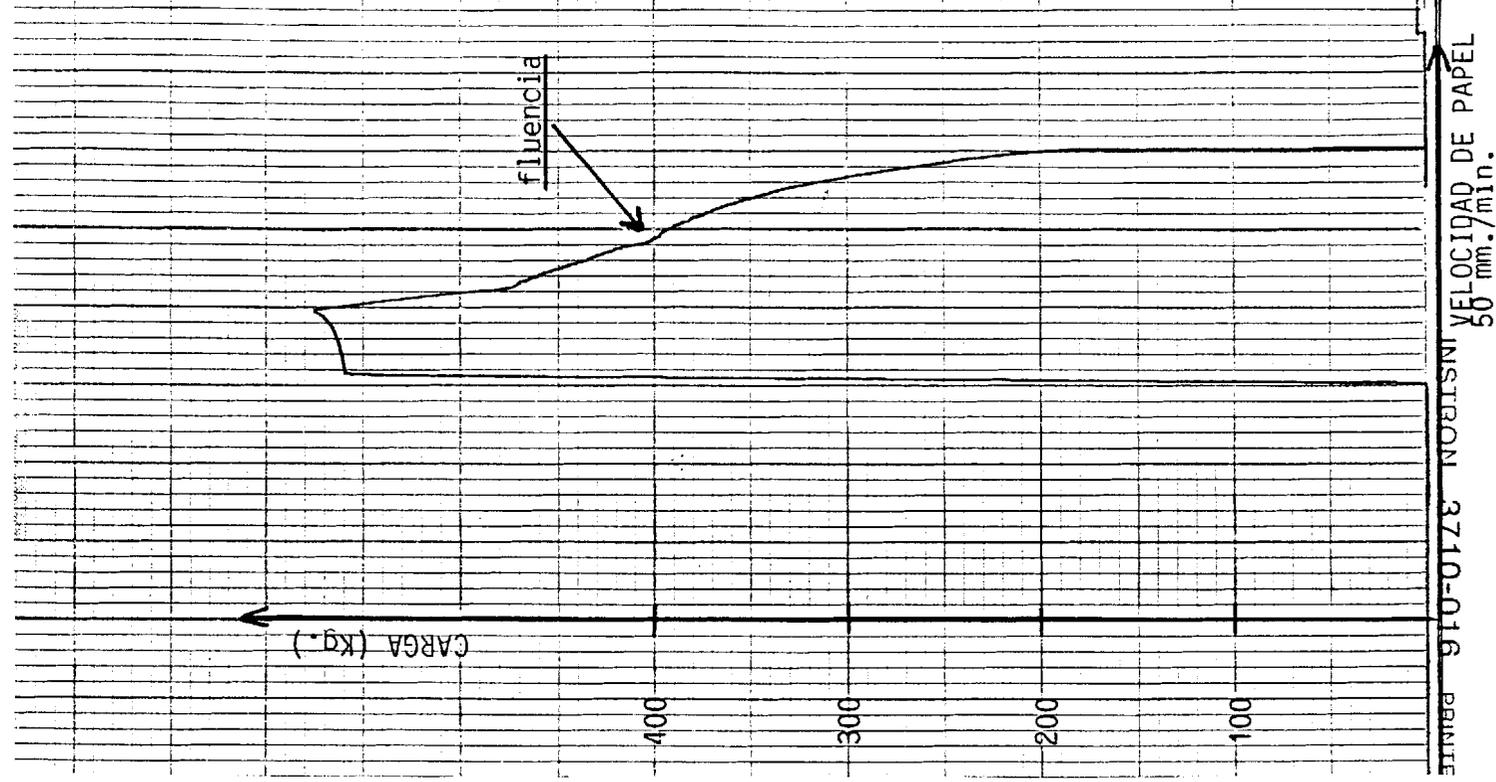
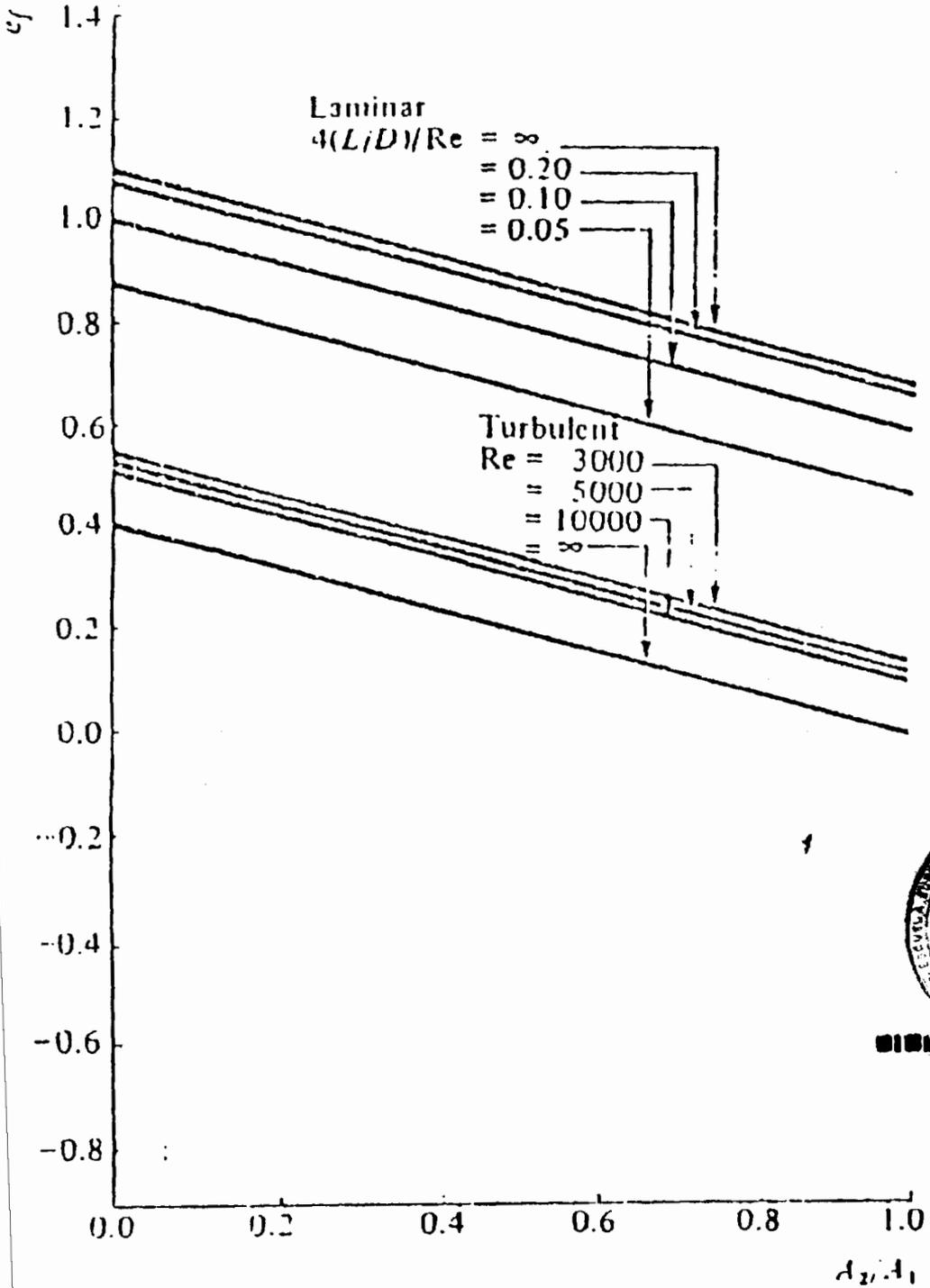


DIAGRAMA 3

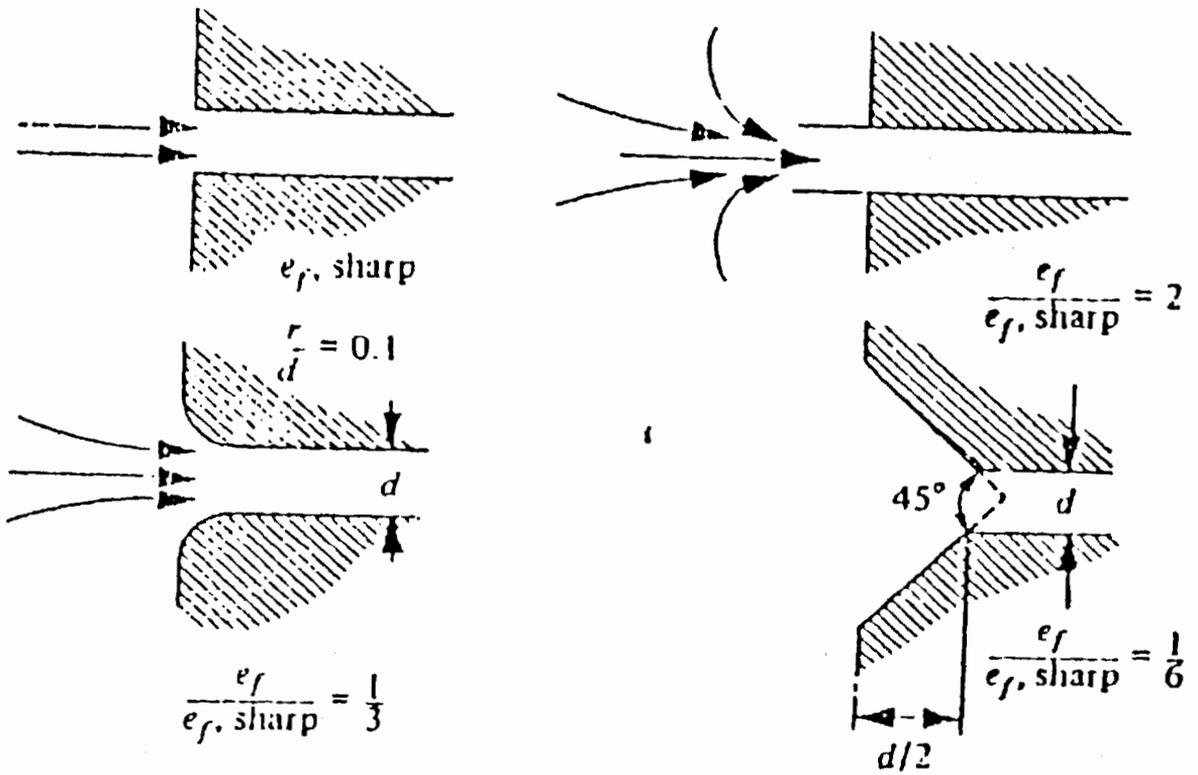
Factor de pérdida por fricción debido a contracción.



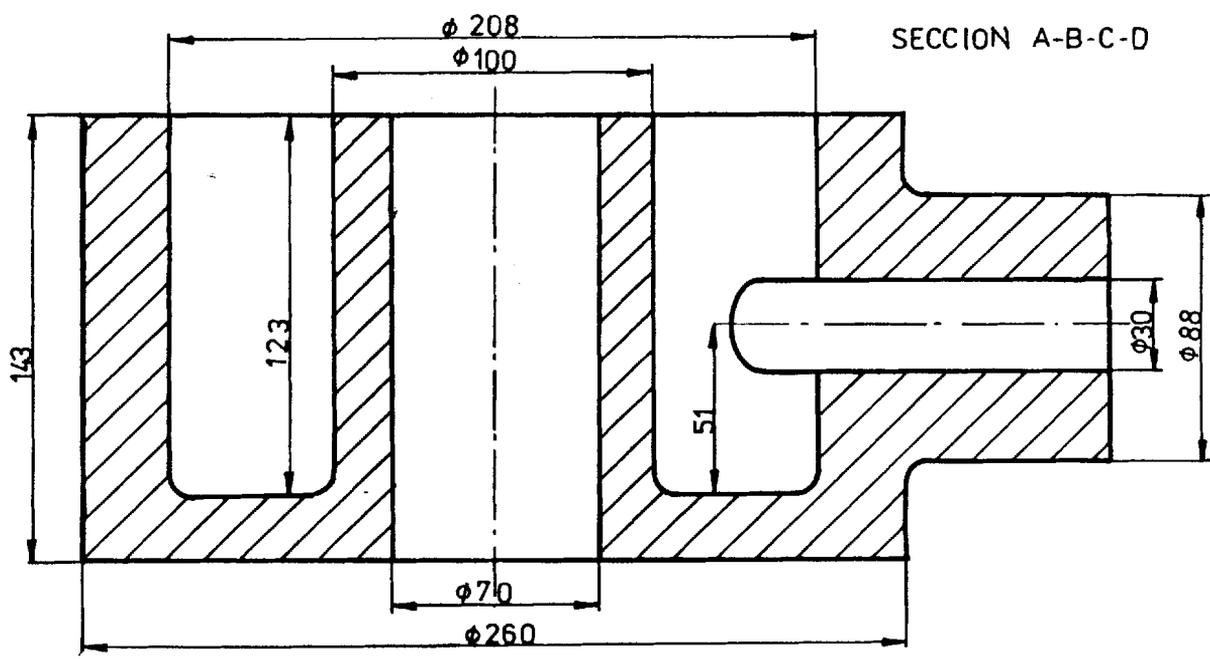
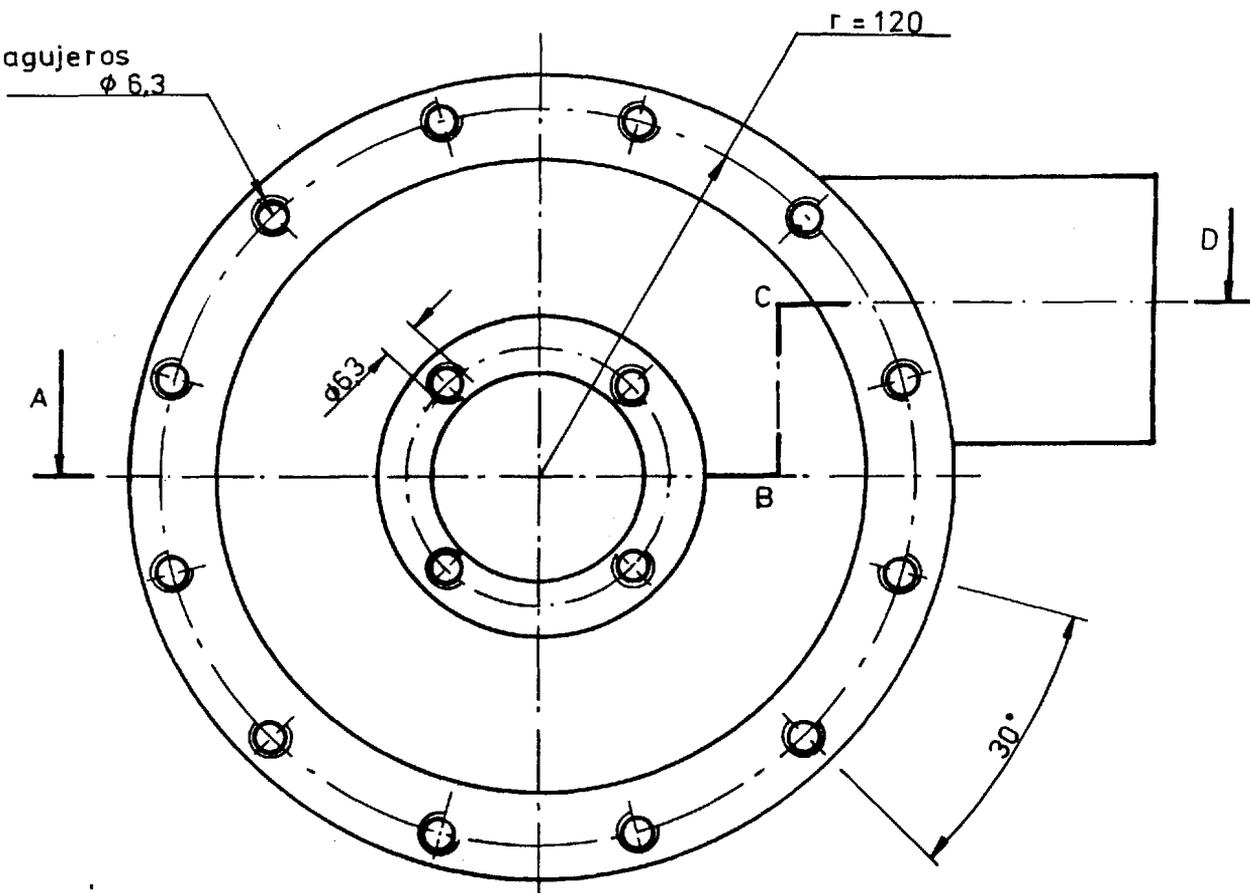
BIBLIOTECA

DIAGRAMA 4

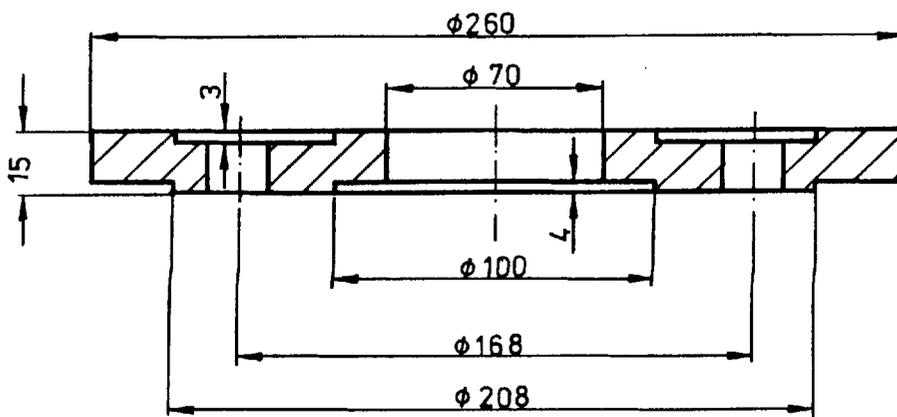
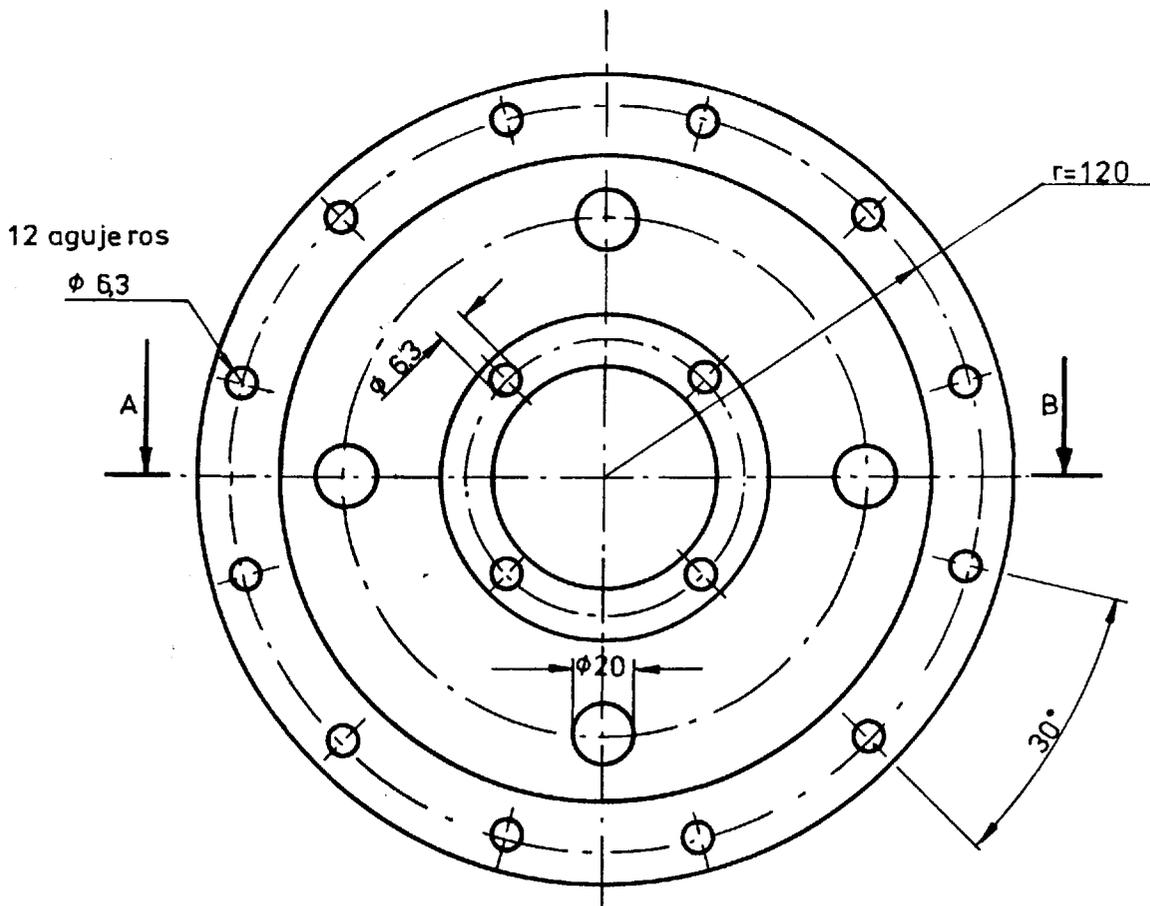
Coeficiente de pérdida por la entrada.



BIBLIOTECA

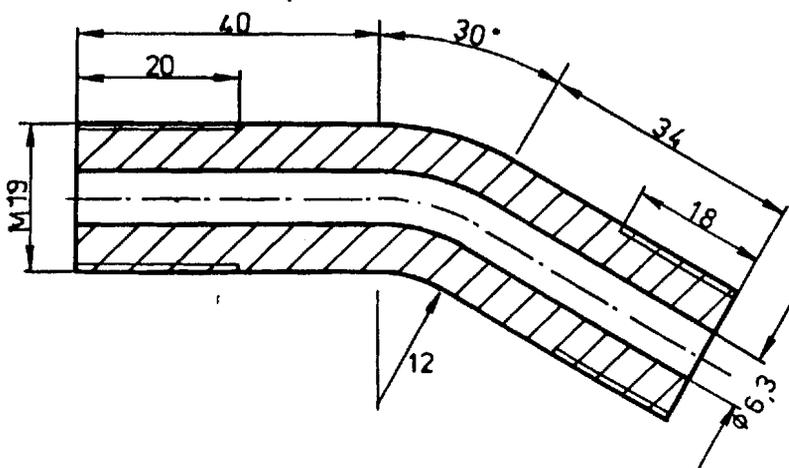


1	1	Cuerpo de multiple	Aluminio
N	CANT	Denominación	Material
fecha	Nombre	ANEXO 1	E 1:2
Dib	L. Zambrano		
Rev	Ing. I. Wiesner		
Appro	Ing. I. Wiesner		
E.S.P.O.L.		EQUIPO DE ATOMIZACION	

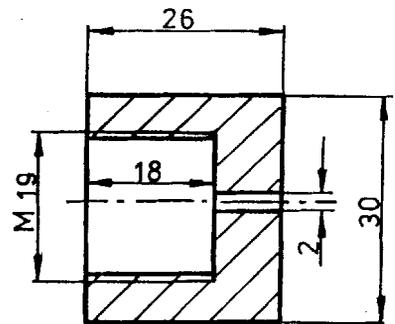
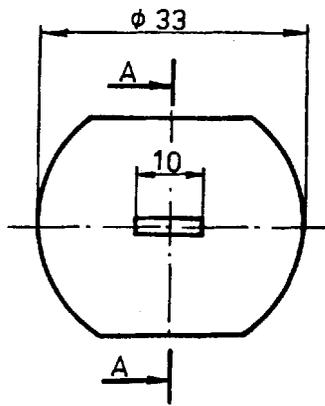


SECCION A-B

3	1	Tapa de multiple	Aluminio
N	CANT	Denominacion	Material
fecha	Nombre	ANEXO 2	E 1:
Dib	Luis Zambran		
Rev	Ing. I. Wiesner		
Apro	Ing. I. Wiesner		
E.S.P.O.L.		EQUIPO DE ATOMIZACION	



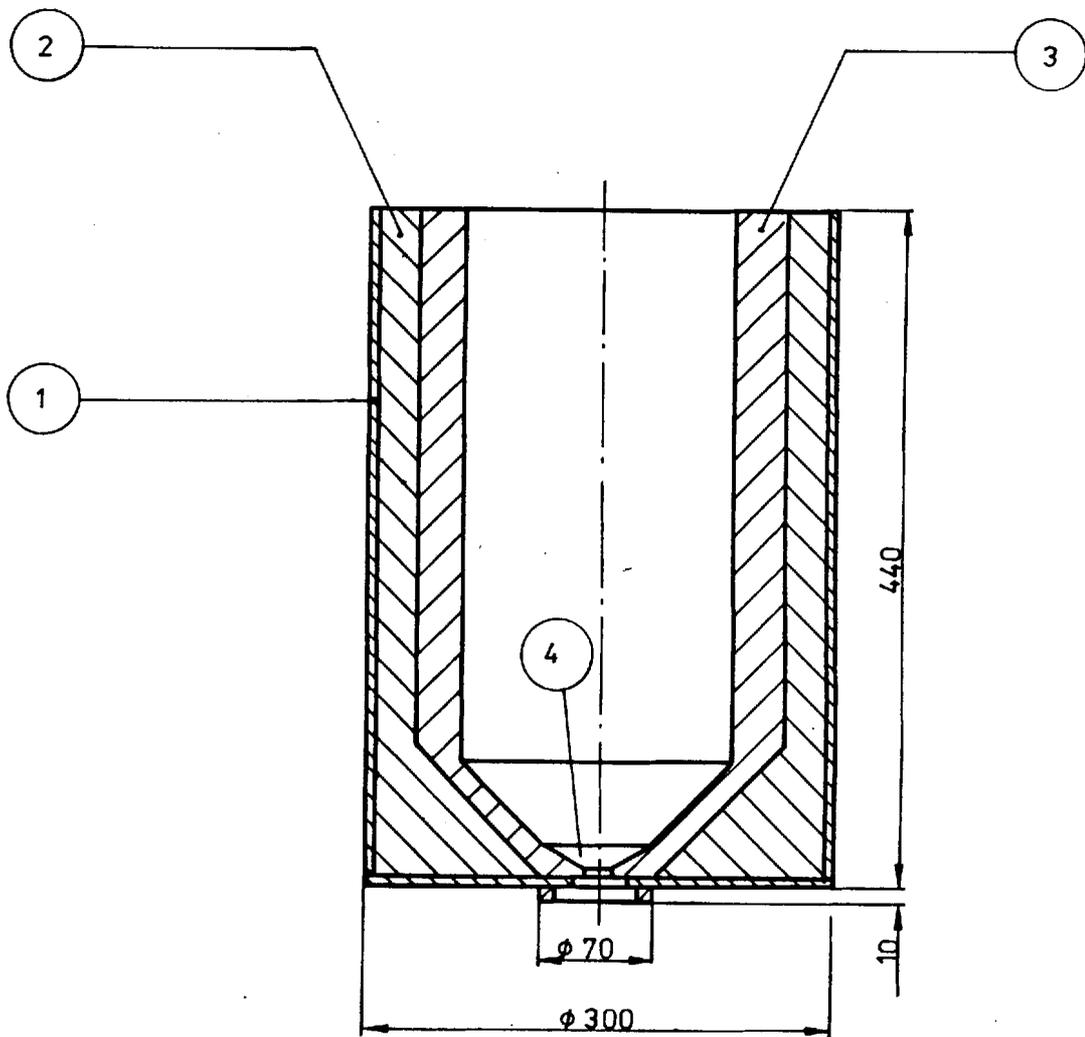
2	4	Porta tobera	bronce
N	CANT.	Denominación	Material
	fecha	Nombre	ANEXO 3
Dib		L Zambrano	
Rev		Ing. I. Wiesner	
Apro		Ing. I. Wiesner	
E.S.P.O.L.		EQUIPO DE ATOMIZACION	



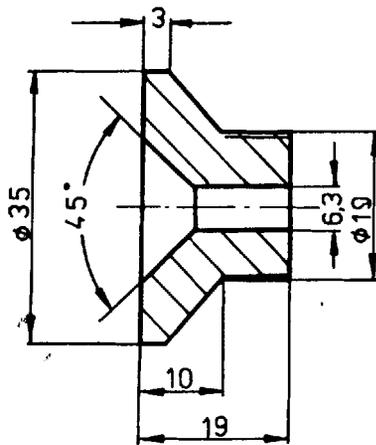
SECCION A-A

1	4	Tobera	bronce
N	CANT	Denominación	Material
	fecha	Nombre	ANEXO 4
Dib		L Zambrano	
Rev		Ing Wiesner	
Apr		Ing Wiesner	
E.S.P.O.L.		EQUIPO DE ATOMIZACION	

E 1:1



4	1	boquilla	
3	1	Refractario silicato de Na	e = 32mm
2	1	Cemento refractario	e = 28 mn
1	1	Base	plancha e=3mm.
N	CANT	Denominación	Material
	fecha	Nombre	
Dib		L. Zambrano	ANEX05
Rev		Ing. I. Wiesner	
Apro		Ing. I. Wiesner	
E.S.P.O.L.		DISTRIBUIDOR	E 1:5



1	1	Boquilla	
N	CANT	Denominación	Material
	fecha	Nombre	
Dib		Ing. Zambrano	ANEXO 6
Rev		Ing. Wiesner	
Appro		Ing. Wiener	
ESPOL		DISTRIBUIDOR	E 1:1



BIBLIOTECA

ANEXO 7.

CALCULO DEL DIAMETRO DEL ORIFICIO DE LA TOBERA DE
DESCARGA DE METAL LIQUIDO.

$$t_f = \frac{\pi D_1^2}{2 A_n C_d} \left(\frac{h_0}{2g} \right)^{1/2} \quad \text{ec. 1.}$$

$$C_d = \left(\frac{1}{\beta} + e_f \right)^{-1/2} \quad \text{ec. 2.}$$

$$\frac{dw}{dt} = A_n f \bar{v} \quad \text{ec. 3.}$$

$$Re = \frac{f \bar{v} d}{\mu} \quad \text{ec. 4.}$$

donde:

t_f = tiempo de descarga = 210 seg.

π = 3.141592654

D_1 = diámetro del distribuidor = 0.59 pies.

A_n = área del orificio de tobera.

C_d = coeficiente de descarga.

h_o = cabezal de metal líquido = 0.938 pies

g = constante gravitacional = 32.2 pies/seg².

β = constante debida al flujo.

e_f = constante debida a la forma de la tobera.

dw/dt = razón de flujo de metal = 60 lb/min.

ρ = densidad del metal a 1100°C = 496.94 lb/pies³.

R_e = número de Reynolds.

d = diámetro del orificio.

μ = viscosidad del metal a 1100°C = 3.33C_p. =
C_p * 2.419 = 8.05 lb/pie hr.

de la ecuación 3 tenemos:
$$\bar{v} = \frac{dw/dt}{A_n \rho}$$

asumiendo $d = 0.25$ pulg. obtenemos $A_n = 3.39 * 10^{-4}$ pie².

por lo tanto: $\bar{v} = 5.93$ pie/seg.

de la ecuación 4 tenemos: $R_e = 2.7 * 10^4$

$\beta = 1$ para flujo turbulento.

En el diagrama 3 con $A_2/A_1 = d/D_1 = 0.0352$ y con R_e

$$e_f' = 0.45$$

del diagrama 4, corrección de e_f debido a la entrada:

$$e_f/e_f' = 1/6 \quad \text{por lo tanto } e_f = 0.075$$

de la ecuación 2 tenemos: $C_d = 0.96$

de la ecuación 1 tenemos:

$$A_n = \frac{\pi D_t^2}{2t_f C_d} \left(\frac{h_o}{2g} \right)^{1/2}$$

$$A_n = 3.27 * 10^{-4} \text{ pies}^2.$$

con $A_n = \pi d^2/4$ tenemos $d = 0.0205$ pies = 6.3 mm.

BIBLIOGRAFIA.

1. ASM. Metals Handbook (Ninth Edition), Ohio 1984
2. GEIGER. POIRIER. Transport Phenomena in Metallurgy, Massachusetts, 1973, P. 118-137.
3. CRC PRESS. INC., Handbook of Chemistry and Physics, (59 th. Edition), Florida, 1979, P. 1019.
4. GUEBARA, C. Elaboración de Bronce al Estaño con alto contenido de Plomo para cojinete de cargas elevadas, Tesis de grado, 1983
5. MORENO, M. Fabricación de bocines pulvimetalúrgicos, Tesis de grado, 1990
6. ASTM. Anual book of ASTM Standards, Philadelphia, 1976
7. MENDOZA, I. Fabricación de piezas por pulvimetalurgia, Tesis de grado, 1984