

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

APLICACION DE LA PULVIMETALURGIA A LA
FABRICACION DE PARTES MECANICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A
JESUS MARTIN PLIEGO VAZQUEZ

MEXICO, D. F.

1968



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
Dirección
Núm.73-70.-E.P.
Exp.Núm.73/214.2

Al Pasante señor Jesús Martín PLIEGO VAZQUEZ
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor Ingeniero Alberto Gamacho S., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA.

APLICACION DE LA PULVIMETALURGIA A LA FABRICACION
DE PARTES MECANICAS

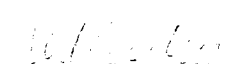
"Introducción:


- I. Métodos para la producción del polvo de hierro
- II. Propiedades, importancia comercial y aplicaciones de los polvos de hierro.
- III. Pruebas, materiales y normas en la pulvimetalurgia del hierro.
- IV. Tratamiento de los polvos de hierro
- V. Prensado, útiles y herramientas
- VI. Sinterización
- VII. Conclusiones."

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. 16 de Abril de 1968
EL DIRECTOR


Ing. Manuel Paulín Ortiz


MPO:MMO:bag

A mis padres...

a mis amigos...

y a todos mis maestros.

P R O L O G O

Al realizar este trabajo, tuve un propósito fundamental, que consiste en proporcionar al lector, la exposición más objetiva posible de un cierto proceso de manufactura, resaltando los puntos más importantes, analizando las ventajas y desventajas y mencionando sus limitaciones.

Esta tesis es un estudio del tipo tecnológico de materiales, pues el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de algunos de ellos y las características de ciertos procesos fundamentales, son necesarios para la comprensión exacta de lo que es la Metalurgia de los polvos de metal.

Asociaciones como MPI, DIN, FPM, ASTM, etc., tienen ya normas perfectamente establecidas para hacer posible la fabricación de piezas mecánicas, por este método. Manuales y publicaciones de ellas, fueron fuente valiosa para mi propósito, así como, los resultados de pruebas solicitadas a las compañías Hoeganaes de E.U.A. y Höganäs, de Suecia, experimentos realizados personalmente y lo más importante, la aplicación de la modesta experiencia adquirida en la Cía. INDUSTRIAS - VIRREY, a cuyo Gerente agradezco su colaboración.

La Pulvimetalurgia de los metales (principalmente el hierro y el cobre), aplicada a la industria de la manufactura mecánica de partes estructurales, tiene grandes alcances, particularmente en México, pues dentro de su rango de aplicación, ofrece grandes ventajas sobre otros procesos que se conocen casi desde siempre.

Si la persona que haya leído ésta tesis, cree estar seguro que conoce un método apropiado para determinado campo de fabricación y además que sabe en que consiste de principio a fin, me sentiré satisfecho, porque con ello habré contribuído a la difusión técnica del método y consecuentemente a un mejor desarrollo industrial en México.

INTRODUCCION

A) Definición e Historia del Polvo de Hierro.

B) La Metalurgia del Polvo o Pulvimetalurgia.

A) DEFINICION E HISTORIA DEL POLVO DE HIERRO.

El término "Polvo de Hierro" es la traducción de Iron powder, lo cual, quiere decir hierro en forma del polvo. Esto es solo una definición, pero realmente en la Industria, éstos polvos contienen aproximadamente 90% de hierro metálico en forma de óxidos de hierro.

Podemos dar una definición al respecto: "Polvo de hierro" es hierro en forma de polvo, el cual, excede de 20 mallas U.S. y consiste por lo menos de un 85% de hierro metálico del cual, el balance indica que contiene principalmente óxidos de hierro.

En los TIEMPOS ANTIGUOS, el hierro metálico se conoció aproximadamente 6000 años A.C., sin embargo el polvo de hierro fue probablemente introducido por primera vez dentro de la técnica del Hierro, como 1000 años D.C. cuando los árabes y los germanos hicieron sus primeras espadas ya de alta calidad.

ANTES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, en 1920-1930, se produjo polvo a base de hierro poroso (hierro esponja) y de éste se hicieron las primeras partes de máquinas que se venían fabricando por métodos convencionales y costosos.

En 1930, en Alemania, se fabricó el polvo "Hametag" mediante el molido de un alambre de hierro dulce. En Estados Unidos se produjo el polvo de hierro esponja o poroso. En ese tiempo también, el polvo de hierro "Carbonyl" dominó el campo de fabricación de piezas magnéticas tales como núcleos magnéticos, magnetos de tipo Alnico y todo tipo de piezas para uso magnético conocido en ese tiempo.

DURANTE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, a fines, Alemania producía 4000 toneladas de polvo al mes. Se crearon dos métodos principales en ese país: 1) El DPG que consistía en la desintegración de hierro derretido al caer en un disco rotatorio bañado por agua fría, y 2) El Malmesmann, donde el flujo de hierro derretido era convertido en polvo mediante la acción de un chorro de aire, vapor o agua.

El uso más notable del polvo de hierro en ese tiempo, fue para la manufactura de electrodos para soldadura.

DESPUES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, hubo un aumento notable en la demanda del polvo de hierro y la técnica conocida fue económica—mente insuficiente para producir esa demanda requerida, o sea, los procesos conocidos resultaron antieconómicos y hubo que sacrificar la cali—dad para abastecer el mercado.

Poco después, tanto en América como en Europa, la técnica del polvo tuvo un gran desarrollo y practicamente sólo hubo un campo que el hierro esponja no logró abordar, éste fue el de la fabricación de nú—cleos magnéticos para altas frecuencias y otros tipos de piezas para —uso electrónico.

B) LA METALURGIA DEL POLVO O PULVIMETALURGIA.

El objeto por el cual se consideró éste inciso dentro de la —introducción, fue para proporcionar al lector una visión muy general de lo que éste trabajo contiene. Espero que con ello, se puedan abordar —más facilmente todos y cada uno de los capítulos, los cuales, se refie—ren ya a estudios concretos dentro de la Pulvimetalurgia de los metales en general.

¿QUE ES LA METALURGIA DEL POLVO?

La Pulvimetalurgia es un proceso para producir piezas de me—tal a partir de mezclas de polvos, compactando la mezcla en frio para —formar el contorno, y así calentando esa masa compactada en una atmósfe—ra controlada, se logra la adhesión o fusión de las superficies en con—tacto de las partículas y con ello, se obtienen las propiedades necesari—as en la pieza. Estas piezas pueden ser posteriormente reprensadas,—impregnadas con aceite o plástico, infiltradas con un metal o aleación—de bajo punto de fusión, tratadas térmicamente en una segunda sinteriza—ción, templadas, cementadas, enchapadas, etc.

Estos procesos básicos parecen simples, pero, requieren de —una larga experiencia por parte de especialistas técnicos, además de —una materia prima de óptimas características.

MEZCLADO:

Aquí partimos de la existencia del polvo de hierro ya como —

materia prima, el cual, es llamado material crudo.

Los materiales crudos requieren de un control casi perfecto, alta pureza, partículas de tamaño y forma adecuados, etc. Los polvos de metal comerciales y los más comunes, incluyen: cobre, hierro, estaño, plomo y níquel; o polvos aleados como: latón, bronce, níquel - plata y un gran número de aceros incluyendo aleaciones de aceros inoxidable.

Una vez obtenida la mezcla requerida, los polvos son cuidadosamente pesados y dosificados para obtener las proporciones correctas. Mencionaremos frecuentemente el hierro porque es el elemento más importante, solo o combinado.

COMPACTADO:

La mezcla de polvos es introducida en un molde con medidas muy precisas, posteriormente se compacta mediante un punzón superior y otro inferior. Existen uno o más dispositivos que actúan como corazones en el formado de la pieza.

El rango de presión usado es de 10 a 100 toneladas/pulg.² dependiendo del tipo de material usado y la densidad requerida.

SINTERIZADO:

Después de la compactación, las partes son sinterizadas, o sea, son pasadas a través de un horno en una atmósfera de protección y manteniendo una temperatura como de un tercio del valor de la temperatura de fusión del principal constituyente. La atmósfera de sinterización y la temperatura, permiten que las partículas de polvo se adhieran entre si en una especie de fusión. Durante el proceso de la pieza, hay una etapa de enfriamiento.

En conclusión, la operación de Sinterización permite la fusión de las partículas de polvo para obtener partes de constitución homogénea con las propiedades físicas deseadas.

CLASIFICACION POR TAMAÑO Y REPRESADO.

Después del Sinterizado y en ciertos procesos, las piezas

quedan listas para trabajar, pero en otros, se necesita mayor densidad o corregir la dilatación de la pieza en el sinterizado y entonces se ha ce necesario reprensar esas piezas.

El reprensado se logra introduciendo las partes, generalmente en otra matriz similar a la usada en la primera compactación y volviéndolas a comprimir. Esta operación mejora el acabado superficial de la pieza.

IMPREGNACION:

La Impregnación es el proceso de llenado de los poros de las piezas de polvos de metal. El material usado es generalmente un lubricante o cualquier material no metálico.

La impregnación se realiza haciendo el vacío e introduciendo el material impregnante, pero puede lograrse sumergiendo las piezas en una cubeta con aceite por varias horas.

INFILTRACION:

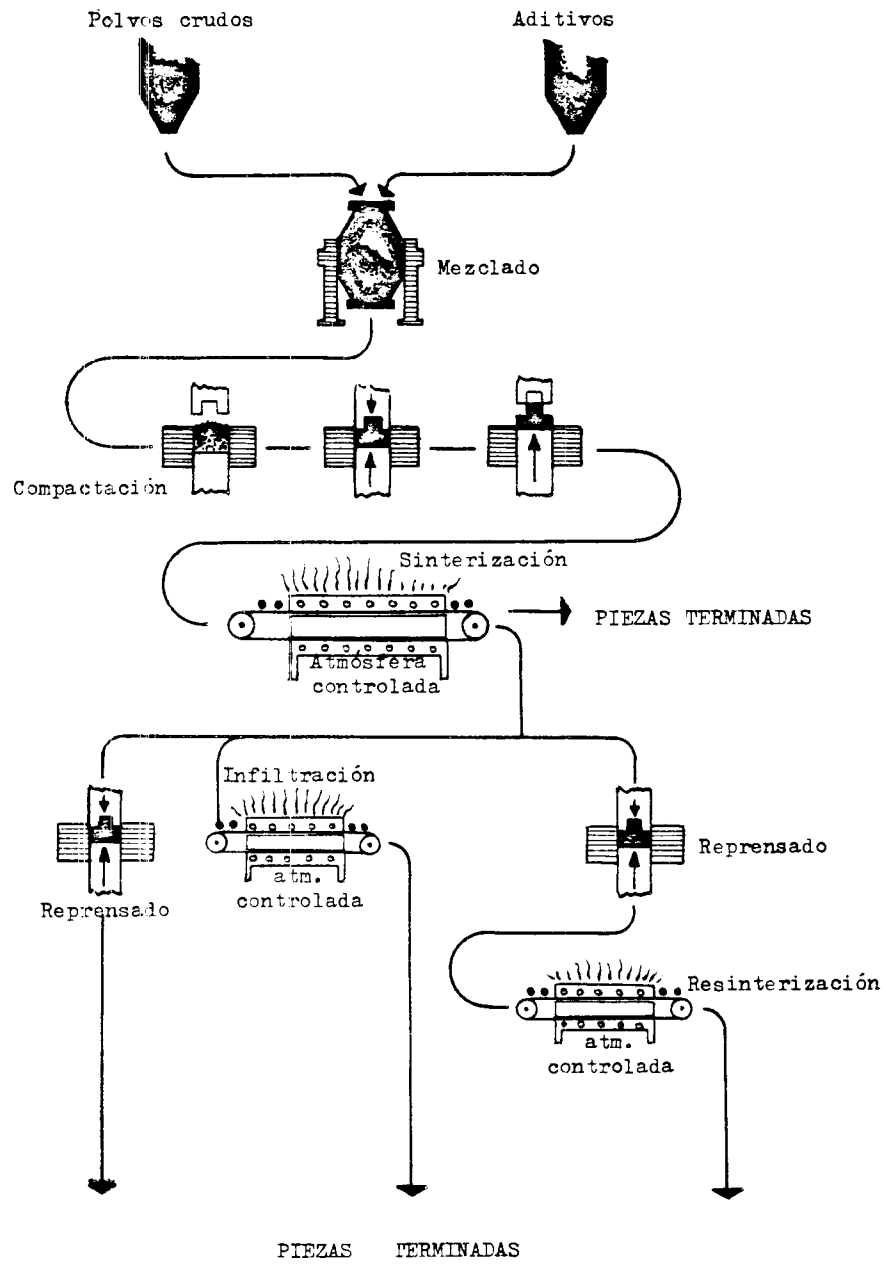
Este proceso consiste en el llenado de los poros de una pieza, con otro metal o aleación de un punto de fusión más bajo que el del material de la pieza. Esta operación se emplea para aumentar: la densidad, la resistencia al impacto, a la fricción, la dureza o la ductibilidad.

El metal infiltrante se coloca en la parte superior de la pieza y ambos se hacen pasar por un horno, (puede ser el de Sinterización), en donde el material infiltrante se funde y penetra dentro de los poros de la pieza por simple efecto de Capilaridad.

Existen otra serie de procesos posibles para las piezas de polvos de metal que mejoran sus propiedades.

En seguida se ven las diferentes posibilidades de obtener piezas mediante la Pulvimetalurgia.

OPERACIONES BASICAS EN LA PULVIMETALURGIA



CAPITULO PRIMERO

METODOS PARA LA PRODUCCION
DEL POLVO DE HIERRO .

MÉTODOS PARA LA PRODUCCION DEL POLVO DE HIERRO.
 =====

La importancia especial que tiene el polvo de hierro, tradicionalmente llamado así, nos induce a usarlo como título de éste y otros capítulos, pero en relación al estudio que aquí se hace, se refiere a diversos metales.

El interés que se tiene, desde luego, es solo desde el punto de vista metalúrgico, es decir, no nos interesa el polvo de metales para fines químicos, pirotécnicos, para pinturas, etc.

En la Figura 1, se presenta una idea de los métodos más comunes empleados en la manufactura de los polvos de metales.

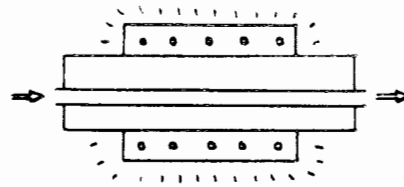
METODO DE REDUCCION:

En éste método, el mineral de hierro magnético pulverizado, se reduce en una "camada" compuesta de carbón (coke) y cal (proceso - - Sieurin). El producto que se obtiene tiene una consistencia de una "torta", la(s) cuales son trituradas y desintegradas para obtener un polvo compuesto por "granos". Existen tres tamaños normales de granos: 40 mallas, 100 mallas y 500 mallas, que en la Pulvimetalurgia tienen diferentes usos.

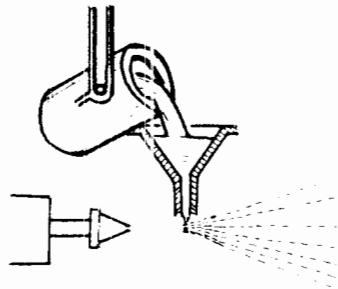
Existen tres calidades: LA CALIDAD "W" que es la del polvo de hierro esponja solamente desintegrado y cernido y es usado generalmente para fabricar electrodos para soldadura eléctrica. La siguiente es la CALIDAD "M" que es la correspondiente a un polvo de calidad W pero purificado. De la misma forma aunque más refinada, se obtiene la CALIDAD "MH".

La compañía Hoeganaes de hierro esponja de Riverton, New Jersey, U.S.A., tiene designado otro tipo de polvo de hierro llamado "ANCOR" el cual, es similar al MH-100 con algunas especificaciones diferentes. Este polvo de Riverton es reducido a una baja temperatura, lo cual causa algunas variaciones prácticas. El grado Ankor-80, por ejemplo tiene una alta actividad en el sinterizado y altos valores de tensión y elongación, especialmente en el procesado de piezas con baja den

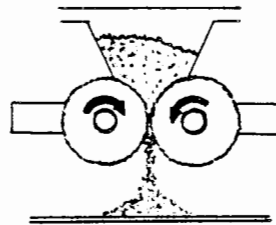
FIGURA 1
Varios métodos para la producción
de polvos de metal.



POR REDUCCION



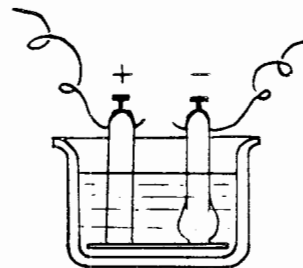
POR ATOMIZACION



POR TRITURACION



MOLIDO



POR ELECTROLISIS

—
 sidad. La superficie específica del Ancor-80 es mayor que la del —
 MH-100 (ver tabla 1)

P o l v o	Superficie específica cm ² /gramo (estimada por absorción de gas)
MH-100	800
Pyron	1500
Ancor 80	2800
Ancor 325	7400

TABLA 1.- Superficie específica de algunos tipos de pol
 vo de hierro.

Para tener una idea de la capacidad de producción de éste mé-
 todo, en 1958 la compañía Höganäs (Suecia) producía 30 000 tons/año y -
 Riverton producía 40 000 tons/año.

Este método no sólo es aplicable al hierro, sino también a —
 polvos de cobre, tungsteno, molibdeno, níquel, cobalto, etc., como por-
 ejemplo el tipo Pyron (tabla 1) que consiste en polvo de cobre obtenido
 por reducción.

Un proceso común para la manufactura de polvo de cobre reduci-
 do, es el siguiente: se toma un lingote de cobre, se funde en un horno-
 de gas y seguidamente se vierte el caldo que luego se atomiza con un —
 chorro que puede ser de aire. El polvo bruto así obtenido está muy oxi-
 dado y es quebradizo, por lo que es ideal para molerse o triturarse, y
 así obtener un polvo consistente de bolas pequeñísimas. Después de mo-
 lido el polvo, es reducido a 500-570°C (930-1060°F) en un horno con ban-
 da transportadora. Esta masa de polvo de cobre superficialmente sinte-
 rizada, es desintegrada. En éstas condiciones, la densidad del polvo -
 varía entre 2.2 - 2.4 gr/cm³.

Con éste método, resulta difícil obtener buenas cualidades de
 polvo de cobre puro.

METODO DE ATOMIZACION:

Generalmente se usa éste método para metales de bajo punto de fusión, tales como plomo, zinc, aluminio, etc. debido a que el efecto del enfriamiento del chorro de aire usado, es suficientemente rápido para evitar cualquier considerable oxidación.

Diferentes métodos se han desarrollado debido al uso de la atomización de polvos, y los más comunes son:

- 1) PROCESO DPG: Un chorro de metal fundido cae por un cono y choca contra un disco horizontal en contacto con agua y girando a alta velocidad.
- 2) PROCESO DPG MODIFICADO: Un chorro de agua a presión de 6 a 8 Kg/cm² es forzado dentro de una flecha hueca que reside en un cabezal. Este conjunto gira a gran velocidad. El cabezal tiene muchos agujeros por los que el agua sale, atomizando así a una cortina de metal fundido para obtener polvo de ese metal. El polvo de acero inoxidable producido por éste método, tiene gran mercado en América.
- 3) PROCESO MANNESMANN: Este método también es conocido con el nombre "RZ". El material que se usa es "arrabio" o sea hierro de primera fusión que contiene aproximadamente 3.5% carbón. El hierro derretido es atomizado por un chorro de aire y a veces por un chorro de agua. En éste último caso, el contenido de agua debe ser disminuído de 10% al 0.5% aproximadamente. Después, éste polvo es cernido y clasificado por tamaños. El polvo hasta aquí obtenido es alto en carbón y requiere un revenido, el cual, se logra en un horno a una temperatura de 1100°C-1250°C (2000°F-2300°F) La atmósfera de protección en éste caso no es necesaria, pues el carbón existente reacciona con el material oxidado y genera un gas altamente reductor que contiene aproximadamente 75% CO y 25% CO₂. Durante la reducción, el polvo se sinterizó (se aglomeró), por lo que es necesaria la trituración y el molido para que posteriormente sea cernido y clasificado por tamaños.

- 4) PROCESO LTD: La Powder Metallurgy Ltd. en Inglaterra, desarrolló un proceso modificado de atomización, el cual, produce muy buenos resultados en la manufactura de polvos de cobre y otros metales. La fabricación de polvos de aceros inoxidables, es el principal objetivo de la Ltd. de Londres y las muchas combinaciones de metales y sus diferentes procesos metalúrgicos, se encuentran en el Manual para Polvos de Hierro de la Höganäs.

METODO ELECTROLITICO:

Este proceso, está basado en la precipitación electrolítica, la cual, tiene buen uso en el Cu, Ag, Zu, Fe, Sn, Sb además de otros.

El cobre y el hierro son los metales de los cuales este método ha producido más polvo debido a su importancia en el mercado.

METODOS DE MOLIDO Y TRITURACION:

Debido a que ya los hemos mencionado, es fácil entender que éstos métodos, constituyen en muchos casos solo un paso intermedio en la manufactura de los polvos de metales.

Ciertos materiales quebradizos y un sinnúmero de aleaciones, son normalmente procesados por éstos métodos que, en su nombre indican el procedimiento.

Estos son los fundamentos de los métodos más típicos en la manufactura del polvo de metales, pero el desarrollo constante de ésta industria ha incrementado el número de otros, cuyos procesos están basados en lo esencialmente aquí expuesto.

CAPITULO SEGUNDO

PROPIEDADES, IMPORTANCIA COMERCIAL Y APLICACIONES DE LOS POLVOS DE HIERRO

- A) Propiedades
- B) Importancia Comercial
- C) Aplicaciones

A) PROPIEDADES DE LOS POLVOS DE HIERRO
 =====

La calidad de los polvos de hierro y de cualquier otro metal, es aceptada al analizar las propiedades principalmente mecánicas del producto terminado. Para escoger las características de un polvo de metal encaminado a un cierto propósito, normalmente deben considerarse las siguientes propiedades:

- 1) Análisis químico.
- 2) Análisis de tamices (tamaño del grano).
- 3) Peso volumétrico del polvo libremente depositado (densidad aparente).
- 4) Gasto o flujo (importante para el llenado uniforme en cavidades estrechas).
- 5) Compresibilidad (se da en valores de presión de compactación).
- 6) "Green Strength". Es la resistencia mecánica de una pieza compactada antes de ser sinterizada.

En general, los polvos de metal son sometidos a pruebas cuando la pieza está ya formada debido a que son muchísimas las aplicaciones y no podría tenerse una norma de cada polvo. Así sus propiedades son importantes según las condiciones de trabajo de la pieza.

Las Tablas 2 y 3 contienen datos químicos y físicos de algunos importantes tipos de polvo de hierro. La Tabla 4 tiene datos similares pero partiendo de otras consideraciones:

Tipo	Polvo por Reducción			Atomizado	Electrolítico
	MH	Ancor MH-100 S	Reducido con Molino		
Análisis %					
Fe	98	98	98	98.5	99
C	< 0.1	< 0.04	0.02	0.10	0.05
O	< 0.8	0.30	1-1.5	0.80	0.5
SiO ₂	0.2	0.10	0.20	-	-
Si	-	-	-	0.10	0.02
S	0.015	0.007	} 0.004 (?)	0.03	0.01
P	0.015	0.010		0.03	0.01
Mn	0.015	0.05	0.35	0.02	0.06

TABLA 2.- Análisis típico de algunos importantes polvos de hierro.

Dato físico	Polvo por Reducción			Atomizado	Electrolítico
	MH 100.24	Ancor MH-100 S	Reducido c/molino		
Densidad aparente	aprox.2.4	aprox.2.4	2.2	aprox.2.5	3.2-3.3
Gasto, flujo	" 30	" 30	35	" 25	25 - 27
Compre sibilidad	6.3 - 6.4	" 6.4	aprox.5.9	" 6.2	6.7-6.8

TABLA 3.- Datos físicos de algunos importantes polvos de hierro.

Dimensiones:

Densidad aparente ————— gr/cm^3
 Gasto, flujo ————— $\text{seg}/50 \text{ gr}$
 Compre sibilidad ————— gr/cm^3 a la presión de compactación -
 de 4 tons/cm² (57 000 psi)

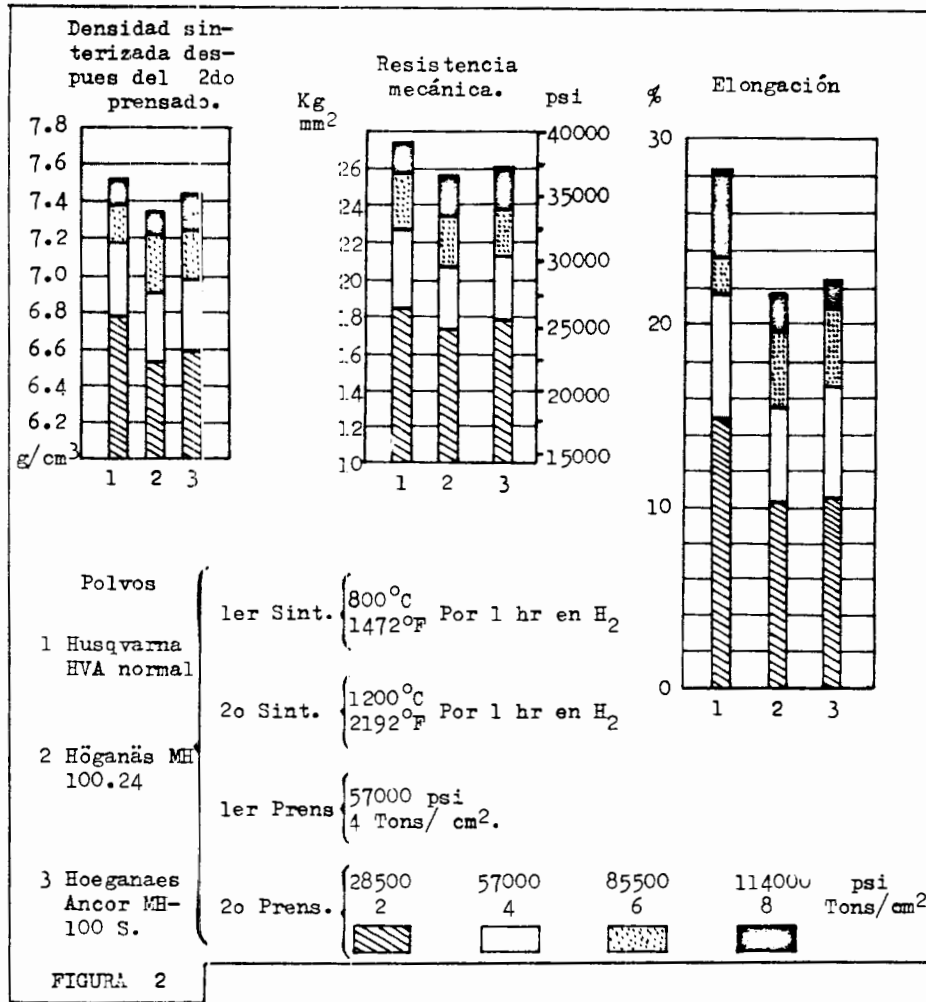
Como dato comparativo, mencionamos que el polvo de hierro esponja (por reducción) comprimido a una presión de 703 Kg/cm², tendrá — una densidad de 6.9 gr/cm³ mientras que el hierro (por ejemplo 1010) ma cizo tiene una densidad de 7.87 gr/cm³

Tipo	Polvo por Reducción			Atomizado	Electrolítico
Marca	MH 100.24	Ancor 80	Reducido c/molino		
Resistencia a la tensión: Kg/mm ²					
Densidad ya sinteriz. de 5.5 gr/cm ³	7	10	10	5.3	-
de 6.2 gr/cm ³	12	15	15	12	9
Elongación %					
Densidad ya sinteriz. de 5.5 gr/cm ³	5	6	6	4	-
de 6.2 gr/cm ³	8	9	8	8	2.5

TABLA 4.- Valores de resistencia a la tensión y de elongación para algunos importantes polvos de hierro.

NOTA:- Esta sinterización se hizo a 1150 °C (2100 °F) durante 1 hora en atmósfera de hidrógeno.

La Figura 2 nos da una idea clara y comparativa de las propiedades de los diversos tipos de polvo de hierro a diferentes presiones de compactación.



B) IMPORTANCIA COMERCIAL DE LOS POLVOS DE HIERRO

Los diferentes tipos de polvos de hierro, se pueden clasificar desde el punto de vista de su importancia comercial, en:

- 1) Polvos de hierro usados en grandes cantidades.
 - a) Polvos por Reducción (por ejemplo: Polvo de hierro esponja).
 - b) Polvos atomizados (por ejemplo: Polvo Mannesmann RZ).
 - c) Polvos molidos (por ejemplo: Polvo Hametag).
- 2) Polvos de Hierro especiales usados en cantidades limitadas.
 - a) Polvos electrolíticos (por ejemplo: Polvo HVA).
 - b) Polvos de hierro carbonyl.

Los correspondientes a la clasificación 1) y debido principalmente al tamaño del grano, son producidos para los siguientes usos:

- I) Soldadura
- II) Metalurgia de polvos, incluyendo materiales friccionantes.
- III) En el corte oxiacetilénico (por flama de gas) y en el escariado también por flama.
- IV) Misceláneos.

El Polvo producido por reducción es el de mayor demanda, y su precio es aproximadamente de 0.15 a 0.30 de dólar/libra. Los Polvos -- electrolíticos son más caros, o sea, de 3 a 7 veces más que los del primer grupo, y su uso está reservado principalmente a productos magnéticos, al igual que el polvo carbonyl, el cual, tiene un uso más especializado.

C) APLICACIONES DEL POLVO DE HIERRO.
 =====

En atención al importante crecimiento del consumo de los polvos de hierro en América, Europa, y en particular Japón, durante 1956, se presenta la Tabla 5.

Aplicación	América	Europa y Japón	Total
	Toneladas métricas		
1.- Electrodo p/soldadura	12700	8550	21250
2.- Metalurgia de Polvos	15000	4500	19500
3.- Corte y escariado por flama	3500	1400	4900
4.- Misceláneos	2100	1700	3800
T O T A L	33200	16150	49450

TABLA 5.- Consumo estimado del polvo de hierro en 1956.

1.- El polvo de hierro para electrodos recubiertos, debe ser metalúrgicamente puro. Su análisis es:

Sulfuro	<	0.02%	
Fosforo	<	0.02%	
Carbón	=	0.12%	- 0.15%
Oxido de Silicio	<	1 %	
Oxigeno	<	2 %	

2.- El uso del polvo de hierro en la Metalúrgia requiere especificaciones más rigurosas, especialmente teniendo en cuenta las propiedades físicas requeridas de la pieza sinterizada. Debe cuidarse del tamaño del grano, distribución, densidad aparente, compresibilidad, resistencia de presinterización, etc. Por otra parte no requiere ser tan químicamente puro como el usado para la extrusión de electrodos.

Esta fase en el uso técnico de los polvos de metal, es en si el tema principal de ésta tesis.

3.- La "Linde Air" es en los E.U.A., una división de la Unión Carbide y se dedican principalmente al estudio del corte con gas, al escariado oxiacetilénico de aceros inoxidables, y de una gran variedad de otras aleaciones. Este proceso está basado en las siguientes consideraciones:

a) La temperatura de corte del metal en cuestión, debe ser más baja que su punto de fusión. De otra manera el calentamiento excesivo fundiría al metal.

b) Para una temperatura suficientemente alta, el metal se oxida y forma un óxido reactivo. Este óxido debe reaccionar con cualquier óxido refractario para dar una escoria de más bajo punto de fusión que el metal en cuestión. De lo contrario, la escoria se pega al metal.

Se notan los graves inconvenientes del proceso ordinario del corte con autógena de aceros al carbón. Ventajosamente el método "Linde" es en principio como sigue:

Un polvo de hierro finamente pulverizado es agregado a una corriente de aire a través de dos pasajes en el maneral de corte. Mediante una tobera especial y a través de conductos adecuadamente dispuestos, éste chorro de aire y polvo es mezclado con el oxígeno y el acetileno. Todo esto antes de la boquilla de salida del maneral. El polvo de hierro reaccionará entonces con el oxígeno, oxidándose y produciendo una muy alta temperatura. Las partículas de hierro fundido atacan y en parte disuelven al metal (por ejemplo al óxido crómico que

se produce en la combustión del acero inoxidable). La presión del - -
aire es indispensable y aunada con el gran peso del polvo de hierro, -
proporcionan al chorro una energía cinética que propicia al fácil cor-
te del metal.

En éste proceso se utilizan polvos de 100 mallas y el flujo-
es de 30 segundos por 50 gramos y el oxígeno contenido no debe exceder
del 2%.

En 1956, Inglaterra consumió 950 toneladas de polvos de hie-
rro para éste fin, mientras que otros países europeos juntos, apenas -
consumieron 450 toneladas.

CAPITULO TERCERO

PRUEBAS, MATERIALES Y NORMAS EN LA PULVIMETALURGIA DEL HIERRO.

- A) Especificaciones Físico, Químicas
americanas y alemanas, normalizadas.
- B) Pruebas americanas y alemanas,
normalizadas.

A) ESPECIFICACIONES FISICO, QUIMICAS AMERICANAS
Y ALEMANAS, NORMALIZADAS.

Las normas para la composición química y las propiedades físicas de materiales sinterizados, son muy difíciles de obtener para el terreno internacional porque muchas industrias tienen sus propias normas adecuadas a sus necesidades particulares.

Las normas americanas físico-químicas publicadas separadamente por la Society of Automobile Engineers (SAE), la American Society for Testing Materials (ASTM) y la Metal Powder Industries Federation (MPI) han sido bien aplicadas por muchos años y son prácticamente idénticas.

A 1) NORMAS AMERICANAS

El rango de los materiales está dividido en 12 tipos de los cuales, 6 se refieren a materiales ferrosos. Cada material tiene una designación tipo, consistente de 2 letras prefijas, de 4 números dígitos y de una letra sufijo. Por ejemplo un material típico sería: FC - 1005 - N. El significado de ésta designación se da en la Tabla 6 siguiente:

Letra Prefijo	Código de 4 números		Letra Sufijo
	1er. Par	2do. Par	
F = Hierro	El primer par	El segundo par	N = 6.0 gr/cm ³ o menos
C = Cobre	de números indica el % del	de números indica el contenido	P = 6.0 - 6.4 gr/cm ³
N = Níquel	menor constituyente.	de carbón en %	R = 6.4 - 6.8 gr/cm ³
X = Infiltrado			S = 6.8 - 7.2 gr/cm ³
			T = 7.2 - 7.6 gr/cm ³

TABLA 6.- Designación americana.

Por ejemplo:

FC	10	05	N
Hierro-cobre	10% Cobre	0.5% Carbón	6.0 gr/cm ³ o menos

A 2) NORMAS ALEMANAS

Estas normas son designadas en tipos de la letra "A" a la "F" para la densidad, y del 0 al 6 para la composición química.

Un material típico es C21 cuyo significado se aclara observando las siguientes Tablas 7 y 8.

Tipo	Características de Densidad	U s o s
A	Muy baja densidad y muy alta porosidad.	F i l t r o s
B	Baja densidad y alta porosidad	Casquillos autolubricados
C	Media densidad y media porosidad	Partes estructurales con propiedades autolubricadoras limitadas y de alta resistencia
D	Alta densidad y baja porosidad	Partes estructurales con muy alta resistencia.
E	Muy alta densidad y porosidad muy pequeña. Infiltrado con otro metal	Partes estructurales con muy alta resistencia.
F	Alta densidad y porosidad pequeña. Infiltrado con material plástico.	Partes estructurales con buena resistencia a la corrosión.

TABLA 7.- Designación alemana.

Clase	Características químicas
0	Materiales ferrosos con menos del 1% Cu, con o sin Carbón
1	Materiales ferrosos con 1-5% Cu, con o sin Carbón.
2	Materiales ferrosos con más del 5% Cu, con o sin Carbón
3	Materiales ferrosos con o sin Cu, y/o C, con 5.5% máximo de otras aleaciones de metal, por ejemplo: Acero al Cu/Ni
4	Materiales ferrosos con o sin Cu, y/o C, con más del 5.5% de otras aleaciones de metal, por ejemplo: Acero al Cr/Ni
5	Aleaciones no ferrosas con más del 60% Cu, por ejemplo: Bronce, latón, níquel, plata, etc.
6	Todos los otros materiales no ferrosos excepto: Bronce, latón, níquel, plata.

TABLA 8.- Designación alemana.

Los materiales ferrosos tipos A y B son llamados "Hierros sinterizados". Los del tipo C, D y E son llamados "Aceros sinterizados". - Los del tipo F son llamados de una y otra forma dependiendo de su densidad.

Para pruebas de materiales se tienen recomendaciones de la DIN, MPI, FPM.

B) PRUEBAS NORMALIZADAS.
=====

Las asociaciones más importantes que establecen estas pruebas normalizadas son para América y Europa, la MPI y la FPM (Fachverband — Pulvermetallurgie). A continuación se encuentran algunas NORMAS (Standards) que son las más importantes:

B 1) NORMA MPI 1-45 METODO POR MUESTREO DE LOTES TERMINADOS

Esta norma dá métodos para la selección de muestras representativas de polvos mezclados, ya sea de remesas de polvos mezclados mecánica o manualmente.

El polvo mezclado mecánicamente es seleccionado por muestras - tomadas del chorro de salida del mezclador, al principio, en medio y al final de su contenido. Estas 3 muestras se mezclan entre si y de ahí se toma la muestra requerida. Cada uno de los 3 primeros especímenes es de 5 Kg.

El polvo manualmente mezclado es seleccionado por cuchareo de cada uno de los depósitos, para obtener así las muestras primarias. Estas se hacen pasar por una criba de malla grande para obtener la muestra total. Las muestras primarias se pueden obtener de 2 formas: 1ra. Mezclando todas las muestras de cada depósito y 2da. Tomando una parte de - cada depósito en el centro y en la periferia.

El espécimen a analizar es de 100 gr. si la densidad aparente es mayor que 1.50 gr/cm^3 y de 50 gr. si esa densidad es menor que - - - 1.50 gr/cm^3 .

B 2) NORMA MPI 5-46 METODO POR ANALISIS DE TAMICES.

Los aparatos incluidos son una serie de mallas de 8" ϕ x 1" o 2" de profundidad (203 mm ϕ x 25 o 50 mm). Las siguientes mallas son usadas para análisis de polvos de metal de 80 mallas U.S. o más finos:

Mallas Tyler	No.Malla .U.S	Designación de malla en micrones (pulgs.)
80	80	177
100	100	149
150	140	105
200	200	74
250	230	62
325	325	44

Un mecanismo operado por una simple excentrica, hace vibrar las mallas y ocasiona al depósito del mineral un movimiento giratorio de - - 285 \pm 6 RPM y una acción vibratoria de 150 \pm 3 vibraciones por minuto. - El cernido debe durar 15 minutos.

El método para obtener el grado de malla de cada polvo, es muy complicado y no lo veremos, pues requiere de correcciones muy finas y de mediciones muy precisas y por lo tanto de aparatos muy exactos.

B 3) NORMA MPI 12-51-T ANALISIS GRANULAR POR AIRE.

Esta norma dá el método para el análisis del tamaño de polvos de metal entre 5 y 40 micrones. El método está basado en la Ley de Stoke que relaciona la velocidad de caída libre de una partícula esférica con su densidad y diámetro y la densidad y viscosidad del medio.

El método es estrictamente exacto solo para partículas sólidas de forma esférica.

La relación del flujo de aire ascendente requerido para equilibrar las partículas de polvo de un cierto tamaño en caída libre, es calculada de la ecuación de Stoke (1), la cual, dá para aire a 20 °C :

$$v = (29.91) 10^{-4} \rho d^2 \quad (1)$$

donde:

V = Velocidad de caída de una partícula esférica en aire quieto (cm/seg)

p = Densidad absoluta de la partícula (gr/cm³)

d = Diámetro de la partícula (micrones)

La relación del volúmen del flujo de aire (F) en cm³/min., requerido para balancear la velocidad de sedimentación de las partículas - para que puedan flotar, está dada por la ecuación 2:

$$F = 47.1 \quad VD^2 \quad (2)$$

donde:

V = Velocidad de caída libre (cm/seg.)

D = Diámetro del depósito de sedimentación (cm.)

El aparato consiste esencialmente de una serie de cámaras de sedimentación verticales de diferentes diámetros en las cuales, se mantiene uniforme el flujo de aire ascendente. Estas cámaras están comunicadas en el extremo inferior por un tubo soplador en el cual las muestras son dispersadas, y por el otro extremo por un tubo de doble pared que deja un espacio para que las partículas se puedan depositar según el nivel al que se equilibran de acuerdo con su peso.

B 4) NORMA MPI 32-60. METODO PARA LA DETERMINACION DEL TAMAÑO - PROMEDIO DE POLVOS DE METAL.

Este método está basado en las pérdidas por fricción de una corriente de aire al pasar por una "camada" de polvo primero tosco y comparativamente después más fino. El polvo tosco tiene más poros de aire y por lo tanto presenta menos fricción a la corriente de aire que el polvo fino.

La Figura 3 representa esquemáticamente éste método, en la cual, el manómetro mostrado está acoplado a un sistema de engranes mediante el cual, se mueve una aguja en una carátula graduada para diferentes valores de tamaños de las partículas del polvo espécimen.

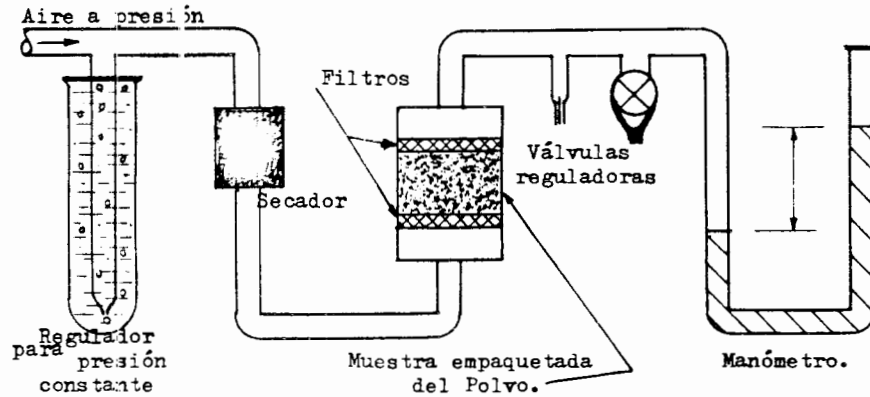


FIGURA 3. Método para la determinación del tamaño del Polvo.

E 5) NORMA MPI 3-45 METODO PARA LA DETERMINACION DE LA RELACION DE FLUJO DE POLVOS DE METAL

Un embudo medidor de gasto (Figura 4), un cronómetro y una balanza muy sensible son requeridos para ésta prueba.

El espécimen por examinar (ver MPI 1-45) pesa 50 gr., medido con una exactitud de ± 0.1 gr. Si es necesario, el espécimen es secado por una hora a $215 - 225^{\circ}\text{F}$ -- ($102 - 107^{\circ}\text{C}$) y enfriado en un secador.

El aparato consiste del embudo mencionado (Figura 4), de un soporte especial y una copa para recibir el polvo. El embudo es llenado y así es medido el tiempo en el que los 50 gr. han caído. Se repite la prueba 5 veces y se obtiene un promedio que es corregido por un factor para tener así el flujo que se mide en (seg/50 gr.)

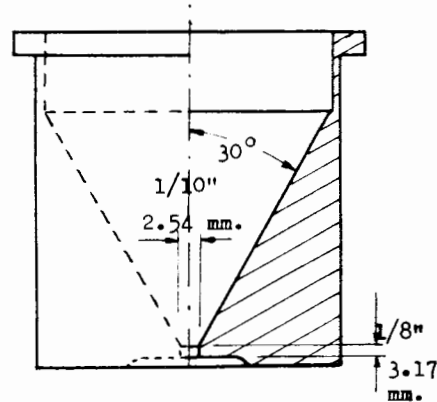


FIGURA 4 .

B 6) NORMA MPI 4-45 METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE DE POLVOS DE METAL

El equipo usado en la Norma MPI 3-45, es usado en ésta prueba, además de una copa para densidad normal (Figura 5), con una capacidad de $25 \pm 0.05 \text{ cm}^3$. El espécimen de polvo es secado cuando es necesario y debe tener un volumen de $30-35 \text{ cm}^3$. El polvo es derramado en el embudo y la copa que queda abajo se llena. Cuidadosamente se rasa el polvo (al nivel del borde de la copa) con una espátula. El polvo es pesado con una balanza con una aproximación de 0.05 gr .

El polvo así pesado en gramos, multiplicados por 0.04 es reportado como la Densidad aparente de ese polvo, en (gr./cm^3) .

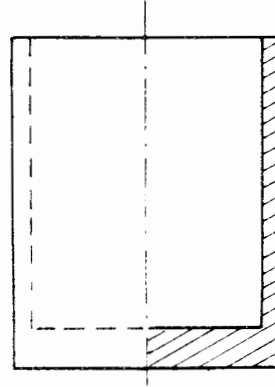


FIGURA 5

B 7) NORMA MPI 28-59

Esta norma da el método para la determinación de la Densidad aparente de polvos de metal que no tienen una fácil fluidez dentro del embudo.

Los aparatos y el método, son idénticos a los usados en MPI 3-45 y 4-45, excepto que las dimensiones de la boquilla del embudo son mayores. El orificio es de $1/5''$ (5.08 mm) y la altura es de $1/4''$ (6.34 mm).

B 8) NORMA MPI 2-48 METODO PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS DE HIDROGENO DE LOS POLVOS DE METAL

Esta norma describe un método para la determinación aproximada del contenido de oxígeno en ciertos polvos de metal. La prueba es recomendable para los siguientes materiales: cobalto, cobre, estaño, plomo,-

hierro y níquel. Las limitaciones e inexactitudes del método, serán debidas a la presencia de óxidos refractarios al hidrógeno o de impurezas que no se combinen con el hidrógeno.

Los aparatos necesarios son: un horno eléctrico para 2000 °F - (1093 °C) con control de atmósfera, una charola recubierta de cuarzo y una balanza muy completa con una aproximación de 0.001 gr. Existe una temperatura de reducción y un tiempo determinado para cada metal.

La charola cerrada es pesada y el espécimen de polvo es cargado dentro de ella a una altura no mayor de 1/8" (3 mm) y el polvo y la artesa son nuevamente pesados. El horno es calentado a la temperatura prescrita cuando un flujo de Nitrógeno ha limpiado de aire la atmósfera del horno. Cuando se ha obtenido la temperatura nominal, un flujo de hidrógeno es mantenido dentro del horno para que se efectúe la reducción. Se deja enfriar lentamente el horno por 15 - 30 minutos. La charola es extraída y enfriada y repesada junto con el polvo. Así:

$$\text{Pérdida de hidrógeno \%} = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (3)$$

donde:

- A = Peso original de la charola y el espécimen de polvo, (gramos).
- B = Peso de la artesa y el polvo después de la reducción, (gramos).
- C = Peso original del espécimen de polvo, (gramos).

Resultados con ± 0.1 % de error, se consideran satisfactorios.

B 9) NORMA MPI 15-51 METODO PARA LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA MECANICA ANTES DEL SINTERIZADO DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE POLVOS DE METAL

Existen 2 procedimientos para determinar esta resistencia:

- 1) La prueba "Rattler" (ensayo por impacto continuo) determina la resistencia a la abrasión, la cual es reportada en pérdidas de peso en %.

2) La "Prueba de Ruptura Transversal" determina la resistencia transversal de especímenes sujetos a una carga uniformemente creciente.- Esta resistencia es reportada en psi a la ruptura.

ENSAYO POR GOLPE).

Los aparatos incluidos son un cilindro cernidor de bronce con un mecanismo giratorio muy sensible, una prensa mecánica o hidráulica, - herramientas para producir el espécimen, y una balanza muy exacta. Todo esto bajo dimensiones y especificaciones perfectamente determinadas.

Los especímenes deben ser 5, compactados a 0.5" (12.7 mm) ϕ y 0.250" \pm 0.003" (6.35 \pm 0.075 mm) de espesor y a la presión indicada. - Estos especímenes son pesados juntos e introducidos dentro del cilindro, el cual, girará 1000 revoluciones a la velocidad de 87 RPM, y después se extraerán para volverse a pesar.

La resistencia es calculada como sigue:

$$S = \frac{A - B}{A} 100 \quad (4)$$

donde:

S = Resistencia en pérdidas de peso en %.

A = Peso inicial del espécimen (gramos)

B = Peso final del espécimen (gramos)

PRUEBA DE RUPTURA TRANSVERSAL.

Los elementos requeridos para ésta prueba consisten de aparatos como: herramienta y maquinaria para la compactación de especímenes, una máquina de prueba universal o una viga de carga constante (Figuras 6 y 7), una máquina de compresión que puede ser una prensa mecánica o hidráulica, una balanza muy sensible y un micrómetro.

El espécimen es de 1.25" a 1.50" de longitud por 0.50" de ancho (31.75 mm a 38.1 mm de longitud por 12.7 mm de ancho) y aproximadamente -

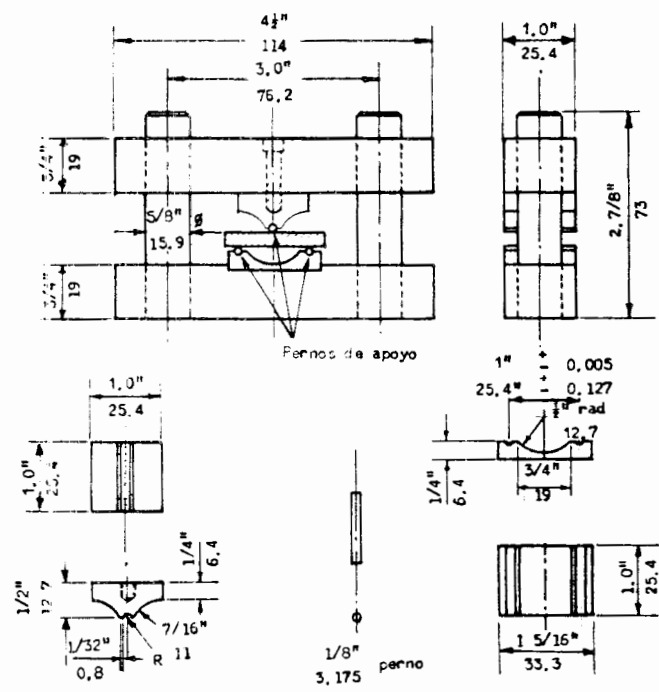


FIGURA 6.- Prensa para la prueba a la ruptura transversal.

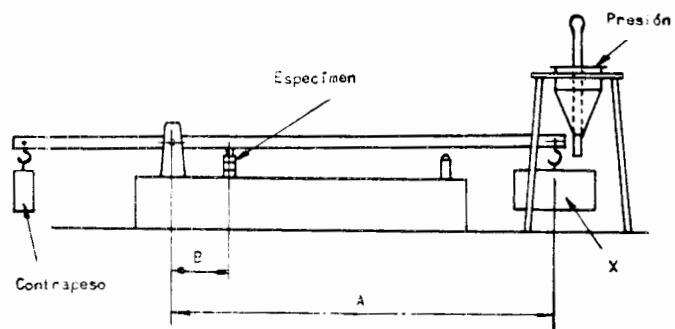


FIGURA 7.- Viga de carga constante.

0.25" (6.35 mm) de espesor, dependiendo del polvo usado y la presión aplicada. El polvo pesa 15 ± 0.1 gr.

La pieza (muestra) así obtenida, es colocada en la máquina universal o en la viga de carga constante, y la resistencia mecánica es -- calculada como sigue:

$$S = \frac{3 PL}{2 t^2 w} \quad (5)$$

donde:

- S = Resistencia mecánica (psi)
- P = Carga en libras requerida para la ruptura.
- L = Distancia entre los rodillos de soporte (= 1").
- t = Espesor del espécimen (pulgadas).
- w = Ancho del espécimen (pulgadas).

B 10) NORMA MPI 10-50 PRUEBA DE TENSION EN ESPECIMENES
COMPACTADOS.

Los aparatos requeridos son una prensa de 75 toneladas mínimo- de capacidad, punzones y matrices (moldes), un horno con control de at- mosfera, una balanza con una exactitud de 0.01 gr. y un micrómetro con - una aproximación de 0.001" (0.025 mm).

La forma de los especímenes, está mostrada en las Figuras -- 8 y 9. Ellas deben estar libres de laminaciones visibles y de otros de- fectos considerables.

La presión de compactación normalmente varía entre 40000 y -- 100000 psi (2820 y 7040 Kg/cm²). Para cualquier serie de especímenes, - la presión de compactación no debe variar en ± 2.5 % de la presión esti- pulada.

En la prueba de tensión existen normas para la velocidad y mé- todos para la determinación de la resistencia a la tensión y elongación, límites de elasticidad y puntos del límite de fluencia (ASTM Norma E 8). Tratar más a fondo éste método, sería desviar el tema principal de éste- trabajo.

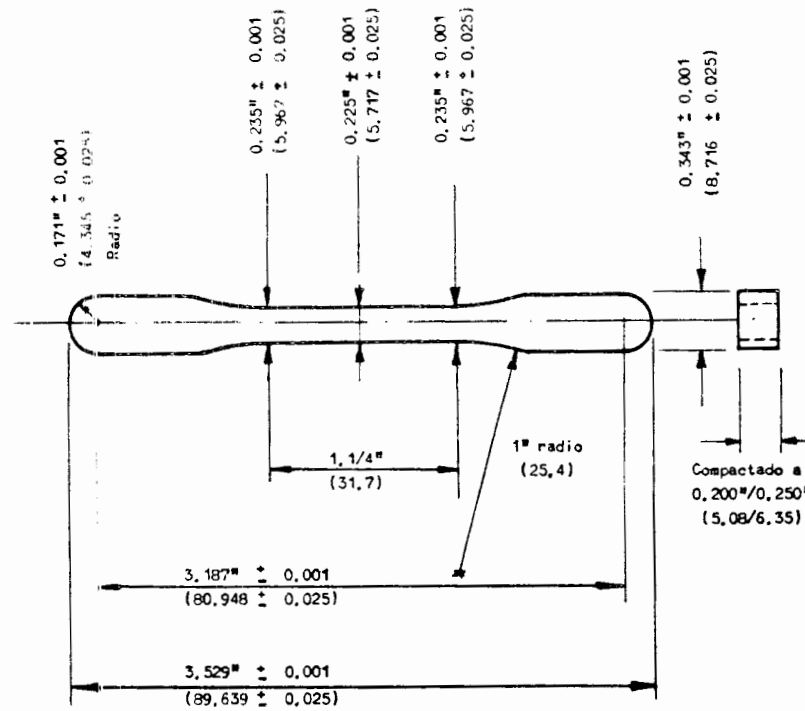


FIGURA 8.- Especimen para la prueba de tensión.
Sección rectangular.

B 11) NORMA MPI 13-51T

MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, DENSIDAD-ANTES DEL SINTERIZADO, DUREZA Y CONTRACCIÓN DE COMPACTACIÓN EN EL SINTERIZADO.

Los aparatos requeridos son una prensa hidráulica, moldes, un probador para resistencia transversal, un horno con control de atmósfera, una balanza con una precisión de 0.01 gr. y un calibrador ajustado a -- 0.001" (0.025 mm).

Se siguen las normas del MPI 10-50 excepto que la presión mínima de compactación es de 10000 psi (704 Kg/cm²).

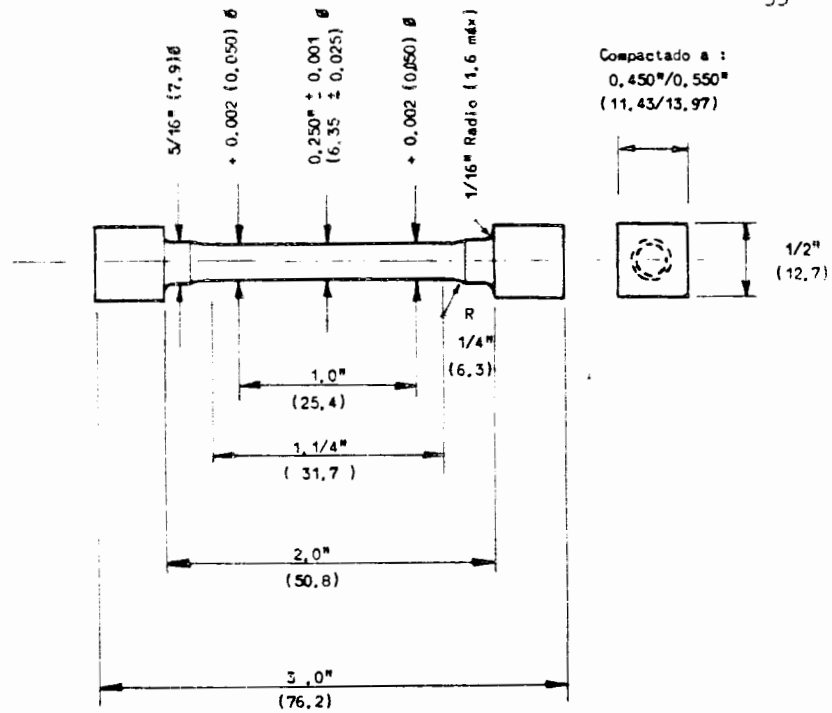


FIGURA 9.- Especimen para la prueba de tension
Seccion circular.

RESISTENCIA A LA FLEXION (MODULO DE RUPTURA).

Esta prueba es sólo aplicable a materiales de cierta ductibilidad. El ancho y el espesor de los especímenes son medidos cuidadosamente. Así, los especímenes son sometidos a la prueba en la máquina representada en la Figura 6.

El módulo de ruptura es calculado como sigue:

$$S = \frac{3 PL}{2 t^2 w} \quad (6)$$

donde:

S = Módulo de ruptura (psi).

P = Carga (lbs).

L = Distancia entre rodillos (= 1").

t = Espesor del espécimen (pulgadas).

w = Ancho del espécimen (pulgadas).

La Densidad antes del Sinterizado quedará especificada en la Norma MPI 8-50.

La Contracción se determina por medición del cambio de longitud, ancho y espesor, después y antes del sinterizado y se expresa en pulgadas por pulgada. Los especímenes son medidos con una aproximación de 0.001" (0.025 mm.)

B 12) NORMA 8 - 50 METODO PARA LA ACEPTACION DE PRUEBAS EN PARTES ESTRUCTURALES FABRICADAS - DE POLVOS DE METAL.

a) Composición Química:

La composición química y las impurezas pueden ser especificadas. Por ejemplo: si una pieza de hierro es fabricada para un uso magnético, el 99.8% Fe mínimo y el 0.10% C. Máx. pueden ser especificados.

b) Densidad:

La densidad puede ser calculada por dos métodos:

1) Método

$$D = \frac{A}{B - C} \quad (7)$$

donde:

A = Peso de la pieza en aire (gramos)

B = Peso de la pieza en aire después de ser recubierta con laca transparente (gramos)

C = Peso de la pieza en agua (revestida con laca transparente también), (gramos).

D = Densidad (gr/cm³).

Aparentemente, el Análisis dimensional de la fórmula (7) nos dice que ella es incorrecta, pero eso no es cierto debido al siguiente análisis:

$$D = \frac{\rho_{pieza}}{\rho_{agua}} = \text{Densidad relativa} \quad (8)$$

$$\text{como } \rho_{agua} = 1, \quad D = \rho_{pieza} = \frac{P_{pieza}}{V_{pieza}} \quad (9)$$

donde:

P = peso

V = volúmen

Por el Principio de Arquimedes:

$$F = \rho_{Vagua} \quad (10)$$

$$\therefore P_p = F + P_{Vagua} \quad (11)$$

De la ecuación (7), tenemos:

$$D = \frac{P_p}{B-C} = \frac{P_p}{(P_p + \Delta) - (P_p + \Delta - F)} \quad (12)$$

donde:

Δ = Peso de la laca transparente

Reduciendo:

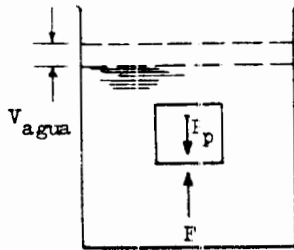
$$D = \frac{P_p}{F} \quad (13)$$

pero, de (10) :

$$D = \frac{P_p}{P_{Vagua}} = \frac{P_p}{V_{agua} \rho_{agua}} \quad (14)$$

como $\rho_{agua} = 1$:

$$D = \frac{P_p}{V_{agua}} \quad (15)$$



Obviamente, el volúmen de agua desalojado es igual al volúmen de la pieza (si ésta, se hunde completamente).

Así:

$$D = \frac{P_p}{V_p} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (16)$$

De éste análisis se observa la congruencia de las Fórmulas - - (7) y (16)

2) Método: Este segundo método consiste de:

$$D = \frac{A}{B - C} \quad (17)$$

donde:

- A = Peso de la pieza sin impregnar, en aire (gr.)
- B = Peso de la pieza después de ser impregnada en aceite, en el aire (gr.)
- C = Peso de la pieza impregnada, en agua (gr.)
- D = Densidad (gr/cm³).

El espécimen es sumergido por 4 horas mínimo en aceite de - - 200 SSU (100 °F) a 180 °F, y en un vacío de 50 mm. Hg por 30 minutos.

c) Porosidad:

La porosidad consiste de moléculas de no metal, interconectadas entre si. Puede especificarse como sigue:

$$P = \frac{B - A}{(B - C) S} \quad 100 \quad (18)$$

donde:

- A = Peso de la muestra sin lubricante (gramos)
- B = Peso de la muestra impregnada de aceite (gr.)

- C = Peso de la muestra impregnada, en agua (gr.)
 S = Gravedad específica del impregnante a la temperatura de prueba.
 P = Porosidad intercomunicada por volúmen, en %

La Manufactura, dimensiones y tolerancias, propiedades mecánicas, dureza, muestreo, se especifican en el transcurso del trabajo.

B 13) NORMA 16-55 T ESPECIFICACIONES PARA CHUMACERAS O CASQUILLOS SINTERIZADOS E IMPREGNADOS DE ACEITE.

Estas chumaceras se clasifican en 2 grupos:

Tipo I.- Base de Bronce:

- Clase A cobre-estaño
 Clase B cobre-plomo-estaño

Tipo II.- Base de Hierro:

- Clase A hierro-carbón
 Clase B hierro-cobre

La Densidad de las chumaceras impregnadas de aceite es como se vé en la Tabla 9.

Tipo	Clase	Densidad (gr/cm^3)	
		mínima	máxima
I	A	6.1	6.8
	B	6.5	6.9
II	A	5.7	6.1
	B	5.8	6.2

TABLA 9.- Densidad de chumaceras autolubricadas.

La Densidad es calculada como se vió en la Norma MPI 8-50 con el método 2 y la impregnación de aceite como en la Norma MPI 8-50

La Resistencia a la compresión en dirección radial, es calculada como sigue:

$$P = \frac{K L T^2}{D - T} \quad (19)$$

donde:

- P = Resistencia radial a la compresión (lbs.)
- K = Resistencia constante dependiendo de la clase y tipo de chumaceras (Tabla 10)
- L = Longitud de la chumacera (pulgadas)
- T = Espesor de la pared de la chumacera (pulgadas)
- D = Diámetro exterior de la chumacera (pulgadas)

Tipo	Clase	K = Resistencia constante (lb/pulg ²)
I	A y B	22500
II	A 1	25000
	A 2	30000
	A 3	35000
II	B	40000

TABLA 10.- Valores de K para usar en Fórmula 19.

La prueba para determinar esta resistencia a la compresión, consiste en comprimir el espécimen entre dos placas paralelas. La dirección de la carga es normal a la dirección axial de la pieza. El momento en el cual la pieza se rompe, determina el valor de la resistencia a la compresión.

B 14) NORMA MPI 14-51T ESPECIFICACION DE LAS DIMENSIONES PREFERIDAS EN CHUMACERAS - IMPREGNADAS DE ACEITE.

Obviamente existe una gran variedad de tamaños de flechas en la Industria, ie aquí que se hace recomendable el uso de especificaciones para holguras entre la flecha y el casquillo y para tolerancias propias del casquillo.

Las dimensiones recomendables son las especificadas en las Tablas 11 y 12 :

	Dimensiones		Tolerancias	
	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.
Diámetro Interior y Exterior	Más de 1.5" D.I.	Más de 38 mm D.I.	+0 -0.001	+0 -0.025
	1.5 a 2.5" D.I.	38 a 63.5 mm D.I.	+0 -0.0015	+0 -0.038
	Mayor que 2.5" D.I.	Mayor que 63.5 mm D.I.	+0 -0.002	+0 -0.050
Longitud	Más de 1.5"	Más de 38 mm	±0.005	±0.125
	1.5 a 3"	38 a 76 mm	±0.0075	±0.187
	Mayor que 3"	Mayor que 76 mm	±0.010	±0.25
Concentricidad	Más de 1.5" D.I.	Más de 38 mm D.I.	0.003	0.075
	Mayor que 1.5" D.I.	Mayor que 38 mm D.I.	0.004	0.100

TABLA 11.- Dimensiones y tolerancias permisibles.

Velocidad de la flecha		Cargas permisibles			
ft/min	mt/min.	Base de Bronce		Base de Hierro	
		psi	kg/cm ²	psi	kg/cm ²
Despacio e intermitente		4,000	282	8,000	564
25	7.5	2,000	141	3,000	211
50-100	15.3-30.6	500	35.2	700	49.2
100-150	30.6-45.9	325	22.8	400	28.2
150-200	45.9-61.2	250	17.6	300	21.2

TABLA 12.- Cargas permisibles para diferentes velocidades

Por velocidades de flechas mayores de 200 ft/min (61.2 m/min.), la carga permisible puede ser calculada como sigue:

$$P = \frac{50000}{V} \quad (20)$$

donde:

P = Carga admisible (lb/pulg.²) proyectada en el plomo normal al eje axial.

V = Velocidad de la flecha (ft/min.)

CAPITULO CUARTO

TRATAMIENTO DE LOS POLVOS DE HIERRO

- A) Tratamiento Térmico
- B) Lubricación
- C) Aleaciones agregadas

A) TRATAMIENTO TERMICO =====

La mezcla de los polvos de hierro con lubricantes y frecuentemente con aleaciones de otros polvos, comprende el más común tratamiento de aquellos, principalmente para la compactación y el sinterizado. — Los polvos de hierro comerciales son casi exclusivamente usados para — moldearlos sin ningún tratamiento térmico.

Los polvos de hierro que deben tener un bajo contenido de oxigeno y que deben ser mezclados con otros elementos como: silicón, cromo o manganeso, tienen que ser pre-reducidos antes del mezclado con los — otros elementos. Por ejemplo, las mezclas de polvo de hierro y polvo de cobre, normalmente muestran un considerable crecimiento durante el — sinterizado. Es posible disminuir o eliminar éste crecimiento si las — mezclas son aleadas bajo condiciones de reducción y temperatura adecuadas.

Los hornos para efectuar la reducción de los polvos son de — igual diseño que los hornos para el sinterizado, los cuales tienen una — banda transportadora que lleva a las piezas a través de las zonas de calentamiento y enfriamiento. Atmosferas con derivados de Amoníaco o Hidrógeno puro, son las más adecuadas para lograr la reducción de los polvos de hierro.

En casos como ya se mencionó, en los que el polvo tiene que — ser mezclado con otros elementos, es importante que la mezcla se use lo — más pronto posible, pues, los polvos de hierro reducidos, por su poco — contenido de oxigeno son más inestables que los que están expuestos al — aire como son los comerciales que tienen un contenido normal de oxígeno de 0.5 - 0.9%. Esta aparentemente desventaja de los polvos de hierro — reducidos, no es tal en comparación con la inestabilidad natural de los polvos de metales no ferrosos por ejemplo los polvos de cobre.

B) LUBRICACION =====

En la Figura 10 se muestra un mezclador de doble cono correctamente diseñado.

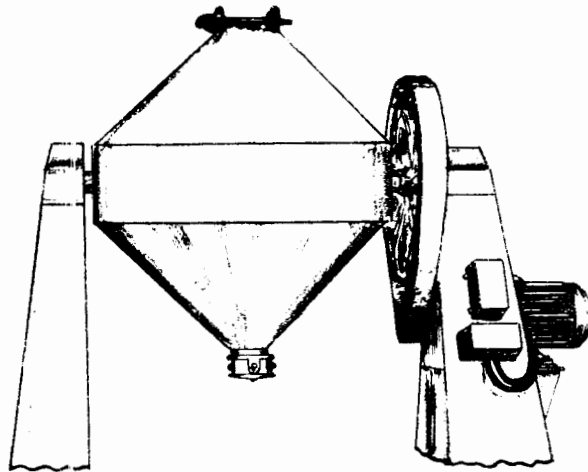


FIGURA 10.- Mezclador de doble cono correctamente diseñado.

El tratamiento final de los polvos de hierro antes de ser compactados y sinterizados, incluye la mezcla con lubricantes y frecuentemente también con otras aleaciones como ya se dijo.

Existen dos diferentes razones para agregar algún lubricante a los polvos de metal y son:

- a) Protección de las paredes de los corazones y de la matriz de los moldes, las cuales, sufren un excesivo desgaste durante la compactación del polvo.
- b) Disminución de la fricción interna entre las partículas de polvo. Esto ayuda a que las partículas tengan un mejor reacomodo durante la compresión del polvo y por lo tanto se mejora así la densidad de la pieza antes de ser sinterizada ("Green density").

Los lubricantes más comúnmente usados son el ácido esteárico, el estearato de zinc, grafito y preferiblemente el grafito natural de-

325 mallas.

Cuando se usa el ácido esteárico como lubricante, no se agrega directamente al polvo del hierro, sino que, primero se hace una preparación consistente de polvo de hierro caliente con ácido esteárico derretido del 5 al 10% y grafito del 2.5 al 5%. Esta mezcla es enfriada y desintegrada a la medida granular requerida según la medida del polvo de hierro que ha de lubricarse. Ya obtenido el lubricante, se toma del 5 al 10% y se agrega al polvo de hierro en un mezclador, para obtener el polvo que ha de compactarse. El motivo por el cual debe prepararse así el lubricante con ácido esteárico, es para vencer los inconvenientes de la consistencia grasosa de éste ácido.

En la mayoría de las plantas manufactureras se usa el mezclador de doble cono (Figura 10) para mezclar el polvo de hierro con el lubricante, bastando para ello, de 20 a 40 minutos, o para mezclarlo con otros polvos. La importancia del doble cono obedece a que: 1ro.- La poca altura de los conos no permite a la mezcla adherirse a la parte estrecha de los mismos, y 2do. Las partículas del polvo mezclado no viajan nunca en direcciones paralelas ni a velocidades constantes. Esto naturalmente ayuda a la uniformidad de la mezcla.

Las características del lubricante son básicamente dos. Debe tener una película con buena resistencia mecánica y no debe derretirse con el calor generado en la compactación.

Una útil e importante práctica usada para conocer las propiedades de uno de éstos lubricantes, es la siguiente: Se basa en la fuerza necesaria para despegar un pistón de polvo de 1" de largo x 1" de diámetro, que ha sido prensado en una matriz a una alta presión de compactación (1 a 1.5 ton/cm²). La fuerza necesaria para despegar éste pistón de su matriz, convertida en Kg/cm² o en 1000 x lb/inch² de la superficie del cilindro, es una medida práctica para conocer (mediante gráficas) la eficiencia de un lubricante.

El resultado de una investigación de la influencia en la compresibilidad y fuerzas de "despegue" en piezas con diferentes pro-

porciones de estereato de zinc y polvo de hierro para varias presiones de compactación, se describe en las Figuras 11, 12 y 13.

Para ésta prueba se usó una matriz un poco gastada de acero al 13% cromo y 2.20% carbón. Tres diferentes tipos de polvos fueron usados:

- 1) Polvo de Hierro-esponja Höganäs MH - 100.24
- 2) Polvo de Hierro-esponja Höganäs MH - 100.28 y
- 3) Polvo de Hierro electrolítico Husquarna HVA normal 100 mallas.

El resultado obtenido se presenta en las Figuras 11, 12, 13- y en la Tabla 13.

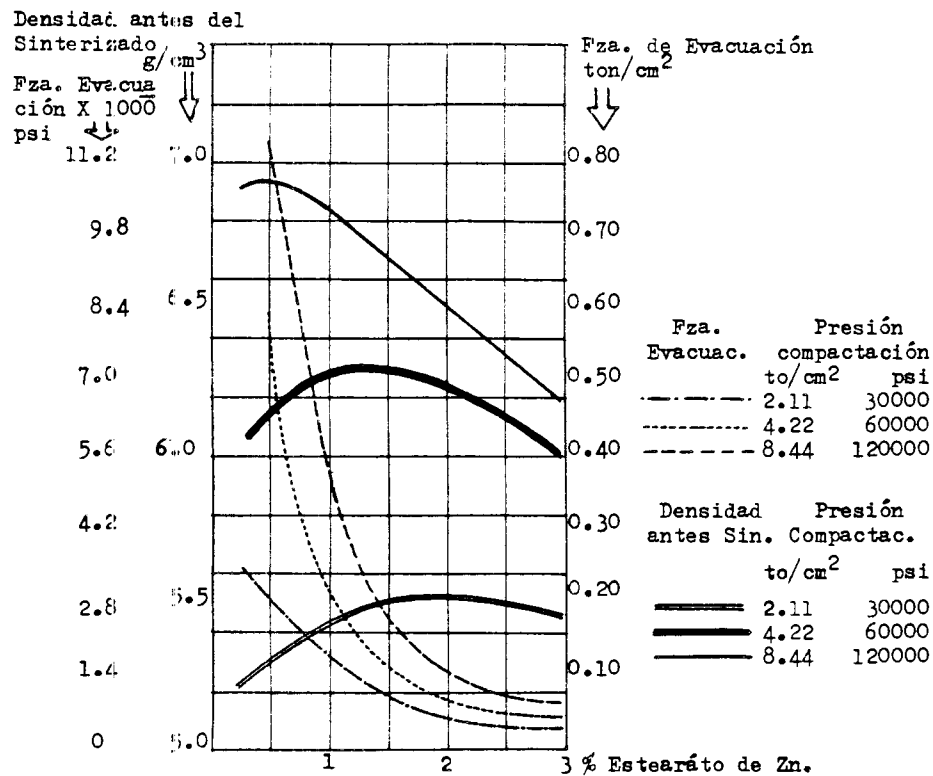


FIGURA 11 Densidad antes de la Sinterización y Fuerza de Evacuación. Polvo MH 100.24

Densidad antes del Sint. g/cm^3

Fza. de Evacuac. X 1000 psi.

9.8

8.4

7.0

5.6

4.2

2.8

1.4

0



6.5

6.0

5.5

5.0

5.0

Fza. de Evacuación

Ton/cm²

46

0.80

0.70

0.60

0.50

0.40

0.30

0.20

0.10

0

FIGURA 12

Polvo MH 100.28

Fza. Evacuac.	Presión compactación
To/cm ²	psi
2.11	30000
4.22	60000
8.44	120000

11.2

9.8

8.4

7.0

5.6

4.2

2.8

1.4

0

7.0

6.5

6.0

5.5

5.0

5.0

Densidad antes Sint.	Presión compact.
Ton/cm ²	psi
2.11	30000
4.22	60000
8.44	120000

FIGURA 13

Polvo

HVA Normal 100 Mallas

% Estearato de Zn.

Polvo	Presión de compactación (psi)					
	30000	60000	120000	30000	60000	120000
	Densidad (g/cm ³)			Fuerza de evacuación (psi)		
MH100.24	5.36	6.27	7.04	960	2460	5500
MH100.28	5.66	6.50	7.19	1010	2360	4480
HVA Normal	5.76	6.62	7.31	1440	3180	5770

Polvo	Presión de compactación (ton/cm ²)					
	2.11	4.22	8.44	2.11	4.22	8.44
	Densidad (g/cm ³)			Fza. de evacuación (ton/cm ²)		
MH100.24	5.36	6.27	7.04	0.068	0.173	0.387
MH100.28	5.66	6.50	7.19	0.071	0.166	0.315
HVA Normal	5.76	6.62	7.31	0.101	0.224	0.406

TABLA 13.- Fuerza de "despegue" (de evacuación) cuando hay lubricación de las paredes de la matriz.

Los valores de densidad fueron ya corregidos por el peso del Estearato de Zinc.

A continuación mencionamos las conclusiones obtenidas después de observar las Figuras 11, 12 y 13:

- 1) Para cada presión de compactación hay una cantidad óptima de esteárate de zinc en cuanto a que determina un valor máximo de la densidad.
- 2) Esta óptima cantidad de esteárate de zinc, varía para diferentes polvos de hierro.
- 3) La óptima cantidad de esteárate de zinc varía con la presión, no uniformemente en cada caso. Así se puede observar que con 0.5% de estearato de zinc, se tiene el mejor resultado con una compactación de 8.44 tons/cm² cualesquiera que sea el polvo usado.
- 4) Con el aumento de la presión de compactación, crece la sensibilidad para determinar el valor óptimo de la densidad.

que determina el valor óptimo de la cantidad de estearato de zinc.

- 5) Para una presión de compactación constante, decrece la fuerza de "despegue" al aumentar la proporción de estearato de zinc, o sea que, se reduce la fricción.
- 6) La fuerza de "despegue" crece con el crecimiento de la presión de compactación.

Al observar la Tabla 13 conjuntamente con las Figuras 11, 12 y 13, se pueden hacer las siguientes aseveraciones:

- 1) Para una baja presión se obtiene una mayor densidad mezclando el estearato de zinc con el polvo de hierro que lubricando directamente las paredes de la matriz. Para una presión media, las densidades son aproximadamente iguales. Si la presión es alta, los valores máximos de la densidad son mayores lubricando la matriz que mezclando el estearato de zinc con el polvo de hierro.
- 2) La fuerza de "despegue" obtenida con lubricación de la matriz, corresponde aproximadamente a la obtenida con 1% de estearato de zinc agregado al polvo de hierro (8.44 ton/cm²)

Después de balancear ambos análisis, podemos dar las conclusiones finales:

- 1) El método para determinar la compresibilidad con lubricación de la matriz, no dá resultados prácticos. La compresibilidad debe determinarse con la mezcla de estearato de zinc y polvo de hierro. Además con éste método, para cada presión, la óptima cantidad de estearato de zinc queda determinada.
- 2) Sería de gran interés si al trabajar a altas presiones de compactación (y por lo tanto a altas densidades), pudiéramos tener un método práctico para lubricar adecuadamente las paredes de la matriz.

C) ALEACIONES AGREGADAS
===== =====

Durante los pasados años, muchas pruebas se hicieron para utilizar polvos pre-aleados, es decir, polvos de aleaciones ya preparadas. Esta forma tiene motivos para ser impráctica por la simple razón de que la dureza de los granos de polvos pre-aleados es muy alta y es difícil alcanzar las densidades requeridas en la parte terminada. Por ésta razón todos los metalurgistas de polvos, acordaron que es preferible el uso de mezclas de polvos de los componentes individuales tal y como se desea que contenga la pieza terminada, pues con ello, se puede lograr una aleación más o menos homogénea y que será formada por "difusión" entre los diferentes componentes durante el proceso de sinterización.

Existen muchos casos particulares que no aceptan esa regla, así por ejemplo, los aceros inoxidable que tienen que ser procesados por compactación, comúnmente son usados en polvos prealeados. La razón, es que la película de protección de cada grano de cromo formada de óxido crómico altamente refractario, impide la difusión de esos granos con otros de otro metal y además es muy difícil lograr la reducción bajo condiciones normales de sinterización. Esto último es suponiendo que quisieramos producir el acero inoxidable con polvos de hierro, carbón y cromo por compresión y calentamiento. Condiciones similares existen para otros casos como: Mn, Si, V, etc.

Como una generalidad se puede citar la siguiente regla para asegurar que los polvos de aleaciones agregadas, no causarían ninguna dificultad grave durante el sinterizado.

"Los óxidos de aleaciones agregadas, los cuales son indeseables en la mezcla con el polvo de hierro, pueden bajo condiciones prevalecientes de sinterización, ser reducidos tan o más fácilmente que los mismos-óxidos de hierro."

For supuesto que esta regla es aplicable en el terreno práctico.

En relación con lo dicho anteriormente, los siguientes elementos son los más comúnmente utilizados para alearse con el polvo de hierro:

- a) Grafito
- b) Cobre
- c) Fósforo
- d) Azúfre
- e) Niquel

a) GRAFITO.

El grafito pudo haberse mencionado antes debido a sus excelentes características como lubricante, pero la más importante razón para la adición de éste elemento, con el polvo de hierro, es que constituye el método más simple para la manufactura de aceros al carbón sinterizados.

En la mayoría de los casos, se usa grafito natural puro de 325 mallas. La proporción entre grafito y hierro es comúnmente entre 1.0% y 1.5% de grafito dependiendo en parte de las pérdidas durante la sinterización y particularmente del contenido de carbón finalmente deseado. Las pérdidas dependen de la pureza del polvo de hierro y de las condiciones de sinterización.

Muchas compañías manufactureras que se especializan en la producción de aceros sinterizados de alta densidad, obtienen buenas propiedades con el uso de un cierto tipo de carbón en lugar del grafito. Es posible que este carbón no deje ninguna traza de cenizas, las cuales, son quizás las responsables de la fragilidad de muchas piezas sinterizadas cuando se usa el grafito.

Los más importantes factores para obtener alta resistencia a la tensión y valores de elongación adecuados, son probablemente los siguientes:

- 1) Alta densidad, la cual generalmente es obtenida con doble presión y doble sinterización.
- 2) Alta temperatura de sinterización
- 3) Atmósfera de sinterización conveniente.

El uso del grafito o carbón como lubricante ofrece una ventaja que consiste en que no hay necesidad de hacer una preparación previa co-

no se hace con el estearato de zinc.

Cuando se manufacturan piezas sinterizadas muy pequeñas, el carbón puede ser añadido también por atmósfera carburante.

b) C O B R E.

El polvo de cobre es uno de los más frecuentes aditivos al polvo de hierro. Hay muchas razones para ello, de entre las cuales podemos citar las siguientes:

- 1) El polvo de cobre es fácil de mezclar con el polvo de hierro.
- 2) La reductibilidad química del cobre es tan grande como la del hierro. Esta ventaja consiste en que la reducción de los óxidos de cobre para obtener cobre metálico, puede hacerse durante las condiciones de sinterización aplicables al hierro.
- 3) Los sistemas Fe - Cu y Fe - Cu - C ofrecen valores de propiedades físicas y posibilidades para variar esas propiedades en los productos terminados.

Una dificultad cuando se sinterizan mezclas de polvos de cobre y hierro, es que el cobre tiende a dilatar la pieza durante el sinterizado. Este aumento de las dimensiones depende principalmente del tamaño del grano de cobre. Es posible eliminar éste inconveniente mezclando polvo de tungsteno u óxido de tungsteno en el polvo de hierro-cobre (Figura 14).

c) FOSFORO.

El fósforo en cantidades mayores de 0.8% aproximadamente ocasiona un incremento en la resistencia a la tensión en piezas compactadas de polvo de hierro.

En cualquier caso, la presencia del fósforo en la Sinterización (normalmente agregado al polvo de hierro en forma de ferrofosfuros en polvo), causa una contracción en la pieza. Este efecto se explica por -

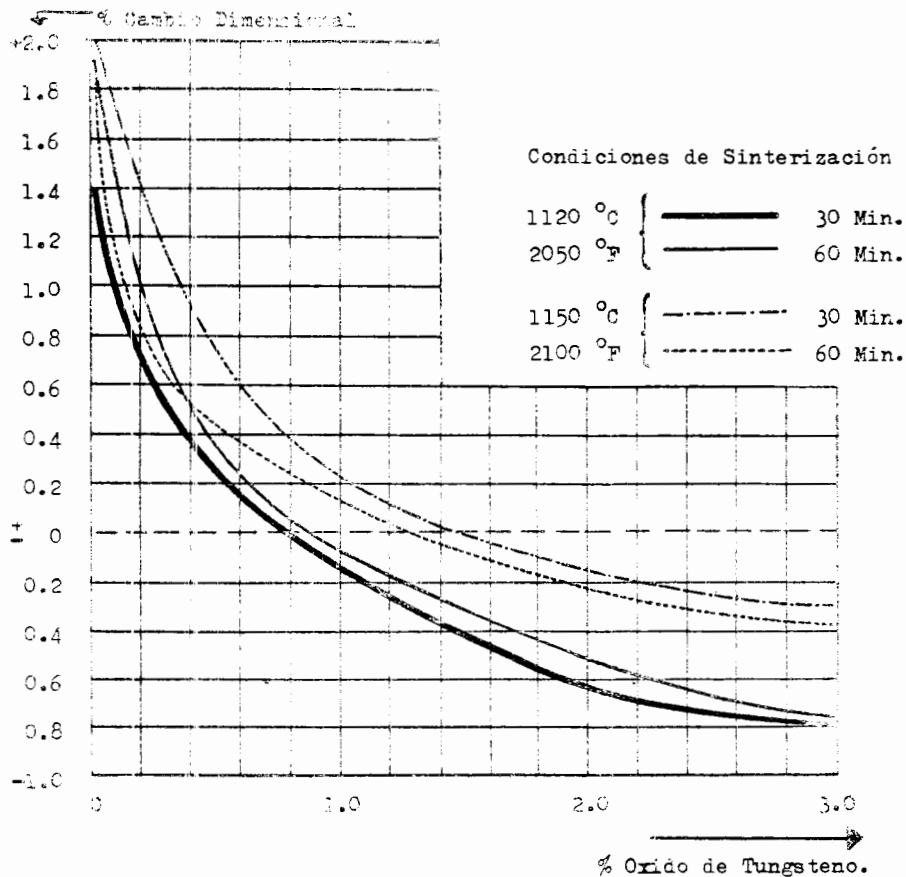


FIGURA 14.- Influencia del óxido de Tungsteno en el cambio dimensional para mezclas de 92.5% ME 100 y 7.5% Cu- polvo.

por la formación de una fase líquida durante el Sinterizado, Así pues, - es muy limitado el número de fabricantes que utilizan éste método.

d) A Z U F R E .

Se han hecho muchas pruebas de las cuales se puede concluir — que el efecto del Azufre es similar al del fósforo. El uso del Azufre - es muy importante, pero sin embargo, una pequeña producción en U.S.A. sólo lo tiene. Existe una ventaja en el uso del Azufre o del fósforo y consiste en que además de ser económicos, al fusionarse y reaccionar - con el metal durante la sinterización, aceleran éste proceso incrementan do así la resistencia considerablemente.

Los materiales en que no sea importante la fragilidad, el Azufre y el fósforo pueden usarse por razones económicas y prácticas.

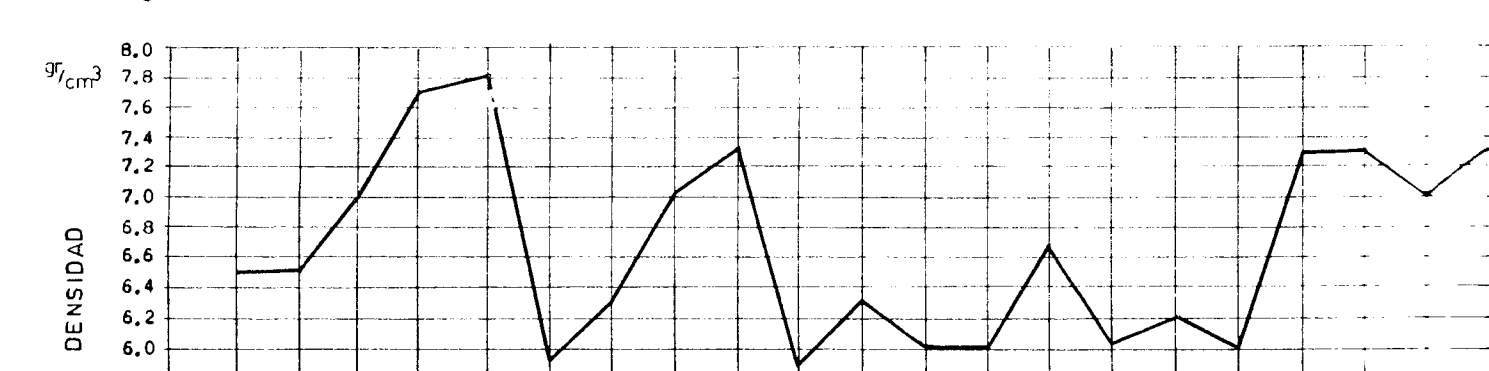
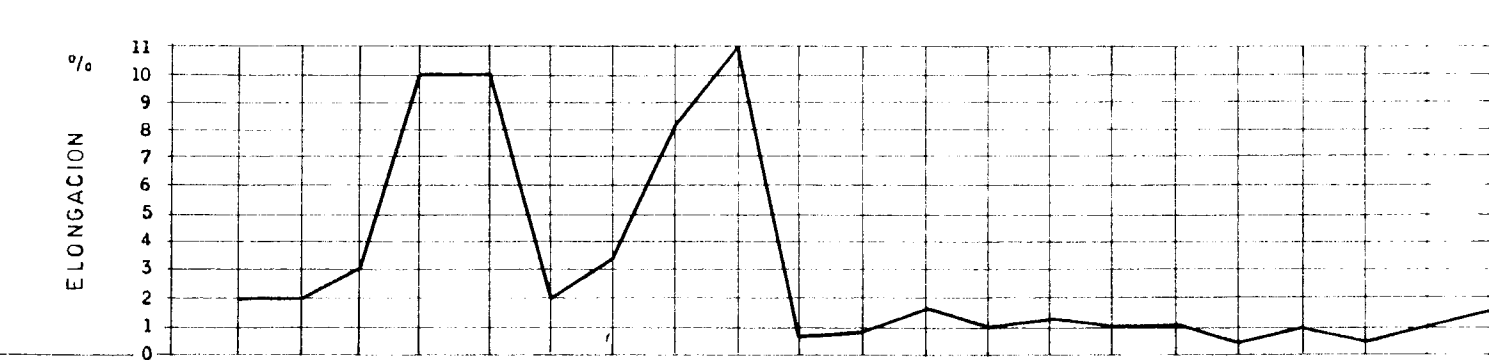
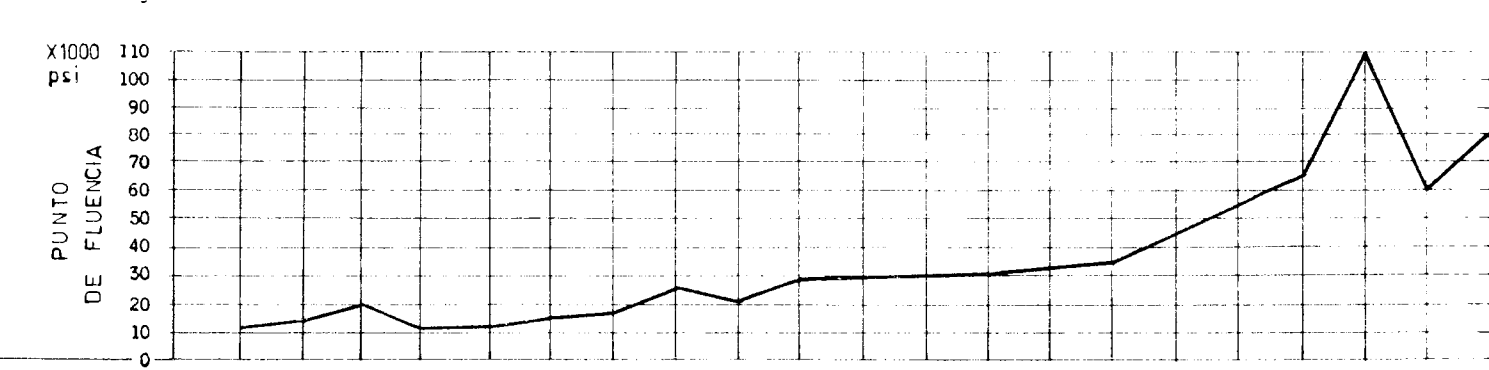
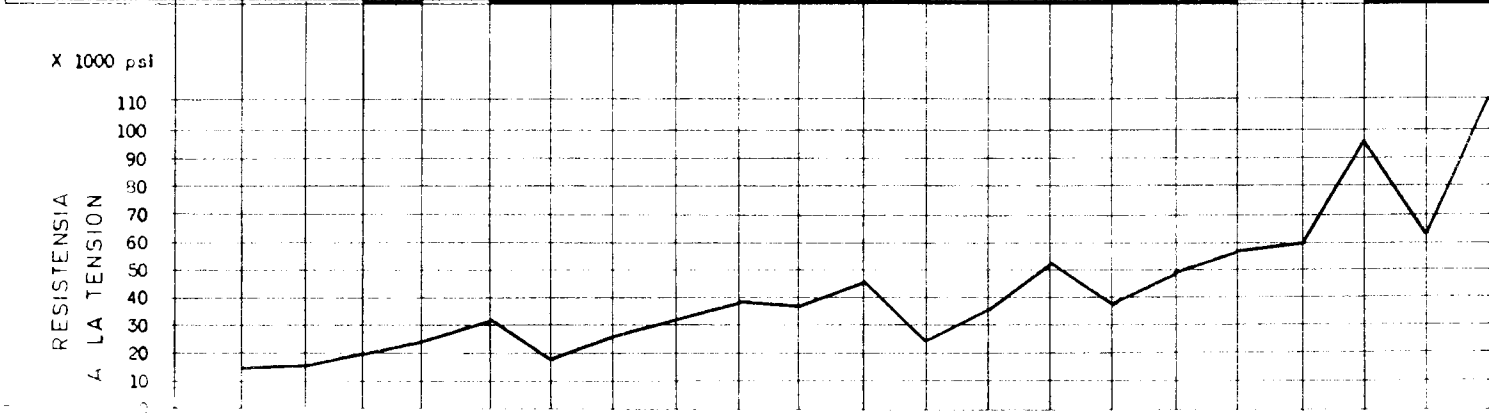
e) N I Q U E L .

Como un primer vistazo podemos resaltar una posible ventaja — del uso del Niquel y es que tiene poca afinidad por el oxígeno. Existe una desventaja consistente en que el Niquel se difunde extremadamente poco en el hierro por lo que el grano de uno y otro metal deben ser muy finos. Del Niquel debe ser de 325 mallas mínimo y del hierro 100 mallas — mínimo. Por otro lado, si el grano es fino, es muy fácil que se presente, la formación de aleaciones Fe-Ni las cuales requieren una alta temperatura de Sinterización (1250 - 1350 °C = 2280 °F - 2460 °F) y largo — tiempo (1 a 2 horas).

En seguida se encuentran graficadas algunas propiedades, tales como, el límite de fluencia, resistencia mecánica a la tensión, % de — elongación y densidad, para diferentes proporciones de porcos.

Cobre	82.6	86.5	87.5	77.0	61.0									1.75	4.0	4.0	7.0	7.0	4.0	11.0	11.0	
Hierro	1.0	1.0	1.0	0.25	0.25	96.5	96.5	97.9	97.9	95.5	95.5	94.7	91.5	91.5	86.5	86.5	91.0	71.2	70.5	91.1	91.1	
Estaño	9.5	9.5	9.5	0.1	0.1																	
Plomo	2.0			1.0																		
Antimonio	.25			0.1	0.1																	
Niquel	.35			0.1	17.1																2.00	0.30
Zinc	.75			21.3	21.4																	
Carbón	1.75	1.5	1.5			0.25	0.25	0.15	0.15	0.60	0.60	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.60	0.25	0.60	0.55	0.55	
Silicón						0.3	0.3	0.20	0.3	0.3	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	
Aluminio						0.2	0.2	0.15	0.15	0.2	0.2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20			
Azufre								0.05	0.05											0.10	0.10	
Fósforo								0.05	0.05								0.75			0.20	0.20	
Manganeso																	0.3			0.75	0.75	
Molibdeno																				0.30	2.00	

en %	Bronce			La tón	Ni quel	Hierro Sintetizado Estructural														Cobre Infiltrado.	Hrro. Sintetizado Estruct.
------	--------	--	--	--------	---------	--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------	----------------------------



CAPITULO QUINTO

PRENSADO, UTILES Y HERRAMIENTAS.

- A) Métodos para la compactación del polvo
- B) Utiles y Herramientas básicas
- C) Reprensado

El arte de convertir un puñado de polvo de metal en una pieza compactada con ciertas dimensiones y determinada forma, es el paso más importante en la manufactura de piezas de polvos de metal. Todo esto requiere mucho conocimiento por parte de ingenieros, fabricantes de herramientas y de operadores de máquinas.

A) MÉTODOS PARA LA COMPACTACION DEL POLVO

El comportamiento de los polvos de metal cuando están sujetos a presión, se ilustra en la siguiente Figura 15.

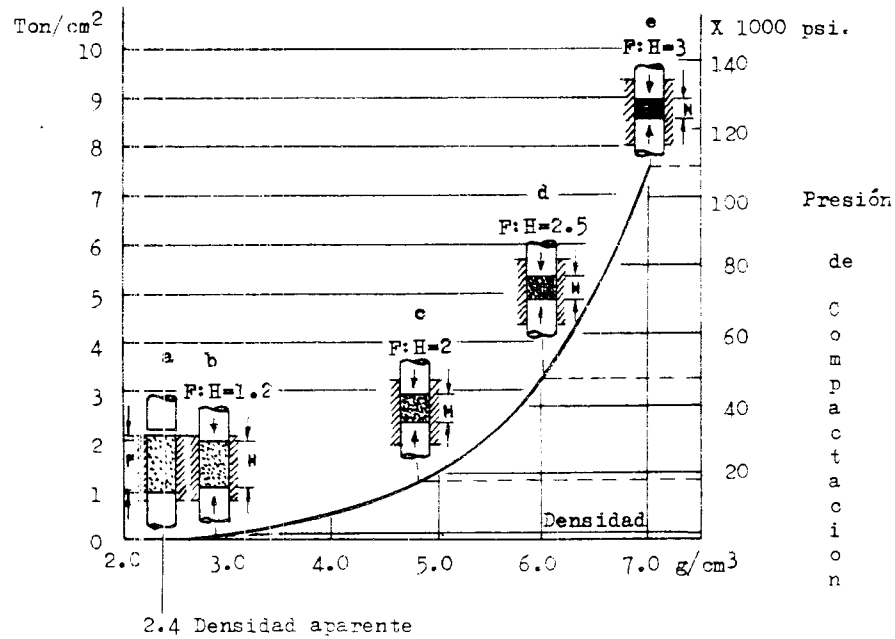


FIGURA 15.- Compresión del Polvo Hierro Esponja MH 100.24

Se supuso que el polvo de hierro sueco normal usado, tendría el mismo comportamiento de cualquier mezcla de polvo usado en la práctica. Esto naturalmente no es correcto, pero, para fines prácticos es muy

útil. El polvo fué compactado gradualmente dentro de un simple cilindro, así la siguiente discusión será aplicable a cualquier mezcla de polvo usada en la práctica.

De la Figura 15 posición "a", la matriz es uniformemente llena da con polvo, y la densidad aparente del polvo en éste caso es de 2.4 gr/cm^3 .

En la Figura 15 posición "b", ambos punzones tienen recorridos en dirección de uno al otro. El polvo es así ligeramente compactado - - (la presión de compactación es aproximadamente 1400 psi o 0.1 ton/cm^2) y su densidad se ha incrementado uniformemente de 2.4 a 2.9 gr/cm^3 .

Se ve que la compactación obliga a las partículas del polvo a tener un cierto reacomodo. No hay deformación individual de cada una de ellas, ni tampoco hay adhesión aun entre ellas. Si en ésta estación se removiera el polvo fuera de la matriz, éste saldría sin formar ningún -- contorno definido.

Si la presión es todavía incrementada, la deformación plástica de las partículas ocurrirá. Secciones delgadas de partículas individuales sufrirán doblamiento o quebradura y empezará a aparecer la adhesión en frío de las partículas entre si.

Parte de la presión es transmitida a través de la masa de polvo en dirección perpendicular a la de la presión explicada, causando una considerable fricción entre las paredes de la matriz y las partículas de polvo adyacentes.

La adhesión entre las partículas individuales necesaria para formar una pieza cilíndrica de polvo, ocurre a la densidad de 3.2 gr/cm^3 la cual requiere una presión de compactación de 2275 psi (0.16 tons/cm^2). Sin embargo la resistencia de ésta pieza compactada es todavía muy baja y no puede usarse para propósitos prácticos.

De la Figura 15 posición "c", la compactación aumentó y también proporcionalmente la influencia de la fricción interna con las paredes de la matriz. La densidad es ahora de 4.8 gr/cm^3 o sea el doble de la densidad del polvo libremente vaciado. La compactación correspondiente-

es de 17061 psi (1.2 tons/cm²). Para una presión de compactación de - - 31280 psi (2.2 tons/cm²) una densidad de aproximadamente 5.5 gr/cm³ es - lograda.

De la Figura 15 posición "d", la densidad es de 6.0 gr/cm³ y - la presión de compactación es aproximadamente de 46,920 psi (3.3 tons/cm²)

De la Figura 15 posición "e", la masa de polvo es compactada - casi a una tercera parte de su volumen original.

Comentarios finales sobre la Figura 15:

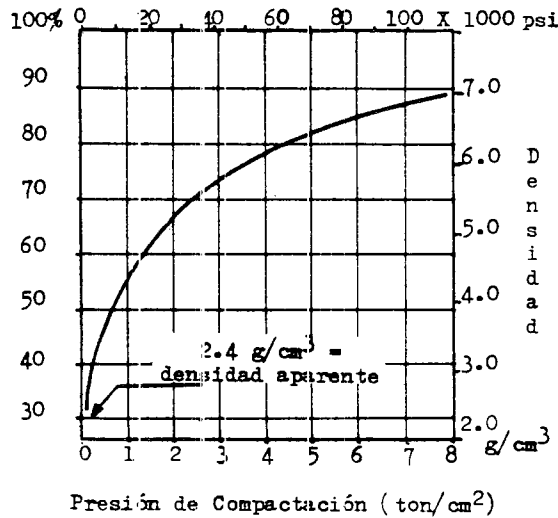
Para una densidad de 4.8 gr/cm³ la altura del nivel del polvo es la mitad de la altura original, o sea que, la relación de compresión - en éste momento (posición "c") es de 2 a 1. La densidad es sin embargo - todavía baja, tal que, las propiedades después de la Sinterización en és - tas condiciones, serían demasiado pobres para aplicarlas a cualquier uso - práctico en la Industria.

La densidad de 5.5 gr/cm³ es algo baja pero es aplicable para - ciertos usos especiales. Valores de densidad de 5.5 a 6.0 gr/cm³ son co - munes en chumaceiras autolubricadas. Para partes estructurales, una rela - ción de compresión de 2.5 es considerada normal (posición "d")

El rápido incremento de presión de 6 a 7 gr/cm³ representa un - aumento bastante más fuerte del proporcional, de trabajo y de fricción - con las paredes de la matriz, pues, a esas presiones se llega a los lími - tes superiores del rango de deformación plástica del metal.

Es de suma importancia en la economía del proceso del polvo de - metales, el uso y funcionamiento de varios elementos mecánicos en las he - rramientas, especialmente en el rango de altas presiones. Por ésta ra - zón, los valores de alta densidad no son tan comúnmente usados como los - medios y los bajos. En la práctica, la densidad para aproximadamente el - 90% de las partes prensadas estructurales, varía entre 5.7 y 6.8 gr/cm³. - Hay excepciones fuera de éste rango y especialmente en Europa en donde - algunas compañías manufactureras utilizan presiones altas de 7.0 a 7.2 - gr/cm³ en densidad.

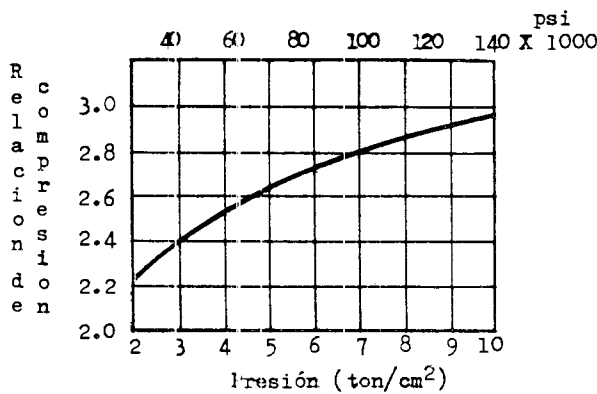
La relación entre la presión de compactación específica y la densidad antes del sinterizado, se ilustra graficamente en la Figura 16.



Estos datos son de vital importancia para el diseñador de herramientas. Con estos datos, él consigue por ejemplo encontrar la presión necesaria para obtener la densidad que se especifica en una pieza en particular.

FIGURA 16.- Densidad antes del Sinterizado del Polvo de Hierro Esponja MH 100.24 en gr/cm³ y en % de la densidad del hierro sólido, como función de la presión de compactación aplicada.

Conociendo la compresibilidad y la densidad aparente de la mezcla de polvo, el diseñador puede calcular la relación entre la presión de compactación específica y la relación de compactación (Figura 17).



De ésta gráfica (Figura 17) el diseñador puede encontrar la altura a la que debe ser comprimido el polvo y a la presión de compactación específica necesaria para obtener cierta densidad ya especificada.

FIGURA 17.- Relación de compresión del Polvo de Hierro Esponja MH 100.24 como función de la presión de compactación aplicada.

Las características de compresibilidad de un polvo de metal — son también importantes para la selección y el diseño de la presión de compactación de ese polvo. De especial interés respecto a lo antedicho, es la relación entre la distancia total de movimiento del punzón de presión con las dimensiones de la matriz y la relación del incremento de la resistencia con aquel movimiento.

En la práctica, 7.2 gr/cm^3 puede considerarse como una densidad alta y que es aplicable para el compactado del polvo de hierro. Por ésta razón se justifica la consideración de que la carrera total de compactación dentro de la matriz se haga con el punzón superior o con ambos punzones (superior e inferior).

Si ahora, ya se acordó que el movimiento del punzón es en función de la presión de compactación aplicada, debemos observar la Figura 18.

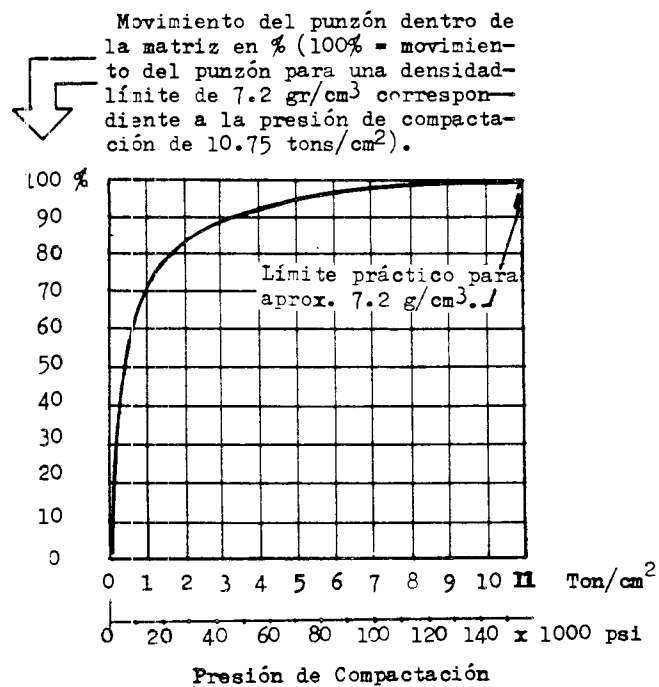


FIGURA 18.- Movimiento del punzón en % contra presión de compactación aplicada, para el Polvo de Hierro Esponja - - MH 100.24

Esta gráfica (Figura 18) muestra que la presión del punzón — tiene ya un recorrido del 85% aproximadamente del movimiento total posible. Esa presión de compactación específica es aproximadamente de — — — 30500 psi (2.5 ton/cm²). Esto corresponde a una densidad antes del sinterizado de aproximadamente 5.5 gr/cm³, o sea que falta más o menos un — 15% del movimiento del punzón para alcanzar la densidad límite de — — — 7.2 gr/cm³.

Esto muestra que una prensa para la compactación de un polvo — de metal debe ejercer su máxima presión solo durante un muy corto momento correspondiente a la fracción de carrera en que el ariete casi está — en su punto muerto inferior. Por lo tanto, la prensa requiere ser per— fectamente calibrada para hacer coincidir esos dos puntos, el del punto— muerto y el de máxima presión requerida.

La conclusión práctica de ésto último, es que generalmente — — prensas de tipo cigüeñal o de excéntrica o de tipo "Toggle" (de palanca— acodillada o rótula), son adecuadas para la compactación de polvos de me— tal. La tendencia moderna se inclina por las prensas hidráulicas con — sistemas de tipo neumático. Naturalmente que en las primeras, el espa— cio libre de montaje debe ser suficientemente grande y la carrera del — ariete también debe tener suficiente recorrido.

MÉTODOS PARA LA COMPACTACION DE POLVOS DE METAL.

La Figura 19 ilustra los diferentes métodos para la compacta— ción del polvo de metal.

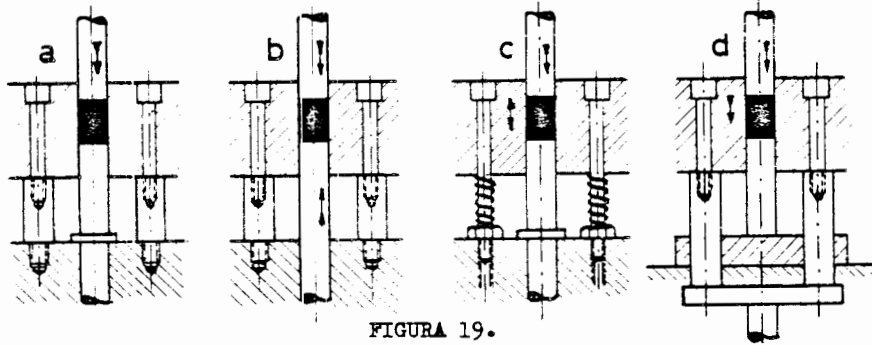


FIGURA 19.

1) Compactación por Simple Acción. (Figura 19 "a")

La compactación de simple acción es usada en la práctica sólo para la manufactura de piezas de un solo diámetro o espesor como casquillos, cilindros, roldanas, placas, etc. Esto es mostrado en la figura - donde la matriz y el punzón inferior son fijos. La presión es aplicada por el punzón superior y actúa sólo en una dirección.

Prácticamente cualquier tipo de prensa mecánica o hidráulica - puede ser usada y las herramientas son muy simples. Varios mecanismos y útiles son necesarios para la evacuación de la pieza.

2) Compactación por Doble Acción.

Cuando piezas de gran altura tienen que ser compactadas, la presión de compactación debe actuar en la masa de polvo en dos direcciones opuestas. La razón es que si se accionara por simple acción, la distribución de la densidad sería asimétrica, o sea, que la densidad no sería uniforme. Este fenómeno queda justificado esquemáticamente en la - Figura 20.

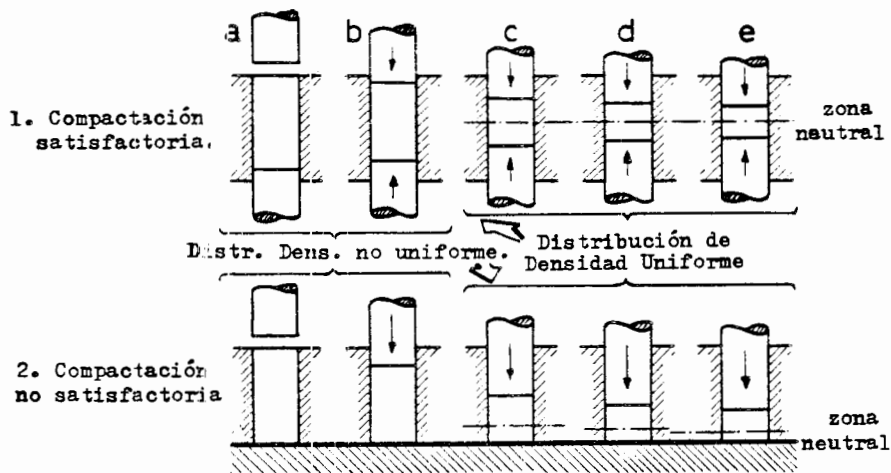


FIGURA 20 .- Compactación de polvos de metal. Simple acción (abajo) Doble acción (arriba).

3) Diferencia entre la Compactación de Simple y Doble Acción.

En el caso de la compactación por simple acción, el punzón superior proporciona una gran presión que disminuye linealmente (ésta disminución graficada sería en forma de cono) hacia el punzón inferior. La razón de ello se debe a la variación en la propagación de la presión a través de la masa de polvo y por la gran fricción del polvo con la matriz.

La posición de la "zona neutral" (Figura 20) de compresión -- (zona de densidad media) aparece característicamente como una banda de textura afelpada abajo del centro de la pieza. La razón de la aparición de ésta banda es que las partículas de polvo durante la estación final de compresión, no pueden en ésta zona deslizarse ni para arriba ni para abajo por lo que no proporcionan un acabado pulido como en otras zonas. Cuando la compresión por doble acción es usada (Figura 19 "b - d"), la zona neutral está siempre en el centro de la pieza porque los conos de variación de la presión se construyen simétricamente desde arriba y desde abajo.

4) Compactación por Doble Acción en Prensas de Doble Acción.

Figura 19 "b". Ambos punzones se mueven dentro de la matriz comprimiendo el polvo de metal en la misma relación de movimiento y ejerciendo la misma presión durante ésta compactación. Cuando dicha compactación está terminada, se efectúa la evacuación de la pieza mediante la elevación del punzón inferior. Aproximadamente el 80% de todas las piezas manufacturadas en los Estados Unidos, son producidas por éste camino mientras que, en Europa sólo alcanza esa producción entre 30 y 40%.

5) Compactación en Matrices con Resortes Flotantes.

Figura 19 "c". En éste caso, el punzón inferior permanece fijo en la zapata inferior del molde. La matriz es suspendida en la posición de "llenado" por unos resortes.

En el primer momento, después de que el punzón superior ha penetrado en la matriz, el polvo empieza a ser compactado sin causar ningún movimiento a la matriz. Después de un corto tiempo, la fricción contra las paredes de la matriz llega a ser tan alta que vence la fuerza --

de los resortes, los cuales, deben ser ajustados para resistir la carga inicial y el peso propio de la matriz. Simultáneamente con el incremento de la fricción, la matriz comienza a descender muy lentamente hasta tener la misma velocidad que el punzón superior. Como la acción ascendente de la fuerza de los resortes es mucho menor que la presión de compactación, éste proceso produce resultados similares al de compresión por doble acción y la zona neutral se forma en el centro de la pieza.

6) Compactación por el Método de "Separación de la Matriz".

Figura 19 "d". Este método produce resultados análogos al de doble acción, su característica principal consiste en que un mecanismo independiente al molde y sincronizado con el movimiento del punzón superior, acciona a la matriz hacia abajo muy sensiblemente una corta carrera para situar a la zona neutral simétricamente a la longitud de la pieza. La matriz inmediatamente después de terminarse el ciclo de compresión, sigue descendiendo pero más rápidamente con el objeto de dejar al descubierto la pieza terminada. Con esto nos damos cuenta que la evacuación de la pieza no se logra con el ascenso del punzón inferior sino con el descenso de la matriz.

Naturalmente que la velocidad no es tan alta, pero, en realidad, cualquier prensa mecánica de tipo cigüeñal o excéntrica o de palanca acodillada (tipo "Toggle") puede ser adaptada para usar éste método o el de resortes flotantes. Una prensa tipo "Toggle" puede tener una capacidad hasta de 650 toneladas y puede ser adaptada para éste método alcanzando una producción de 10 a 15 piezas por minuto.

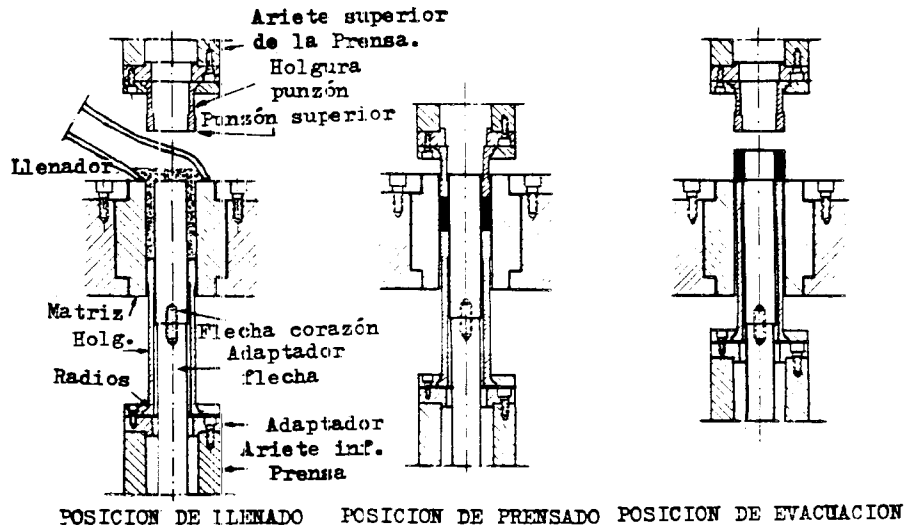
B) UTILES Y HERRAMIENTAS BASICAS

Es obvio que el diseño general de un molde para compactación de polvo, depende principalmente del diseño de la pieza y de la prensa que se va a usar.

I.- COMPACTACION EN PRENSAS DE DOBLE ACCION.

a) CASQUILLOS SIMPLES:

El diseño de un molde para éste tipo de piezas, es comparativamente simple y se entiende facilmente de la Figura 21.



b) PIEZAS CON DOS DIFERENTES ALTURAS:

La Figura 22 muestra un corte seccional de un molde para éste tipo de piezas. La característica principal de éste diseño es que el punzón inferior está dividido en dos punzones. El punzón que corresponde al menor espesor de la pieza, es mantenido en la posición de llenado, por un resorte. Cuando los tres punzones se ponen en movimiento, la presión es ejercida solo en la masa de

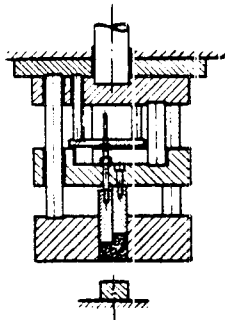
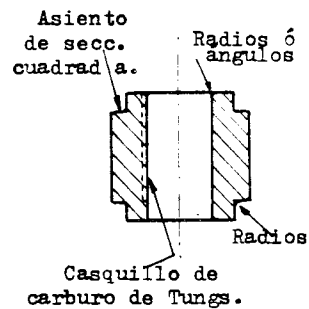


FIGURA 22.

FIGURA 21.



Dureza del Acero de la Matriz; Rc > 63

polvo arriba del punzón izquierdo inferior, porque el punzón derecho tendrá un movimiento descendente ya que el resorte no puede oponerse a la fuerza ejercida sobre el de la presión. Esto es con el objeto de uniformizar la densidad de la pieza.

Un resultado similar se obtendría si la matriz quedara suspendida sobre resortes y la presión solo la ejerciera el punzón superior. - Este caso tiene la ventaja de que un molde con éstas características, — puede usarse en prensas de simple acción.

II.- TIPOS FUNDAMENTALES DE PIEZAS COMPRIMIDAS.

CLASE 1: Las piezas más simples que pueden ser formadas por compresión son aquellas con dos superficies paralelas (Fig.23).

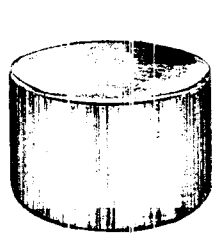
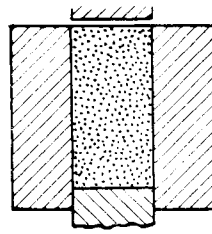
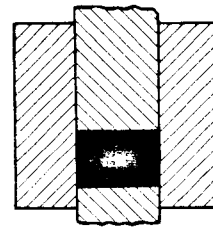


FIGURA 23



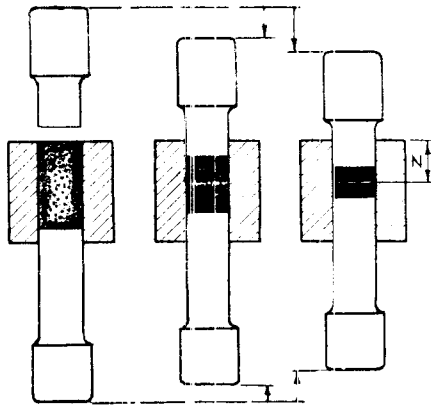
Llenado



Compresión

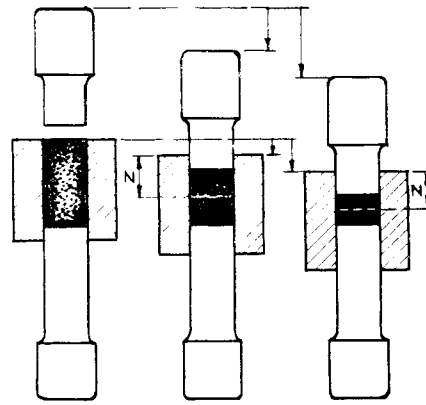
FIGURA 24

Esas piezas son hechas por punzones de caras planas y pueden ser prensadas por presión solo superior (Figura 24); presión superior y inferior (Figura 25) ó con matriz flotante y punzón inferior fijo (Figura 26).



Matriz Fija
Movimiento del punzón inferior

FIGURA 25



Matriz Flotante
Punzón inferior fijo.

FIGURA 26

CLASE 2: El siguiente grupo consiste de piezas similares teniendo uno o más agujeros paralelamente a la dirección de la presión (Figura 27). Esas piezas son hechas por presión del polvo alrededor de una flecha corazón fija (Figura 28).

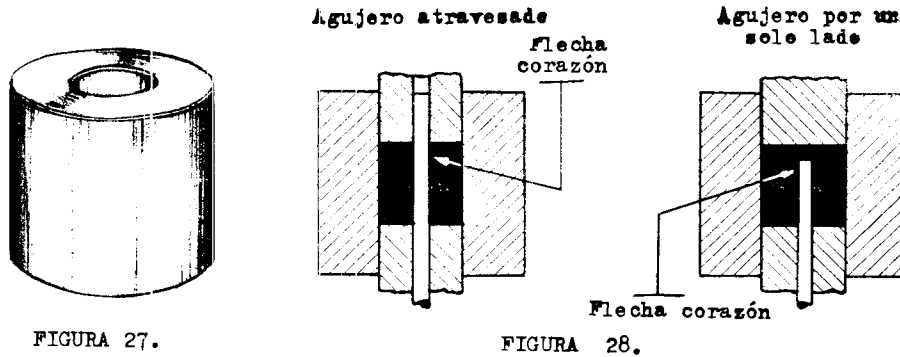


FIGURA 27.

FIGURA 28.

Esa flecha corazón ajusta perfectamente con un agujero hecho en el punzón superior, el cual, ajusta a su vez en la matriz al mismo tiempo que comprime el polvo. Para la manufactura de casquillos de paredes delgadas, la flecha corazón es presentada al punzón superior después del llenado y antes de la compresión. Esta misma flecha al terminar el prensado, desciende antes de que se empiece a evacuar la pieza mediante el punzón inferior, reduciendo así el esfuerzo de evacuación (Figura 29).

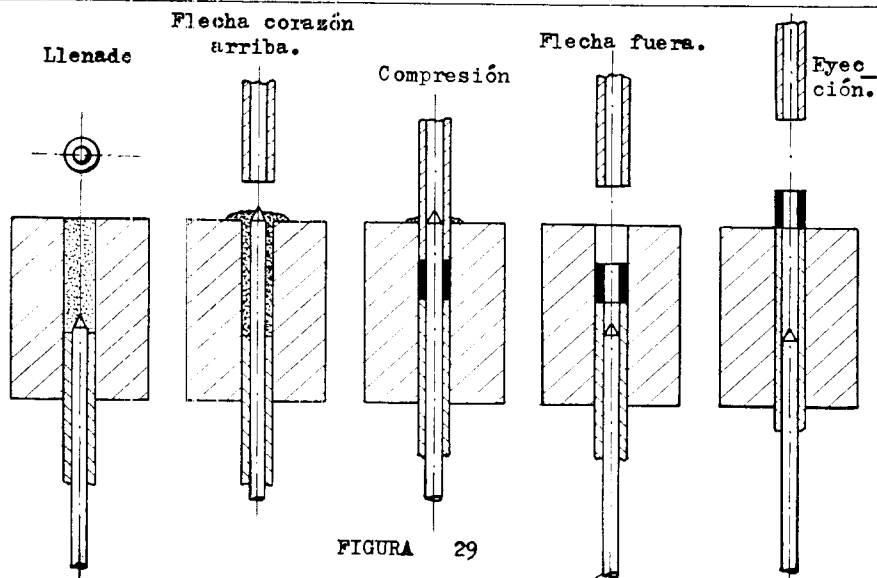
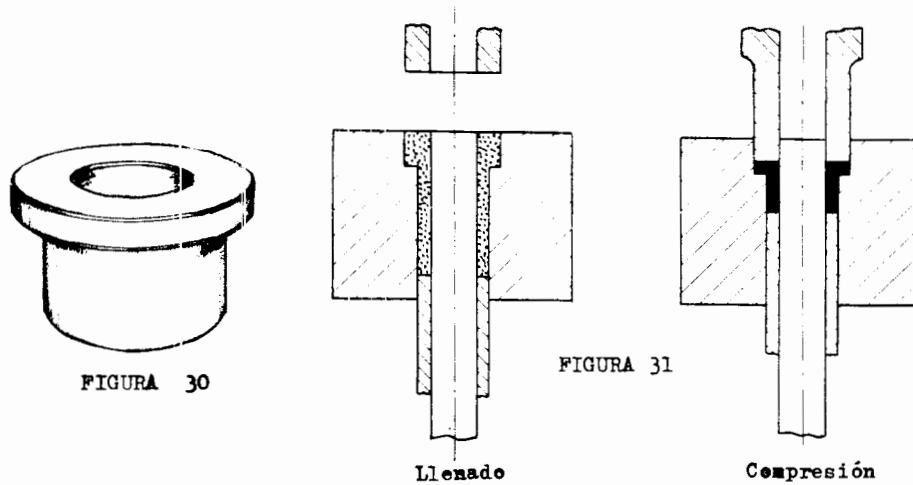


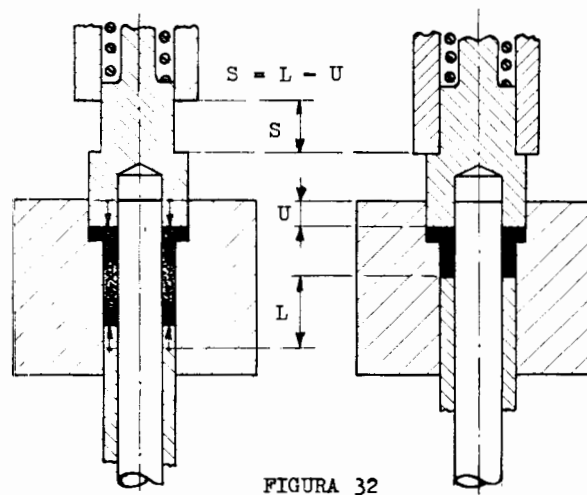
FIGURA 29

CLASE 3: El siguiente grupo de piezas, mas complicadas, son como — las anteriores pero además tienen un resalte (Figura 30) — el cual, es formado por presión del punzón superior con ayuda de una cavidad existente en la matriz y al mismo tiempo es también formado el — cuerpo de la pieza entre ambos punzones (Figura 31).



El espesor de éste resalte será según el ajuste que se haga en la carrera del punzón superior.

Estas piezas — con resalte requieren de un montaje con un resorte sobre el punzón inferior (Figura 32), o un resorte abajo de la superficie que forma el resalte (Figura 33). Para evitar el tener que montar una matriz flotante, muchas prensas pueden — ser adaptadas con levas para dar presiones no si multáneas (Fig. 34).



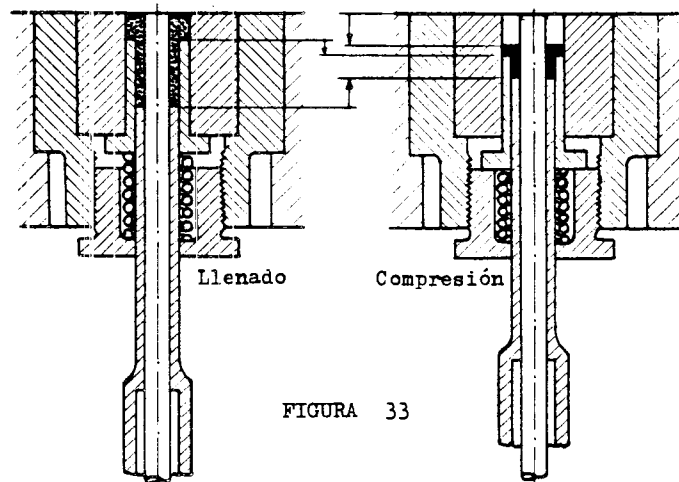


FIGURA 33

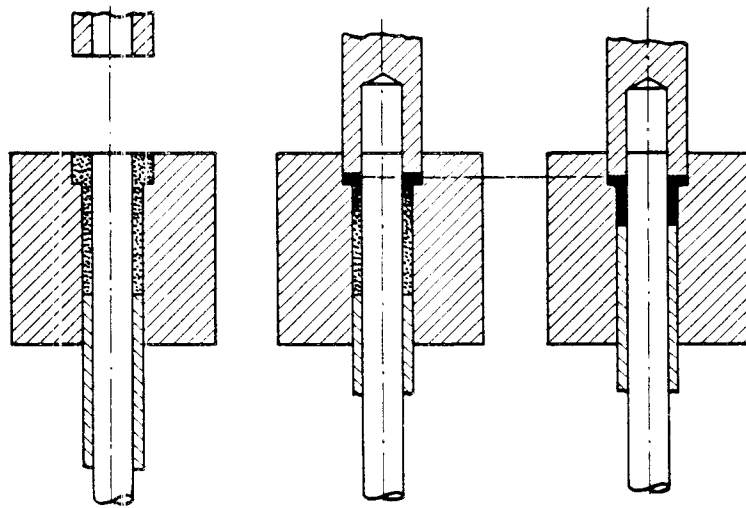


FIGURA 34

En la Figura 34, el punzón superior desciende y cierra la matriz antes de que el punzón inferior se mueva. Cerca del final del ciclo de compresión, el punzón superior presiona un poco más para reforzar el resalte.

CLASE 4: Se refiere a piezas con un reborde interior (Figura 35).

Son hechas con un proceso similar al anterior, usando una flecha corazón de 2 diferentes diámetros. Los movimientos no simultáneos o miembros con resortes son requeridos análogamente como en el caso de piezas con reborde externo (Figura 36).

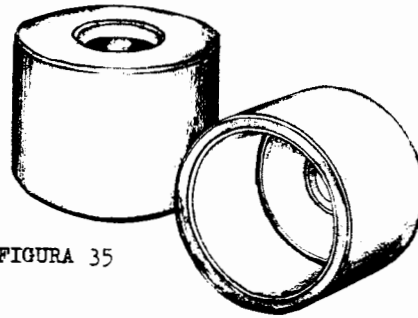


FIGURA 35

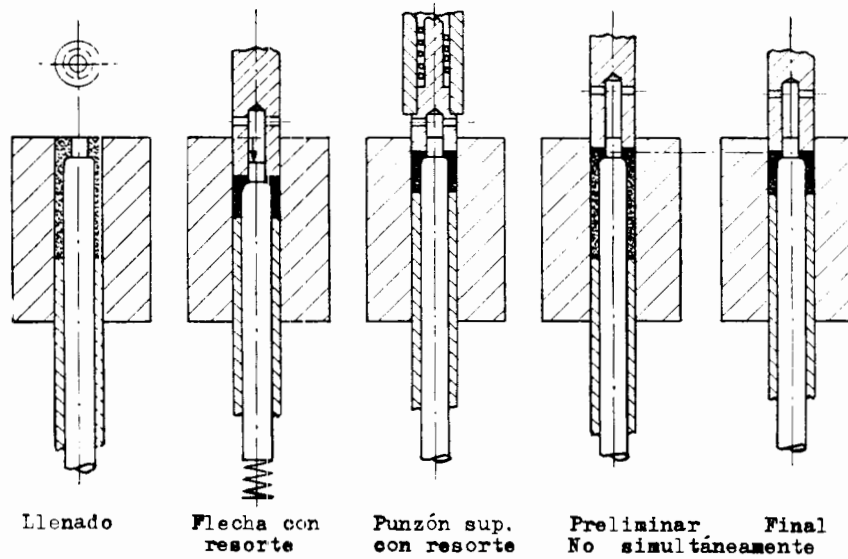


FIGURA 36

CLASE 5: Piezas con diferentes niveles (Figura 37) requieren de punzones adicionales (Figura 38) o de secciones con resortes adicionales. También se necesitan movimientos con levas especiales para prevenir roturas en piezas con secciones delgadas o resaltes muy delgados, cuando comienzan a ser evacuados.

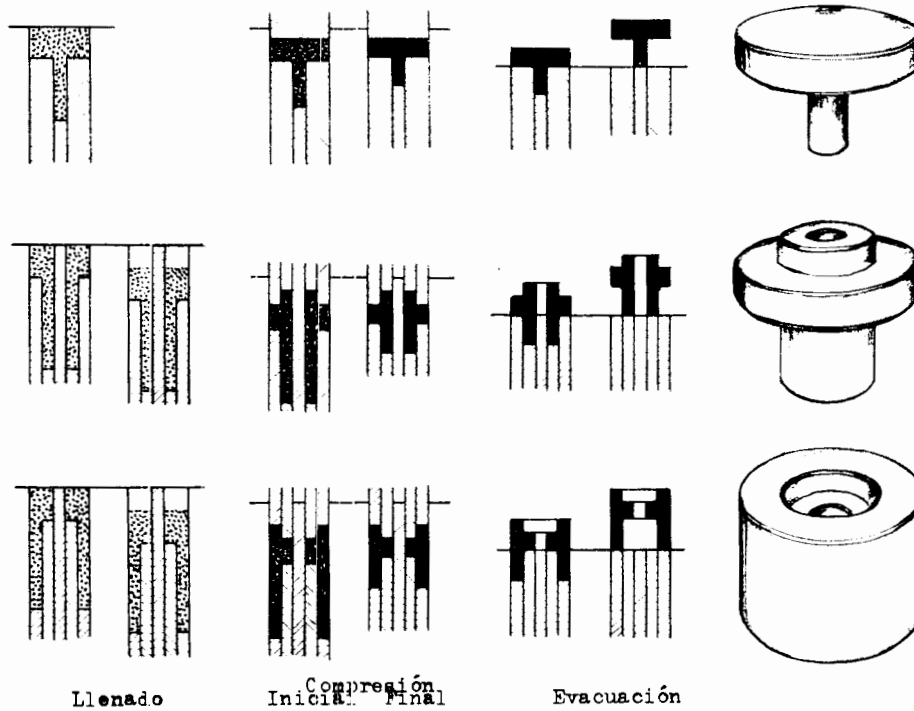


FIGURA 38

FIGURA 37

Todo este tipo de piezas constituyen bastantes problemas principalmente en la evacuación. La solución de ellos consiste de una perfecta regulación de los movimientos entre flechas y punzones.

Las piezas al ser evacuadas por el punzón inferior son accionadas por una zapata perteneciente a un sistema acoplado al movimiento de la máquina, con objeto de retirarla del área de operación (Figura 39).

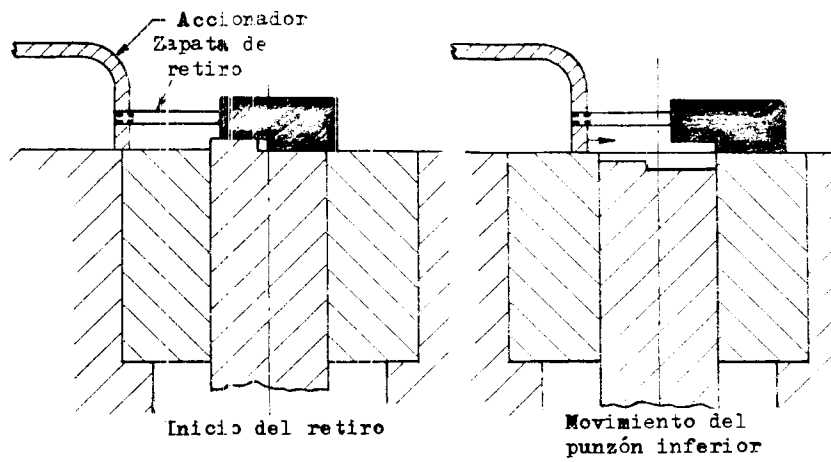


FIGURA 39

III.- LIMITACIONES DE PUNZONES Y MATRIZ Y SU TECNOLOGIA.

Ciertas piezas tienen formas que requieren matrices de diseño — complicado, las cuales deben ser modificadas para eliminar filos delicados — (Figura 40) como son filos muy aguzados o estrechos o ranuras muy profundas en los punzones.

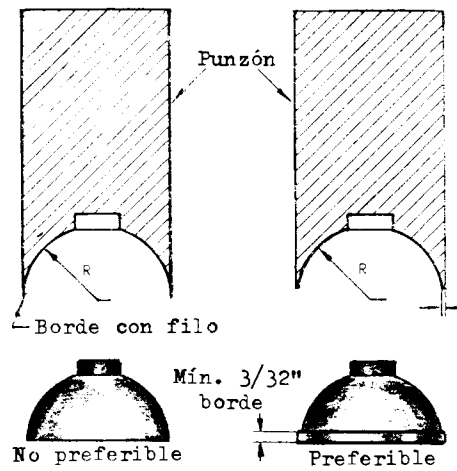


FIGURA 40

Un pequeño escalón es requerido en la parte adelgazada de la pieza con el objeto de evitar un filo demasiado aguzado en la herramienta. En chumaceras esféricas, un escalón mínimo de $3/32''$ de ancho, incrementa la vida de la herramienta y hace más económica la producción (Figura 41).

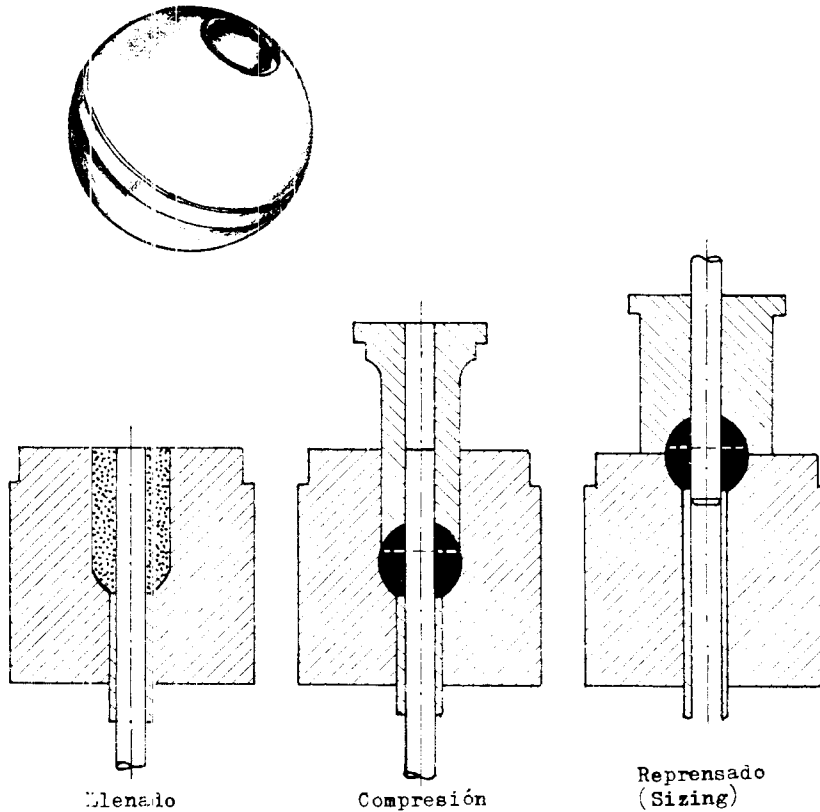


FIGURA 41 .

En la práctica general, el espesor mínimo de la pared de un punzón, se recomienda que sea de $0.030''$. Cualquier reducción de esta medida hace a la herramienta susceptible de pandearse o desportillarse y además presenta serios problemas durante su tratamiento térmico.

Cuando se emplean presiones muy altas, el espesor de las paredes de la matriz se refuerza insertando la matriz en una camisa. Esta operación puede hacerse calentando dicha camisa para que al dilatar penetre en ella la matriz.

Estas camisas se fabrican con aceros al cromo níquel (comerciales: Brake Die o JSP 40), los cuales no son tan duros como los aceros para la matriz pero tienen una mayor tenacidad. Cuando se utiliza el método de empujamiento de la matriz por calentamiento, la interferencia entre el diámetro de la camisa fría y de la matriz debe ser aproximadamente de 0.0015" por pulgada de diámetro.

En cuanto a la matriz, los materiales usados son generalmente aceros para herramientas al alto carbón, los cuales son altamente inexpandivos y fáciles de maquinar. El desgaste de éstos aceros, económicamente hablando, puede ser considerable respecto de la producción. Así, si la producción es tal que sea adecuado económicamente tener una sola matriz de optima calidad en comparación con tener 3 o 4 matrices normales para esa producción, suelen usarse insertos de algún carburo dentro de la matriz, con lo que, se asegura que prácticamente no habrá desgaste por alta que sea esa producción. Para ello, deben tenerse en cuenta muchos factores que son: el material que será prensado, la presión unitaria que se va a usar, tolerancias aceptables de la pieza terminada, material y acabado de la cavidad de la matriz, etc.

Los aceros al alto carbón — alto cromo, son usados para requerimientos de producciones medias. Esos aceros producen de 5 a 20 veces más que la mayoría de los aceros usados para herramientas al alto carbón. El análisis generalmente consiste de 12% cromo y 1.5 - 2% de carbón y — pueden templarse al aire o al aceite. Se templan en aire aquellos en que la matriz tiene formas angulosas, salientes delgados o secciones rectas, las cuales no resistirían el enfriamiento rápido en aceite.

Cuando el volumen de producción es alto o las tolerancias de la pieza son muy pequeñas, las matrices pueden ser hechas totalmente de algún carburo y también pueden usarse bajos porcentajes de cobalto.

Por lo que se refiere a la Tecnología de las flechas corazón, podemos decir que prácticamente tienen los mismos requerimientos de operación que las matrices y por lo tanto pueden ser hechas de los mismos materiales. Sin embargo la "Linde Air Products Company" ha desarrollado un método llamado "Flame Plating" cuyo fundamento consiste en una carburización de la superficie del material.

Los requerimientos de los aceros de los punzones y la matriz, son muy diferentes. Para los primeros, la tenacidad es un factor importante. Punzones de secciones gruesas o formas intrincadas pueden ser hechos de acero con 3% Níquel y 0.75% de Cromo y 0.40 a 0.50% de Carbón.— Si hay secciones con filos delicados, el contenido de carbón debe ser menor. Cuando la abrasión en las caras del punzón es alta, pueden usarse camisas recubridoras.

Los punzones deben ser hechos sin tener tolerancia con la matriz, pues cualquier tolerancia diametral podría cargarse hacia un lado y entonces el agujero interior quedaría excéntrico. Esta excentricidad no se podría reparar con un reprensado. Sin embargo se recomienda y es aceptable, que para casquillos, la tolerancia diametral usualmente no debe ser mayor de 0.0002" y para otras aplicaciones puede llegar hasta 0.0005" o 0.001". El acabado del punzón debe ser igual que el de las paredes de la matriz, tan fino como se desee.

IV.- DETALLES DE OPERACION.

Un diseño especial de prensa permite el uso de una simple zapata para fijar en ella el punzón superior. La prensa es del tipo hidráulico y de 4 columnas, las cuales, tienen cada una 2 casquillos — guía. El resultado es que se obtiene un movimiento vertical del cabezal bastante bien guiado, además de que es fácil conocer la presión de aplicación, gracias al sistema hidráulico que consiste simplemente en un pistón que está en contacto con el cabezal. Existe también un mecanismo de ajuste para la carrera.

Un dispositivo con una tolva se mueve en sincronismo con la máquina y sirve para llenar la matriz. La tolva a la vez que retira la pieza del área de operación, se coloca concéntricamente a la matriz y —

cargada de polvo. Esto sucede cuando el punzón inferior está en su posición superior o sea en la posición final de evacuación, o sea, a ras de la superficie de la matriz. El hecho de que la matriz quede "cargada" - antes de que el punzón inferior sea jalado hacia arriba, minimiza el problema de la entrada de aire en la matriz y de que el polvo sea succionado dentro de la matriz por el punzón inferior. Si esto sucediese, no se podría controlar la densidad aparente del polvo libremente vaciado. Este punzón inferior es accionado por una leva. Se utilizan además bombas de engranes, filtros, válvulas, controles neumáticos, etc. lo cual constituye una operación moderna en ésta Industria.

Operaciones subsecuentes:

En la Figura 42 la pieza tiene que ser evacuada. Esta figura muestra un punzón superior, una matriz montada en su portamatriz flotante, un punzón inferior y una flecha corazón.

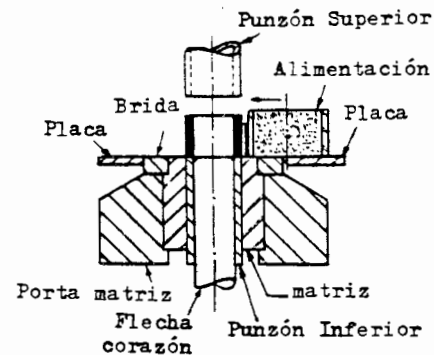


FIGURA 42

Las bridas fijan la portamatriz y la posición superior del conjunto está limitado por las placas - (recordar que la matriz está flotante) La tolva móvil es movida hacia adelante y así retirará a la pieza terminada (Figura 43). Note que el punzón inferior y la flecha corazón están aún en la posición superior a ras con la matriz, mientras que la tolva móvil - está concéntrica con la zona de operación.

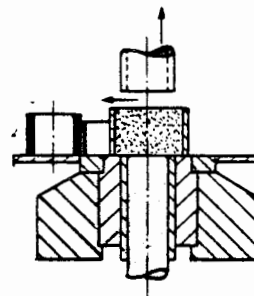


FIGURA 43

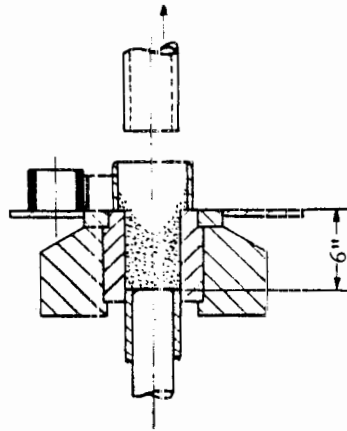


FIGURA 44.

En la Figura 45, al mismo tiempo que la flecha corazón retorna a su posición de prensado (a ras con la matriz), la tolva móvil se mueve hacia atrás. El exceso de material es arrastrado por la tolva interiormente.

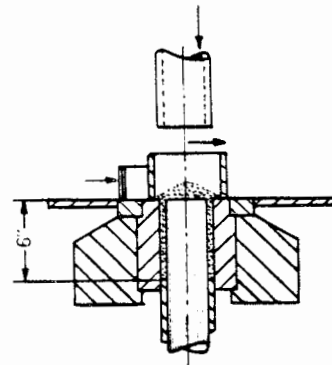


FIGURA 45

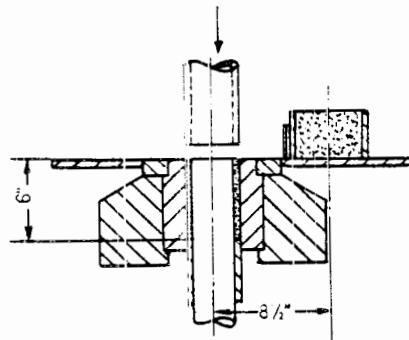


FIGURA 46.

En la Figura 44, el punzón inferior y la flecha corazón deben ser accionados hacia abajo. -- Con ésto, el polvo puede penetrar en la matriz. El hecho de retirar también la flecha corazón, es para facilitar el llenado de la matriz. -- La posición de llenado del punzón inferior puede ser ajustada desde cero hasta la máxima profundidad posible. En éste momento, el punzón inferior sube hasta quedar a ras con la superficie de la matriz.

En la Figura 46, la tolva móvil retorna a su posición inicial estacionaria, dejando a la matriz cargada de material. El punzón superior comienza a bajar y está a punto de entrar en la matriz.

En la Figura 47, el punzón superior ha entrado en la matriz y empieza a compactar el material. Ambas, la flecha corazón y la matriz están suspendidas neumáticamente o por resortes, pero sólo la flecha corazón baja debido a la fricción generada en ella por el polvo. La matriz queda fija en ese momento. Esto es deseable para facilitar el control del movimiento mutuo entre flecha y matriz y puede lograrse ajustando la presión del aire en cada cilindro.

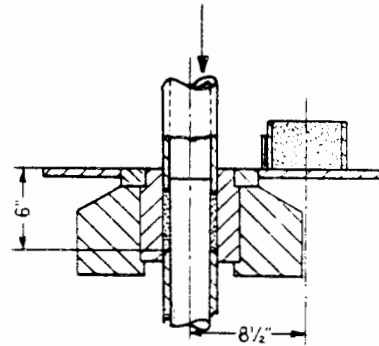


FIGURA 47

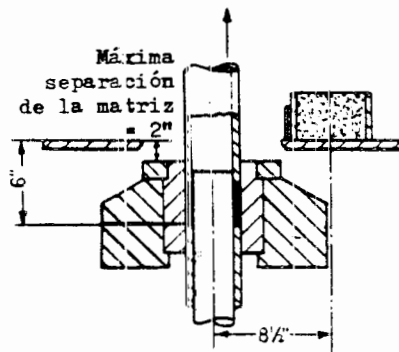


FIGURA 48

En la Figura 49, el punzón superior se mueve hacia arriba, y el conjunto; pieza matriz y flecha corazón, también.

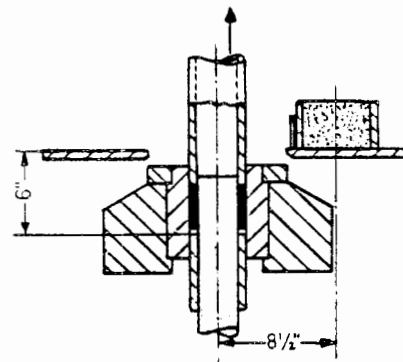


FIGURA 49

En la Figura 50, el punzón superior está separado de la matriz. El punzón inferior empezó a subir y seguirá hasta evacuar completamente a la pieza. Note que la flecha corazón está subiendo junto con la pieza y la acompañará hasta que esté completamente evacuada. Después de esto, la flecha corazón bajará hasta quedar a ras con la superficie de la matriz y del punzón inferior, antes de que la tolva móvil comience a moverse como sucede en la Figura 42.

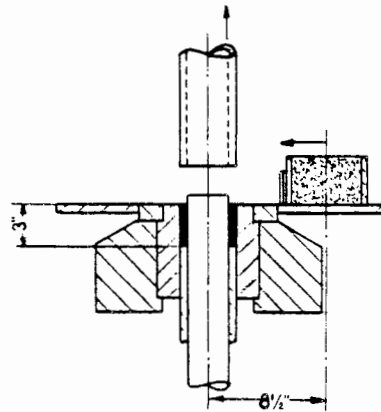


FIGURA 50

Todo lo enunciado, básicamente da una idea clara del funcionamiento del sistema prensa-molde y accesorios. No podemos explicar tan detenidamente el funcionamiento de la operación de cada tipo de pieza porque entonces este trabajo se proyectaría a ser un tratado para la compresión de los polvos de metal.

Para la compresión de polvos para piezas más complicadas que un simple casquillo, se tienen otros elementos como, topes para la matriz, para los punzones o para la flecha corazón, resortes, controles de presión, etc. etc.

C) REPRENSADO

Esta operación se divide en dos: el "sizing" y el "coining", cuyos términos no hemos querido traducir para no deformar su significado.

El "sizing" es usado para obtener una alta aproximación dimensional, ya sea, corrigiendo las dimensiones de la pieza, el pandeamiento u otros defectos ocurridos en la sinterización. Las fuerzas requeridas para esta operación, son normalmente moderadas.

El "coining" tiene una doble función, pues, además de garantizar una buena aproximación dimensional, se requieren fuerzas mayores que en el "sizing", para poder obtener una deformación plástica en la pieza.

Un ejemplo, ilustrará mejor el uso de éstas dos operaciones - tan similares. Supongamos que una pieza requiere 7.0 gr/cm^3 de densidad final. Esta densidad puede obtenerse para el polvo de hierro, con 7.7 ton/cm^2 (109 500 psi) de presión de compactación. Compactando el mismo polvo con aproximadamente 5.5 ton/cm^2 (78 200 psi) y sinterizando a $1120 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2050 \text{ }^\circ\text{F}$) durante 45 minutos y ("coining") estampando con 5.5 ton/cm^2 (78 200 psi), se obtendrá también una densidad de 7.0 gr/cm^3 .

Con éste ejemplo puede parecer aplicable 100% el proceso de "coining", pues es clara la diferencia de presiones usadas de 5.5 a 7.7 ton/cm^2 . Sin embargo, ésta ventaja está limitada a casos en que económicamente no se pueda exceder de presiones de 6.0 ton/cm^2 , de lo contrario, ocasionaría un desgaste impráctico en el uso normal de matrices hechas de acero común.

Sin embargo, la combinación adecuada del "sizing" y el - - - "coining", generalmente es aplicable después de hacer un estudio económico sobre los siguientes factores: 1) Desgaste o rotura de la matriz para presiones altas y con un solo prensado; 2) Grado de exactitud de la pieza; 3) Tiempo de producción (generalmente no es determinante);- 4) Materiales empleados; 5) Densidad requerida; 6) etc.

SINTERIZACION

- A) Tratamiento Térmico antes del Sinterizado
- B) Aspectos básicos de la Sinterización
- C) Práctica de la Sinterización
- D) Infiltración de Cobre

A) TRATAMIENTO TERMICO ANTES DEL SINTERIZADO.

Es una práctica muy común, evaporar los lubricantes volátiles-tales como, el estearato de zinc. Dicha evaporación puede efectuarse en el mismo horno de sinterización.

La gran mayoría de los hornos de sinterización están provistos de una zona de precalentamiento, en donde, la temperatura es adecuada para evaporar al lubricante. Esta es de 350 °C a 430 °C (600 - 800 °F). - La atmósfera en ésta zona puede ser la misma de protección del horno, o si la producción es muy chica, de aire. Existen razones para llevar a cabo esta operación.

La primera de ellas, en hornos grandes provistos de resistencias de molibdeno, consiste en que los gases producto de la evaporación del lubricante, atacan dichas resistencias que son más o menos costosas. Otra razón existente para que la zona de evaporación tenga la misma atmósfera de protección que el horno, consiste en el hecho de que sería perjudicial a la pieza, calentarla en una atmósfera de aire, pues, reduciría la elongación y ductilidad y en muchos casos, incrementaría la resistencia a la tensión. Sin embargo, dijimos que es posible evaporar el lubricante en una atmósfera de aire, pero, ésto parece contradictorio con lo dicho en otro capítulo, respecto al contenido admisible de oxígeno en el polvo de metal. Esta incongruencia es sólo aparente, pues en la evaporación en aire, la oxidación es sólo superficial y solamente se forma una capa muy delgada de óxido, la cual, es fácilmente reducida durante el ciclo de sinterización.

B) ASPECTOS BASICOS DE LA SINTERIZACION

En la Pulvimetalurgia, la Sinterización es el proceso por el cual, los polvos de metal o las partes compactadas de polvos de metal, son transformados en sólidos coherentes con temperaturas inferiores a las de sus puntos de fusión.

Las dos más importantes variables en el proceso de Sinterización, son temperatura y tiempo. Otros factores que también influyen, —

son la presión de compactación antes de la Sinterización, el tamaño de las partículas de polvo, su forma y el acabado de sus superficies y la naturaleza del gas que rodea a las partes compactadas dentro del horno.

Durante los últimos 25 años, se ha desarrollado un gran número de estudios experimentales y teóricos en relación con el comportamiento exacto de las partículas de polvo durante el proceso de sinterización. Aún no se tiene un estudio teórico completo y satisfactorio, pues existen muchas dificultades como: fases líquidas que ocurren en algún momento del proceso; fenómenos de carácter atómico, (como: difusión y flujo plástico); tensión superficial, etc. que sí se conocen teóricamente, pero al aplicarlos a éste estudio, presentan problemas físico-químico-teóricos.

No pretendo entrar en explicaciones, que de cualquier modo que darán inconclusas, o sea, no veremos nada del comportamiento atómico, ni microscópico.

Hablaremos sobre los fenómenos macroscópicos del mecanismo y de la práctica de la Sinterización. Los datos obtenidos fueron de pruebas hechas con polvo de hierro esponja.

B 1) FENOMENOS MACROSCOPICOS EN LA SINTERIZACION

1) Influencia de la Temperatura

La Figura 51, muestra como las propiedades mecánicas del polvo de hierro compactado, son afectadas por la temperatura de sinterización. estas propiedades pueden describirse como sigue:

- La densidad, después de una hora de sinterización, es ligeramente afectada por la temperatura.

- Las dimensiones de la pieza decrecen proporcionalmente a la contracción en el volumen, y éste, proporcionalmente a la pérdida de peso. Esta pérdida es debida a la reducción de los óxidos y a la evaporación del lubricante.

Note el punto máximo en las curvas a 900 °C (1660 °F). Esto

es típico para partes compactadas de polvo de hierro y la razón es que el hierro sufre una transformación alotrópica a esa temperatura, conocida por los metalúrgicos como la transformación Alfa-Gama.

- La resistencia a la tensión alcanza notables valores a 900 °C, desde donde vuelve a incrementarse lentamente.

- La elongación está mucho más afectada por la sinterización, que la resistencia a la tensión. El incremento de la elongación es más retardado, pero la influencia de la transformación Alfa-Gama a 900 °C, es más notoria.

- La recompresibilidad está expresada en % del incremento en la densidad, obtenido por reprensado de la pieza a la misma presión empleada en la primera compactación. La siguiente fórmula nos da una idea más objetiva:

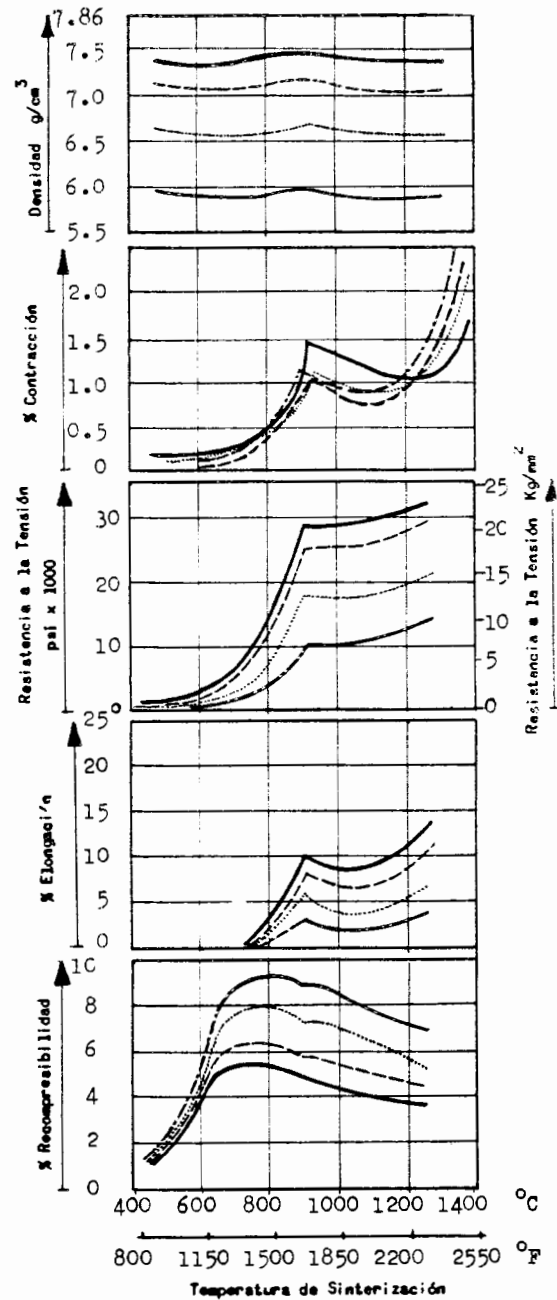


FIGURA 51

$$\text{Recompresibilidad} = \frac{A - B}{B}$$

donde:

A = densidad después del reprensado.

B = densidad antes del reprensado.

(Presión de reprensado = Presión de compactación).

Es muy importante notar que el máximo valor de la recompresibilidad, tiene lugar aproximado a 650 °C (1200 °F), en donde la resistencia a la tensión y la elongación, apenas empiezan a tomar valores considerables.

2) Influencia del Tiempo.

La Figura 52, muestra la influencia del tiempo de sinterización en las propiedades mecánicas de las piezas de polvo de hierro compactado. Estas propiedades pueden ser descritas como sigue:

- La densidad de las piezas compactadas varía muy poco con el tiempo de sinterización.

- La resistencia a la tensión se incrementa muy rápidamente durante los primeros 15 minutos. Después de éste tiempo, a 850 °C y a 1150 °C, las partes compactadas tienen aproximadamente el 66% y el 86% respectivamente, de su valor de resistencia a la tensión cuando el tiempo de sinterización es de 2 hs.

- La elongación se incrementa de igual forma que la resistencia a la tensión, pero más lentamente al principio.

De éstas pruebas, se pueden enunciar las siguientes:

3) Conclusiones Prácticas.

a) El criterio a seguir, para obtener resistencia mecánica útil, es que las piezas compactadas de polvo de hierro deben ser sinterizadas a temperaturas mínimas de 850 °C (1560 °F). Temperaturas menores de 650 °C (1200 °F) no proporcionan una resistencia mecánica adecuada

para cualquier trabajo práctico.

b) Un tiempo mínimo de 15 minutos de sinterización es necesario para desarrollar propiedades mecánicas útiles. Buena resistencia a la tensión y elongación, son obtenidas después de 1.5 horas de sinterización.

c) El efecto de endurecimiento inducido dentro de las partículas del polvo de hierro debido al proceso de compactación, queda completamente eliminado para temperaturas entre 650 °C (1200 °F) y 850 °C (1560 °F), y éstas piezas compactadas, pueden eficientemente ser reprensadas después de la presinterización en el rango de temperaturas prescrito arriba (ó en hoja anterior).

B 2) MECANISMO DE LA SINTERIZACION

Para entender perfectamente hasta donde es posible el comportamiento molecular y atómico durante la sinterización, necesitaríamos fijar muchos términos y conceptos, tales como: 1) Estructura atómica de los metales, 2) Difusión superficial, 3) Fenó

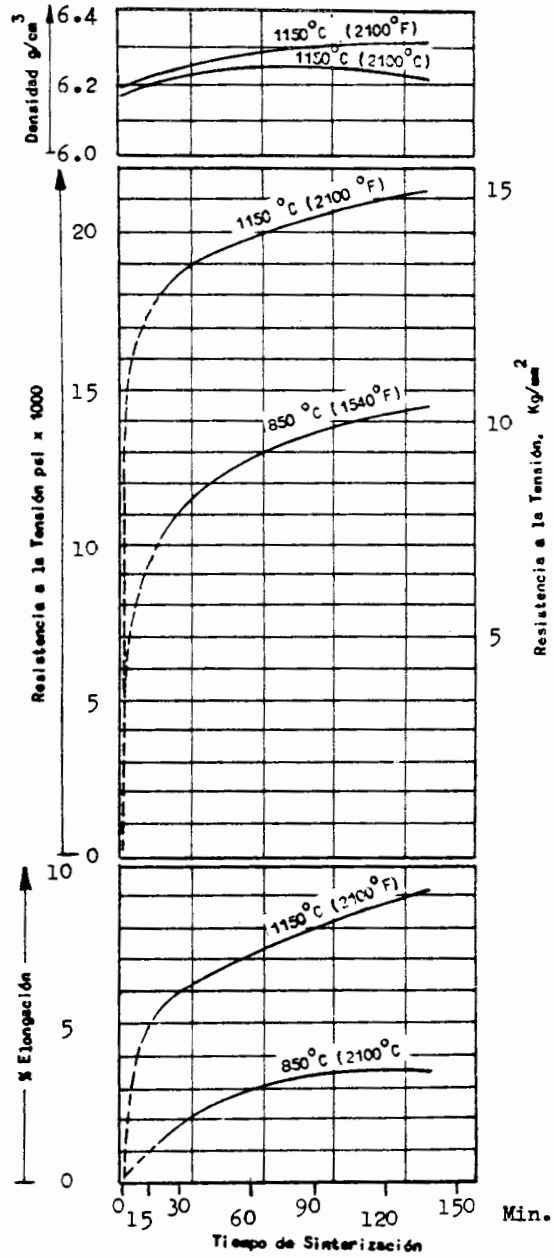


FIGURA 52.

meno de evaporación-condensación, 4) Volumen de difusión, 5) Recristalización, 6) Flujo plástico, 7) etc., que son necesarios en el estudio del comportamiento de cualquier metal o material de estructura cristalina — cuando se somete a diferentes temperaturas. Con mayor razón es difícil disponer de todo éste material cuando se trata del hierro para aplicarlo al estudio de la Pulvimetalurgia. Por lo tanto, sólo mencionaremos el comportamiento superficial en el proceso de la Sinterización.

Existen dos fases principales; la primera que se caracteriza — por el contacto de superficies de cada partícula, formando un compactado y por la presencia de un sistema interconectado e intercomunicado de poros; la segunda que se caracteriza porque la unión de partículas ha progresado y consecuentemente los poros se han reducido en tamaño y empiezan a tener una forma esferoidal.

Los varios mecanismos del transporte de masa tienen un diferente efecto en la primera y segunda fase de la sinterización.

Entre las dos fases de sinterización, existen fenómenos de evaporación y condensación molecular precedidos por fenómenos de difusión superficial hasta obtenerse una aglomeración definitiva, o sea, hasta — que se ha sufrido una deformación de carácter plástico.

B 3) INFLUENCIA DE LA ATMOSFERA DE SINTERIZACION.

Casi todos los metales de importancia técnica, reaccionan con el gas de su atmósfera circundante a la temperatura ambiente, pero más — aún, cuando se trata de altas temperaturas.

Como una consecuencia, muchos metales (el hierro en particular), son revestidos con una capa adherida de su propio óxido, bajo condiciones normales. Esta capa o película no es necesariamente visible, porque para espesores de unas cuantas milésimas, las moléculas que forman la película de óxido, son tan transparentes como el vidrio. En suma, cualquier superficie de un metal, normalmente está cubierta con un revestimiento — de gases absorbidos y que es difícil de remover.

Nunca, éstas películas de óxido o de gases absorbidas, han podido eliminarse en el proceso de compactación de los polvos de metal.

De este modo, la atmósfera de sinterización es importante porque, de su naturaleza depende que los gases absorbidos y los óxidos puedan ser removidos de las partículas de polvo o no. Si una pieza de polvo de hierro compactada, se sinterizara en aire, esa pieza absorbería oxígeno de la atmósfera que no podría ser removido de sus partículas de hierro, sino que, por el contrario, más oxígeno tendería a absorber, y por supuesto una excesiva oxidación ocurriría y finalmente se quemaría todo el hierro quedando sólo óxido de hierro.

Por otro lado, si la sinterización se efectúa en una atmósfera neutra, por ejemplo: argón, o en una atmósfera reductora, por ejemplo: hidrógeno, las moléculas del gas original absorbidas por las partículas de polvo, serán gradualmente evacuadas por las moléculas de la atmósfera protectora o reductora.

Es el caso en que se efectuó una reducción de óxidos en la Sinterización, para el caso particular del óxido de hierro, las temperaturas de reducción para el Fe_3O_4 "Magnetita" u óxido magnético de hierro, Fe_2O_3 "Hematita" u óxido férrico y FeO Óxido de hierro, son respectivamente $628^\circ C$ ($1160^\circ F$), $648^\circ C$ ($1200^\circ F$) y $570^\circ C$ ($1060^\circ F$). (Recordar que anteriormente, en este capítulo, se dijo que el inicio del proceso de Sinterización es a $650^\circ C$ como mínimo).

La más importante razón para usar estas atmósferas de sinterización, es para proteger a las partículas del polvo de metal, de oxidación o reoxidación (en este caso último se usará una atmósfera reductora) Existen otras razones, por ejemplo: que los átomos de gas de la atmósfera de sinterización pueden penetrar en los poros interconectados de la pieza compactada, impidiendo de este modo que dicha pieza pueda contraerse. Otra razón es la posibilidad de que los átomos de la atmósfera de sinterización puedan alearse con el metal. Así, las piezas compactadas pueden ser carburadas en atmósferas que contengan CO o también ser trituradas.

Estas no son todas las razones que ocasionan la presencia de una atmósfera de sinterización especial, pero dan idea de su importancia.

C) PRACTICA DE LA SINTERIZACION.

La moderna industria de la sinterización muestra una distinción entre las técnicas actuales.

En E.U.A. la gran mayoría de las partes de hierro sinterizado, son producidas por una sola operación de Sinterización, consistente de -- una hora o menos a una temperatura que no excede de 1150°C (2100°F). -- La densidad de las partes, es generalmente inferior a 6.5 gr/cm^3 . El polvo de hierro simple es usado en ésta manufactura, produciendo una resistencia a la tensión de aproximadamente 15 Kg/mm^2 (22000 psi) y una elongación en general no mayor del 10%. El hecho de usar solo éste material, -- limita el rango de aplicación y de ahí que en esta técnica, se haga necesario el uso de aleaciones al polvo de hierro, tales como: cobre, carbón, fósforo, etc. para abarcar el campo de las partes estructurales mediante la Pulvimetalurgia.

En Europa, los métodos desarrollados fueron para lograr altas -- propiedades mecánicas. Esta técnica incluye doble prensado y doble sinterizado para la mayoría de los polvos de hierro. Debido al uso de altas -- presiones y altas temperaturas de sinterización, se alcanzan altas densidades y fuertes adhesiones internas de sinterización. La razón de que -- exista ésta técnica, es debida a la demanda de piezas con alta resistencia a la tensión combinada con alta elongación. Estas propiedades no se pueden obtener con aleaciones de otros elementos como sucede en la técnica -- americana que utiliza infiltración de cobre en piezas de polvo de hierro de baja densidad.

Las dos técnicas, económicamente hablando son adecuadas, pues -- debe tenerse en cuenta el costo de los elementos aleativos en uno y otro continente. Sin embargo, la técnica europea ofrece una ventaja consistente en la exactitud y facilidad para controlar las dimensiones, gracias al uso del reprensado.

Actualmente, las necesidades del mercado mundial, quedan perfectamente cubiertas en un 85%, usando básicamente la técnica americana.

A continuación hablaremos sobre temperatura y tiempo de sinterización desde el punto de vista de la operación y la economía de un equipo de sinterización.

C 1) TEMPERATURA DE SINTERIZACION.

Las temperaturas en la Metalurgia del polvo de hierro, se designan convencionalmente como "medias" de 950 a 1150 °C (1740 a 2100 °F) y "altas" 1150 °C.

Temperaturas inferiores de 950 °C, las cuales son usadas cuando se sinteriza latón, bronce o materiales similares, son raramente aplicadas al hierro. Se usan para sinterizar la pieza que será reprensada y re-sinterizada ya a temperaturas medias o altas. La Tabla 14 ilustra la influencia de la temperatura de sinterización en la recompresibilidad de las piezas de hierro-cobre.

Presión de Compactación	Ton/cm ²	3	
	psi	42 600	
Densidad después de la Compactación	gr/cm ³	6.00	
Temperatura de Sinterización	°C	900	1150
	°F	1650	2100
Presión de Reprensado	Ton/cm ²	6	6
	psi	85 200	85 200
Densidad después del Reprensado	gr/cm ³	7.10	6.80

TABLA 14.- Polvo Höganäs MH 100.24 con 2% Cu.

En la Pulvimetalurgia del hierro, las temperaturas medias de sinterización son comunes. El límite superior está fijado por el hecho de que los hornos con banda transportadora continua de malla, no pueden ser usados para temperaturas tan altas como 1150 °C (2100 °F). La posibi

lidad de usar hornos de éste tipo, es importante desde varios puntos de vista, pues ofrece en general la mejor economía y una gran cantidad de piezas que pueden ser sinterizadas en condiciones más uniformes que si estuvieran en una charola.

Para chumaceras y muchas otras partes estructurales, las temperaturas medias de sinterización son suficientes y por lo tanto, las ventajas ofrecidas por el horno con transportador continuo, pueden ser utilizados. En casos donde las temperaturas altas de sinterización deben ser requeridas para dar altas propiedades físicas y mecánicas, es más económico producir esas propiedades por adición de elementos aleados al polvo de hierro y sinterizando a temperaturas medias y en hornos de éste tipo.

El rango de aplicación de las temperaturas altas de sinterización, se reduce básicamente a dos usos; el primero, cuando la demanda requiere alta ductilidad (elongación) combinada con alta resistencia a la tensión, en donde, la técnica de las aleaciones agregadas, no dá buen resultado. La segunda aplicación es cuando el polvo de hierro es mezclado con otros componentes, los cuales, se difunden muy lentamente entre el polvo de hierro. La formación de aleaciones hierro-níquel durante la sinterización es un ejemplo típico.

C 2) CURVAS DE TEMPERATURA.

Es muy importante conocer la variación de la temperatura a través del horno. La curva de variación que se obtenga, variará con el peso de la carga, con la velocidad del gas y con la velocidad de avance de las piezas compactadas.

Se puede pensar que para obtener la óptima eficiencia del horno, trabajando a su máxima capacidad, deba cargarse en toda la extensión de la zona de calentamiento. Esto implicaría que la temperatura de sinterización pudiera alcanzarse en la zona de precalentamiento y en la de enfriamiento. Como ésto no debe suceder, se aconseja que el horno tenga un compartimento exclusivo de precalentamiento.

Hay varias razones para que el enfriamiento de las piezas com-

pactadas, no sea muy rápido, pues puede causar un considerable incremento de la dureza, lo cual, es desventajoso si las piezas van a ser reprensadas. Además no es aconsejable que la temperatura del agua sea inferior al punto de condensación de la atmósfera en la zona de enfriamiento, porque la condensación ocurrirá y el agua originada puede oxidar las piezas. Si la temperatura de los compactos en la zona de enfriamiento es más baja que el punto de condensación del gas, la condensación puede ocurrir en la superficie de las piezas. Cuando las piezas terminadas resulten descoloridas al salir del horno, esto quiere decir generalmente que la chaqueta de agua de enfriamiento es demasiado fría.

Para estar seguro que éstas dificultades no se presentarán, es recomendable operar la zona de enfriamiento de tal forma que la temperatura de los compactos al salir del horno, sea cuando menos de 60°C (140°F). En tal caso, la condensación raramente ocurrirá.

De acuerdo con lo comentado, una curva de temperatura conveniente para un horno de sinterización operado a 1150°C (2100°F), se muestra en el diagrama superior de la Figura 53.

El diagrama inferior muestra una curva de temperatura inconveniente por las razones siguientes:

- 1^o) La Sinterización ocurre en la sección de desparafinado. —
(Esto quiere decir que la sinterización ocurre cuando todavía no se han evaporado todos los lubricantes, teniéndose fácilmente fracturas en la pieza).
- 2^o) La temperatura de sinterización es alcanzada solo en una pequeña parte de la zona de calentamiento.
- 3^o) Los compactos están muy calientes cuando entran a la zona de enfriamiento y son enfriados muy rápidamente.

Es necesario, para el buen resultado de la sinterización, conocer el comportamiento de un horno para un cierto tipo de material al menos, pues con ello se tiene ya una referencia cuando se trate de sinterizar otro material diferente.

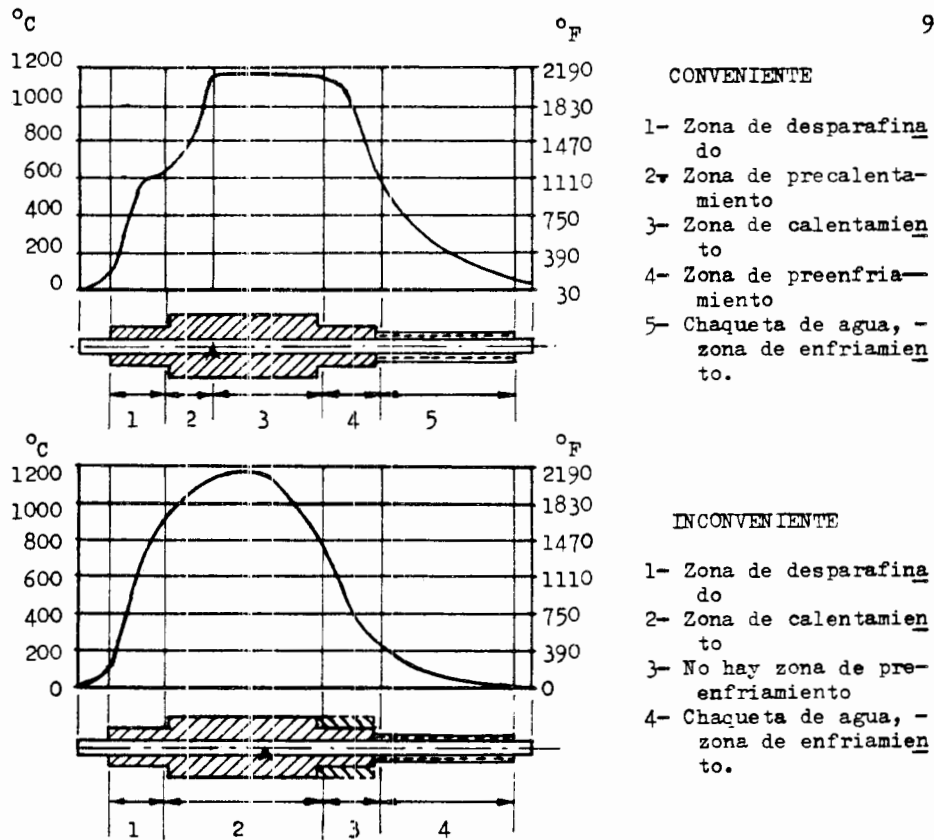


FIGURA 53

C 3) TIEMPO DE SINTERIZACION.

El "Tiempo de Sinterización" se refiere al tiempo durante el cual, la carga está a la temperatura de sinterización designada. En la práctica, éste término es generalmente considerado como el tiempo durante el cual la carga está en la zona de calentamiento del horno. Este último concepto estrictamente no es correcto, pues depende de la forma de la curva de temperatura bajo las condiciones de operación del momento. - La velocidad de formación de las aleaciones, depende directamente de la temperatura.

La capacidad de producción de un horno de Sinterización, es in-

versamente proporcional al tiempo de Sinterización, pues permite obtener las propiedades deseadas para tiempos de sinterización cortos y correspondientemente temperaturas altas. Debe balancearse la situación de usar altas temperaturas y de considerar los costos de mantenimiento y consumo de energía del horno.

A continuación, están algunas fórmulas para el cálculo de la capacidad de producción de hornos de Sinterización:

1) De banda continua de malla:

- w = Ancho efectivo de la banda (dm) (pulgs.)
 h = Altura de la carga de Sinterización (dm) (pulgs.)
 l = Longitud de la banda a la temperatura de sinterización (dm) (pulgs.)
 d = Densidad de la carga (Kg/dm^3) (lbs/pulg^3)
 $b = d \times h$ = Carga de la banda (Kg/dm^2) (lbs/pulg^2)
 s = Velocidad de la banda (dm/hr) (pulg/hr)
 $t = \frac{l}{s}$ = Tiempo de Sinterización (horas)
 c = Capacidad de producción (Kgs/hr) (lbs/hr)

$$C = whsd \quad (21)$$

$$C = \frac{whld}{t} \quad (22)$$

$$C = wsb \quad (23)$$

$$C = \frac{wlb}{t} \quad (24)$$

Una capacidad de 12 Kgs/hr es normal en éste tipo de hornos.

2) Manuales de banda o de empuje de charolas.

- v = Volumen efectivo de las bandejas (dm^3) (pulg^3)
 d = Densidad de la carga (Kg/dm^3) (lbs/pulg^3)
 l = Longitud de las bandejas de sinterización (dm) (pulg)
 L = Longitud de la cámara del horno (dm) (pulg)
 t = Tiempo de intervalos entre la entrada de una bandeja y la otra (hr)

$n = \frac{L}{l}$ = Número de bandejas a la temperatura de Sinterización

$T = \frac{L}{l} t = nt$ = Tiempo de sinterización (horas)

C = Capacidad de producción (Kgs/hr) (lbs/hr)

$$C = \frac{n}{T} \text{ vd} \quad (25)$$

$$C = \frac{L}{lT} \text{ vd} \quad (26)$$

$$C = \frac{l}{t} \text{ vd} \quad (27)$$

C 4) SINTERIZADO DE DIFERENTES MATERIALES

Hierro Simple:

El hierro simple se utiliza cuando se requiere una resistencia a la tensión muy baja o cuando la alta ductilidad es esencial. En el primer caso, se necesita solo una sinterización y la temperatura para ello es generalmente inferior a 1150 °C (2100 °F). La atmósfera más conveniente es a base de gases producto de la disociación del Amoniaco - - (cracked Amonnia). En el segundo caso, la atmósfera debe estar libre de carburizantes y ser rica en Hidrógeno.

Hierro - Carbón:

La combinación hierro-carbón es usada en la Pulvimetalurgia para dos propósitos: el primero, para proveer al componente final y mediante un carburizado, de alta dureza y resistencia usual, mientras que el interior de dicha pieza permanece dúctil. El otro propósito consiste en producir económicamente un material, el cual, tendrá alta resistencia a la tensión, pero, la ductilidad será de menor importancia. El método más simple para éste segundo objetivo, es mezclando grafito con el polvo de hierro.

La composición de la atmósfera de sinterización tiene una gran influencia en las propiedades que se desean obtener de partes con mezclas de hierro-grafito. La razón de ello es el riesgo de descarburación

Muchas veces es imposible predecir exactamente si una atmósfera dada será carburizante, neutral o descarburizante en el interior del horno, por la simple razón de que la composición de la misma, cambiará con la temperatura, con la carga y con los gases expulsados por las piezas que se estén sinterizando.

Las propiedades mecánicas de las piezas de hierro-carbón sinterizadas, son mejoradas incrementando la temperatura y el tiempo de sinterización.

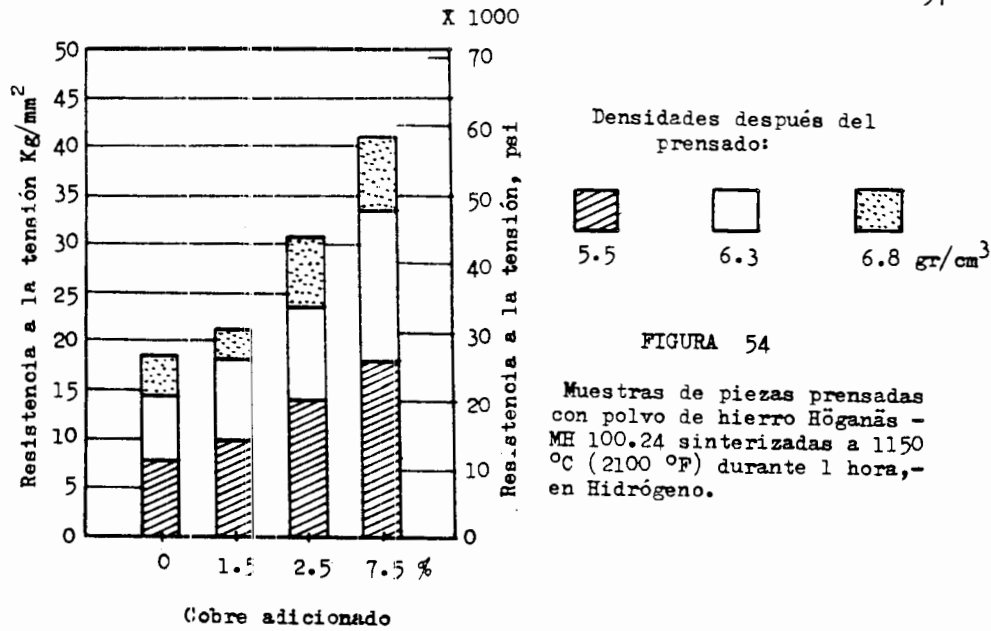
Ejemplos se muestran en la Tabla 15:

Presión de compactación	Ton/cm ²	2		4		6.5	
	psi	28400		56800		92300	
Temperatura de Sinterización	°C	1150	1250	1150	1250	1150	1250
	°F	2100	2280	2100	2280	2100	2280
Densidad después de la Sinterización	gr/cm ³	5.47	5.63	6.26	6.39	6.65	6.67
Resistencia a la Tensión	Kg/mm ²	10.3	12.7	19.8	25.0	23.1	32
	psi	14600	18000	28200	35600	32800	45400
Elongación	%	2.3	3.8	3.3	4.2	4.0	4.9
Cambio dimensional durante la Sinterización	%	+0.44	+1.41	+0.52	+1.25	+0.60	+1.17

TABLA 15.- Ejemplos de propiedades obtenibles con polvo de hierro Hōganās MH 100.24 con 1% de grafito, sinterizado por una hora en Hidrógeno.

Hierro - Cobre:

El polvo de cobre es agregado al polvo de hierro principalmente con el propósito de mejorar la resistencia del compacto sinterizado. Este efecto se ilustra en la Figura 54:



Durante la Sinterización de los compactos de hierro-carbón, ocurren ciertos cambios dimensionales, los cuales, son incrementados si aumenta el porcentaje de cobre contenido. Los compactos de hierro simple, generalmente se contraen durante la sinterización, sin embargo, con el aumento del porcentaje del contenido de cobre, aumenta la dilatación de la pieza. (Figura 55). Este crecimiento dimensional, cesa cuando el porcentaje del contenido de polvo de hierro es del 8 al 10%, el cual, corresponde al límite de solubilidad del cobre en el hierro. Esto sucede cuando la temperatura de sinterización es mayor que la del punto de fusión del cobre (1084 °C a 1983 °C).

De la Figura 55, se observa que el uso del cobre es inconveniente, pero si lo agregamos solo del 1 al 3.5%, puede servir para compensar la contracción debida al hierro simple y a otros factores del proceso.

Es imposible, al menos para fines prácticos, evitar el crecimiento de las dimensiones de una pieza compactada de polvo de hierro y polvo-

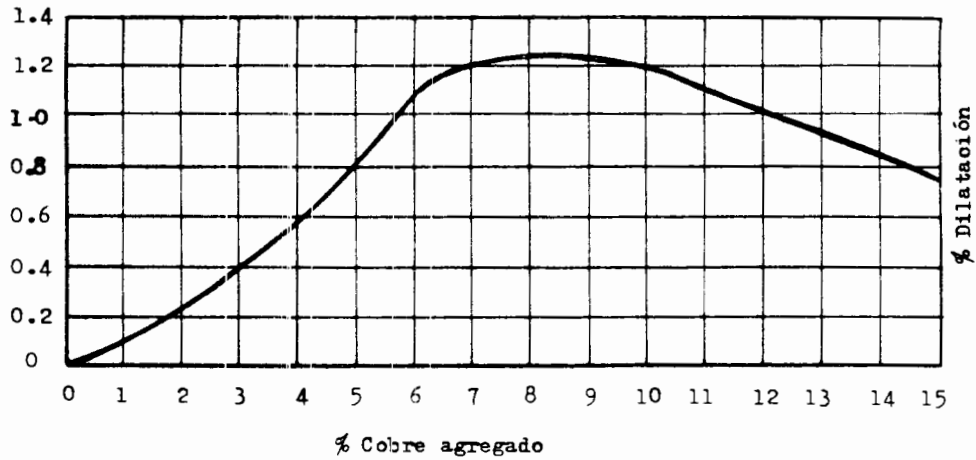


FIGURA 55.- Influencia de la adición del polvo de cobre en el cambio dimensional de muestras prensadas — con polvo de hierro HÖganäs Ancor 80 hasta una densidad de 6.2 gr/cm³ y sinterizadas a 1150 °C (2100 °F) durante 45 minutos en Hidrógeno.

de cobre. No se obtiene ningún beneficio considerable, al variar los parámetros: temperatura, tiempo de sinterización o relación de calentamiento y enfriamiento. Sin embargo existe otra forma para anular este efecto.

La adición de grafito en la proporción de 0.5 - 1.5% a la mezcla de polvo de hierro y generalmente 2.5% de polvo de cobre, en piezas sinterizadas, reduce notoriamente el efecto de dilatación. Además, el grafito es comparativamente barato, es muy buen lubricante, y todavía incrementa la resistencia de la pieza sinterizada. Los cambios en la composición de la atmósfera de sinterización, son muy sensibles y no afectan grandemente a la Sinterización. Por otro lado, el uso del grafito está restringido según las necesidades.

Un efecto similar al del grafito relacionado con lo antedicho, ofrecen el fósforo, óxido de tungsteno o tungsteno puro en polvo, pero —

con muchos más inconvenientes. Sin embargo si se reduce el tamaño del grano de la mezcla de polvos de hierro y cobre, se logrará conseguir ese efecto.

Hierro - Cobre - Carbón:

Combinando las ventajas del cobre y del carbón, agregados al hierro, los compactos ofrecen buena resistencia y alta dureza. Además estas combinaciones ofrecen otra característica que consiste de dos posibilidades a escoger y que son: la buena maquinabilidad y el alto costo del hierro-cobre, contra la mala maquinabilidad y el bajo costo del hierro-carbón.

Con el uso de la mezcla de polvos Fe-Cu-C, se obtienen muy buenas propiedades que satisfacen un gran porcentaje de las necesidades industriales. Se muestran algunos ejemplos en la Tabla 16.

Hierro - Níquel:

Las mezclas hierro-níquel son usadas para la producción de partes estructurales que requieren alta resistencia combinada con buena elongación. El porcentaje de níquel agregado al polvo de hierro, es generalmente del 2 al 5%.

Ya se habló en el Capítulo Cuarto, Inciso "C", sobre la posible dificultad de la formación de aleaciones Fe - Ni durante la sinterización

Aunque el polvo de níquel es relativamente caro, su uso está justificado económicamente en la producción de partes especiales donde el costo del material es comparativamente pequeño. La temperatura de sinterización debe ser cuando menos de 1250 - 1350 °C (2280 - 2460 °F) y el tiempo de sinterización de 1 a 2 horas mínimo.

Varios ejemplos de propiedades mecánicas de estas aleaciones, se muestran en las Tablas 17 y 18.

Hierro - Níquel - Cobre:

La contracción del hierro-níquel puede ser balanceada con la

Adición		1 % C + 2.5 % Cu						1 % C + 7.5 % Cu					
Presión de Compactación	Ton/cm ²	2		4		6.5		2		4		6.5	
	psi	28400		56800		92300		28400		56800		92300	
Temperatura de Sinterización	°C	1150	1250	1150	1250	1150	1250	1150	1250	1150	1250	1150	1250
	°F	2100	2280	2100	2280	2100	2280	2100	2280	2100	2280	2100	2280
Densidad después de la Sinterización	g/cm ³	5.5	5.6	6.26	6.34	6.62	6.7	5.49	5.57	6.08	6.28	6.61	6.64
Resistencia a la Tensión	Kg/mm ²	19.2	26.8	34.7	43.3	45.4	53.2	27.7	35.1	38.5	55.8	58.8	67.0
	psi	27400	38200	49400	61600	64600	75600	39500	49900	54800	79400	83600	95300
Elongación	%	0.5	0.5	0.8	0.9	0.8	1.2	0.4	0.6	0.5	0.6	0.4	0.6
Cambio dimensional durante la Sinterización	%	+0.43	+1.28	+0.39	+1.02	+0.26	+0.85	+0.06	+0.85	-0.45	+0.52	-0.18	+0.27

TABLA 16.- Ejemplos de propiedades obtenibles con polvo de hierro Höganäs MH 100.24 con adición de grafito y cobre, sinterizado por 1 hora en hidrógeno.

Presión de Compactación	Ton/cm ²	4		6.5	
	psi	56800		92300	
Densidad después de la Compactación	gr/cm ³	6.32		6.76	
Tiempo de Sinterización a 1300°C (2370°F)	hs	2	4	2	4
Densidad después de la Sinterización	gr/cm ³	6.74	6.84	7.01	7.07
Cambio dimensional durante la Sinterización	%	+2.42	+2.95	+1.45	+1.76
Resistencia a la Tensión	Kg/mm ²	25.5	27.6	27.4	28.9
	psi	36300	39400	39000	41100
Elongación	%	7.7	8.8	9.0	10.5

TABLA 17.- Ejemplos de propiedades obtenibles después de simple presión y simple Sinterización del polvo de Hierro Höganäs MH 100.24 con 4% de polvo de níquel agregado.

Presión de Compactación	6 Ton/cm ² (85 200 psi)
1ª Sinterización	850 °C (1560 °F), 30 mins. en H
Presión de Reprensado	6 Ton/cm ² (85 200 psi)
2ª Sinterización	1250 °C (2280 °F), 120 mins. en H.
Densidad Final	7.40 gr/cm ³
Resistencia a la Tensión	35.0 Kg/mm ² (49 800 psi)
Elongación	12.5 %
Cambio Dimensional	+ 1.0 %

TABLA 18.- Ejemplos de propiedades obtenibles después de doble prensado y doble sinterizado del polvo de hierro Höganäs MH 100.24 con 5% de polvo de níquel agregado.

adición de cobre. Por ésta razón y además por las buenas propiedades mecánicas que se obtienen, las mezclas de hierro-níquel-cobre, son muy usua

les. La proporción generalmente es del 2 al 5% níquel y del 1 al 2% de - cobre. La temperatura normal de sinterización resulta ser de 1120 °C - - (2050 °F). En las Tablas 19 y 20, se muestran algunas propiedades de - - mezclas hierro-níquel-cobre con y sin grafito.

Mezcla		A		B	
Ancor MH 100 (polvo de hierro)		65 %		64 %	
Polvo de hierro electrolítico - HVA Star		30 %		30 %	
Polvo de níquel		4 %		4 %	
Polvo de cobre		1 %		1 %	
Grafito		—		1 %	
Presión de Compactación	Ton/cm ²	5.6	7.0	5.6	7.0
	psi	80000	100000	80000	100000
Densidad después del Sinterizado	gr/cm ³	6.9	7.04	6.63	6.75
Cambio dimensional durante la Sinterización	%	+0.05	-0.12	-0.13	-0.16
Resistencia a la Tensión	Kg/mm ²	24.9	25.5	40.9	43.5
	psi	35400	36300	58200	61800
Elongación	%	5.0	4.9	1.5	2.0

TABLA 19.- Ejemplos de propiedades obtenibles después del simple prensado y simple sinterizado del polvo de hierro - Ancor MH 100 con níquel, cobre y grafito. Sinterización durante 30 minutos a 1120 °C (2050 °F) en H.

Mezcla		A		B	
1er PRENSADO	Ton/cm ²	5.6	7.0	5.6	7.0
	psi	80000	100000	80000	100000
2do. PRENSADO	Ton/cm ²	5.6	7.0	5.6	7.0
	psi	80000	100000	80000	100000
Densidad después de la 2da. Sinterización	gr/cm ³	7.24	7.44	7.07	7.18
Cambio dimensional durante la 2da. Sinteriz.	%	-0.17	-0.13	-0.28	-0.43
Resistencia a la Tensión	Kg/mm ²	35.4	38.0	61.9	68.8
	psi	50400	54000	88000	98000
Elongación	%	10.8	12.0	2.7	3.3

TABLA 20.- Mezclas A y B según la Tabla 19. 1ra. Sinterización durante 20 minutos a 900 °C (1650 °F) en H. 2da. Sinterización durante 30 minutos a 1120 C (2050 F) en H.

Hierro - Azufre:

El azufre puede ser agregado al polvo de hierro generalmente - en un 0.5%. La sinterización y las propiedades de las mezclas ya han si do analizadas en el Capítulo Cuarto.

Durante la sinterización, el azufre causa un estrechamiento de las interconexiones entre los poros existentes en el compacto. Esto representa una ventaja para subsecuentes operaciones, tales como: carburación, electrodeposición, latonado, etc. en donde la interconexión de -- los poros causa dificultades cuanto mayor es.

D) INFILTRACION DE COBRE

El proceso de compactar en frío, polvos de metales, seguido de la sinterización del compacto para producir cuerpos coherentes, inevitablemente ocasiona la existencia de unos compartimentos comunicados entre sí que se conocen como poros. Esta porosidad provoca una inferioridad - de las propiedades físicas y mecánicas del compacto comparado con el metal sólido. Sin embargo, la porosidad puede ser deseada, por ejemplo en casquillos autolubricados. Como la resistencia y la tenacidad son facto res importantes en la industria estructural, es generalmente necesario - eliminar esos poros.

La porosidad puede casi eliminarse, mediante el uso de energía extra, o sea, compactando a muy altas presiones y sinterizando a altas - temperaturas, o reprensando y/o resinterizando, pero en general, éste - método repercute fuertemente en el aumento del costo de manufactura.

Un método apropiado para llenar esos poros rodeados de metal, - es a partir de otro metal de más bajo punto de fusión. Como los poros - están intercomunicados entre sí, el metal infiltrante ya fundido, es com pletamente absorbido dentro de los poros debido a la acción de capilaridad, produciendo así un componente estructural que puede ser visualmente sólido. Obviamente, la temperatura para la infiltración, debe ser mayor que la temperatura de fusión del metal infiltrante, pero menor que la -- temperatura de fusión del metal infiltrado.

D 1) CONDICIONES BASICAS

El proceso de infiltración puede aplicarse sólo a un determinado número de grupos de metales. En el simple caso, la infiltración involucra dos metales, pero es posible encontrar más de dos que pueden combinarse, según sus diagramas de fase individuales.

El más importante requerimiento, es que los dos metales tengan diferentes puntos de fusión. Además las diferentes fases de los metales, no deben interactuar para formar nuevas aleaciones, pues obstaculizarían el proceso de infiltración. Ver. Figura 56.

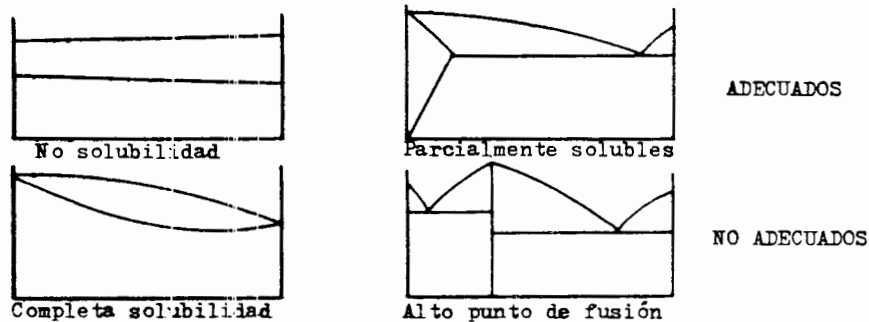


FIGURA 56.

En la infiltración, el proceso calorífico, está sujeto a un gran número de importantes condiciones. El buen llenado del "esqueleto" por el metal infiltrante, es de primordial importancia, consiguiéndose como ya dijimos, gracias a las fuerzas de capilaridad que operan para producir la infiltración. El buen llenado depende sobre todo de la limpieza del metal en las superficies del esqueleto. La buena fluidez del metal infiltrante también depende de las condiciones de reducción de los óxidos en el metal-infiltrado.

D 2) INFILTRACION HIERRO-COBRE

Teniendo en cuenta que existe un gran número de elementos metálicos que pueden combinarse para efectuar la infiltración de unos en otros, sólo un pequeño número de ellos, es de interés industrial. Entre los ele-

mentos que pueden usarse como infiltrantes en el hierro, se incluyen el cobre, plata, mercurio, plomo, estaño, talio y otros. En esos casos, - también las aleaciones entre ellos, pueden usarse como infiltrantes.

De los infiltrantes mencionados, el cobre es el más importante en combinación con el hierro. También el cobre puede infiltrarse con el tungsteno, para fabricación de contactos eléctricos.

Definitivamente, la combinación cobre-hierro, resulta ser la más usada por ser la de menor costo y mayor demanda, pues ambos metales son comparativamente abundantes. También resultan económicas sus presiones de compactación, sus temperaturas de sinterización y sus atmósferas.

D 3) COMPARACION DE COSTOS

El hierro infiltrado de cobre, es por supuesto más costoso - que el material poroso de hierro-cobre. El costo extra es debido en - parte a las operaciones adicionales para la infiltración y también debido al costo del cobre. Un típico material poroso de hierro-cobre, puede contener aproximadamente un 10% de cobre, mientras que un material - de hierro infiltrado, contendrá hasta un 25%.

Los costos de manufactura en la infiltración pueden llegar a ser el doble de los costos empleados en el simple proceso de manufactura del material poroso.

Se hizo una prueba para una pieza en particular. Un engrane de acero, el cual fué maquinado y considerado sus costos de manufactura fué la pieza en cuestión. Ese mismo engrane de hierro infiltrado de cobre, resultó cumplir con las propiedades especificadas, teniéndose un - ahorro en costos de manufactura del 30%. Otro engrane con material hierro-cobre sin infiltrar fué considerado y tuvo un ahorro del 60% respecto al primero, aunque no tuvo las propiedades adecuadas para la aplicación. Esta prueba por supuesto se hizo para una unidad, pero, si se - considerara una gran producción en serie, el ahorro obtenido en éste caso, sería mucho más grande.

CONCLUSIONES

- A) Ventajas y Limitaciones que presenta
éste método**
- B) Análisis económico comparativo**
- C) Perspectivas**

A) VENTAJAS Y LIMITACIONES QUE PRESENTA ESTE METODO.

La práctica de la Pulvimetalurgia beneficia a la Industria, - aumentando la cantidad óptima de producción y su calidad y abatiendo - los costos de manufactura. Algunas de las ventajas obtenidas por éste método en relación con otros procesos, son las siguientes:

- 1) No requiere del manejo de metal fundido.
- 2) Raramente requiere maquinados posteriores u operaciones de terminado.
- 3) Permite la producción masiva rápidamente, compitiendo con la precisión del maquinado, pues se pueden obtener precisiones de 0.001" ó - menores, en diámetros de 3". La precisión y el acabado de las piezas están en relación directa con la precisión y acabado de la matriz.
- 4) Facilita el trabajado de metales, el cual, se hace con otra manufactura que es antieconómica ó imposible. Un ejemplo de esto es el proceso del berilio, tungsteno, molibdeno, etc. y la producción de chumaceras porosas.
- 5) Permite la combinación de materiales de muy diferentes características, la cual, no puede hacerse por ningún otro camino. Por ejemplo:
 - a) combinaciones de polvos metálicos y no metálicos; b) compactación de capas de diferentes polvos para producir materiales bimetálicos; -
 - c) mezclas de cobre, estaño, hierro, plomo, grafito y silicio para producir materiales sometidos a fricción; d) cobre combinado con carbón para carbones eléctricos o escobillas; e) combinación de carburos con cotalto por ejemplo, para producir herramientas de corte; -
 - f) etc.
- 6) La porosidad puede ser cuidadosamente controlada para producir filtros ó chumaceras autolubricadas.
- 7) Pueden hacerse productos de pureza extrema, puesto que es posible obtener polvos en estado muy puro.
- 8) El proceso no incluye pérdidas de material y cuando se requieren maquinados posteriores, no hay necesidad de dejar márgenes para ello.

Los factores que determinan la importancia de éste proceso - son:

- a) Economía del proceso, pues la mano de obra no requiere personal especializado para el manejo de prensas, hornos y el demás equipo necesario.
- b) Eliminación de capital invertido en máquinas auxiliares y gastos generales.
- c) Reducción del tiempo principal del proceso.
- d) Alto valor del producto terminado y alto rendimiento.
- e) Este proceso es competitivo con la fundición, forjado, extrusión, estampado, regulación del temple con recalentamiento o sea el revenido, y el maquinado. En conclusión la Pulvimetalurgia es una nueva dimensión en la Tecnología de los materiales y procesos de manufactura.

Sin embargo, éste proceso tiene ciertas limitaciones que restringen su uso. Algunas de ellas, son:

- 1) Los polvos metálicos son costosos y en algunos casos difíciles de almacenar sin que se deterioren.
- 2) Los costos de equipo son altos. Las presiones altas son costosas en cuanto al molde y a la máquina. Los hornos de sinterización presentan problemas de control de temperatura y de atmósfera.
- 3) El tamaño de las partes fabricadas con polvo está controlado por la capacidad de las prensas disponibles y también por la relación de compresión, la cual, es diferente para cada tipo de polvo. Puesto que la presión no se distribuye uniformemente en un polvo como en un líquido, es difícil que un producto de gran tamaño tenga densidad uniforme.
- 4) El diseño es difícil y la operación para piezas con salientes, ranuras internas, esquinas pronunciadas, cuchillas delgadas, etc., también.
- 5) En el sinterizado, hay dificultades térmicas, en especial con los polvos de bajo punto de fusión, tales como, estaño, plomo, zinc y cadmio. Los óxidos de éstos metales deben reducirse a temperaturas mayores que sus puntos de fusión, lo cual, ocasiona aleaciones indeseables que reducen la calidad del producto.
- 6) Algunos polvos muy finos y algunas atmósferas de sinterización, presentan peligros de fuego o explosión.
- 7) Es imposible obtener un producto completamente denso. Para disminuir

la porosidad, debe acompañarse de otros procesos como infiltración o doble prensado, lo cual, representa un costo extra.

B) ANALISIS ECONOMICO COMPARATIV

=====

Con el fin de apreciar la disminución de costos que ofrece el método de compactación y sinterización, se hizo un cálculo para una pieza maquinada y otra igual manufacturada por compactación. El estudio es el siguiente:

La pieza en cuestión es el casquillo agitador cuyo plano se encuentra en la siguiente hoja.

MAQUINADA

El esfuerzo de ruptura transversal de una pieza de hierro sinterizado, puede alcanzar un valor de 100 000 psi = 70 Kg/mm², el cual, puede ser el valor del esfuerzo de ruptura de un cierto acero al carbón, pero el esfuerzo a ser maquinado que presentan ambos materiales, no es el mismo, sino que, es mayor el de la pieza sinterizada debido a su estructura granular. La herramienta de corte en este caso trabajará consecutivamente al impacto por lo que no debe haber velocidades altas.

El estudio de la maquinabilidad del hierro sinterizado representa además una muy inte

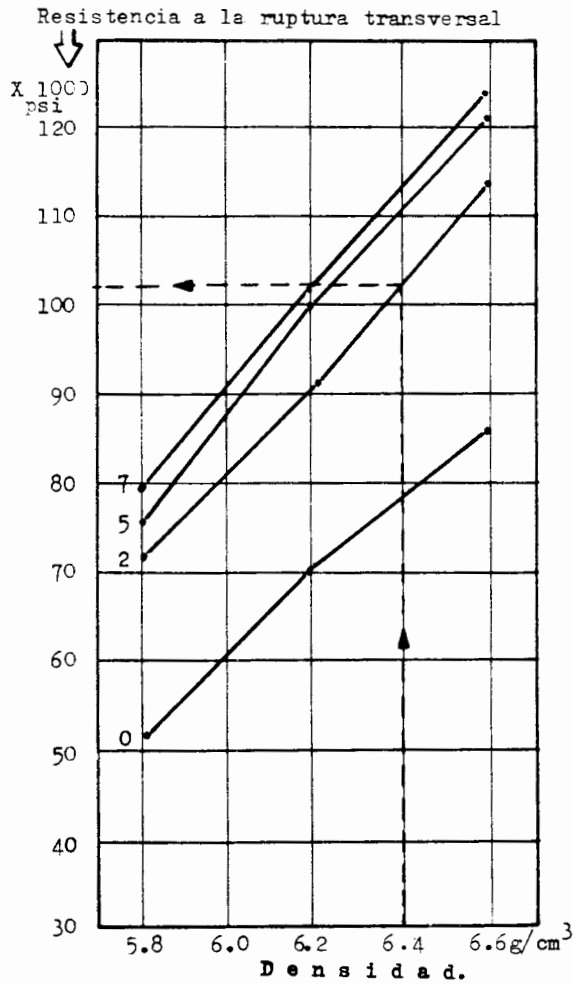
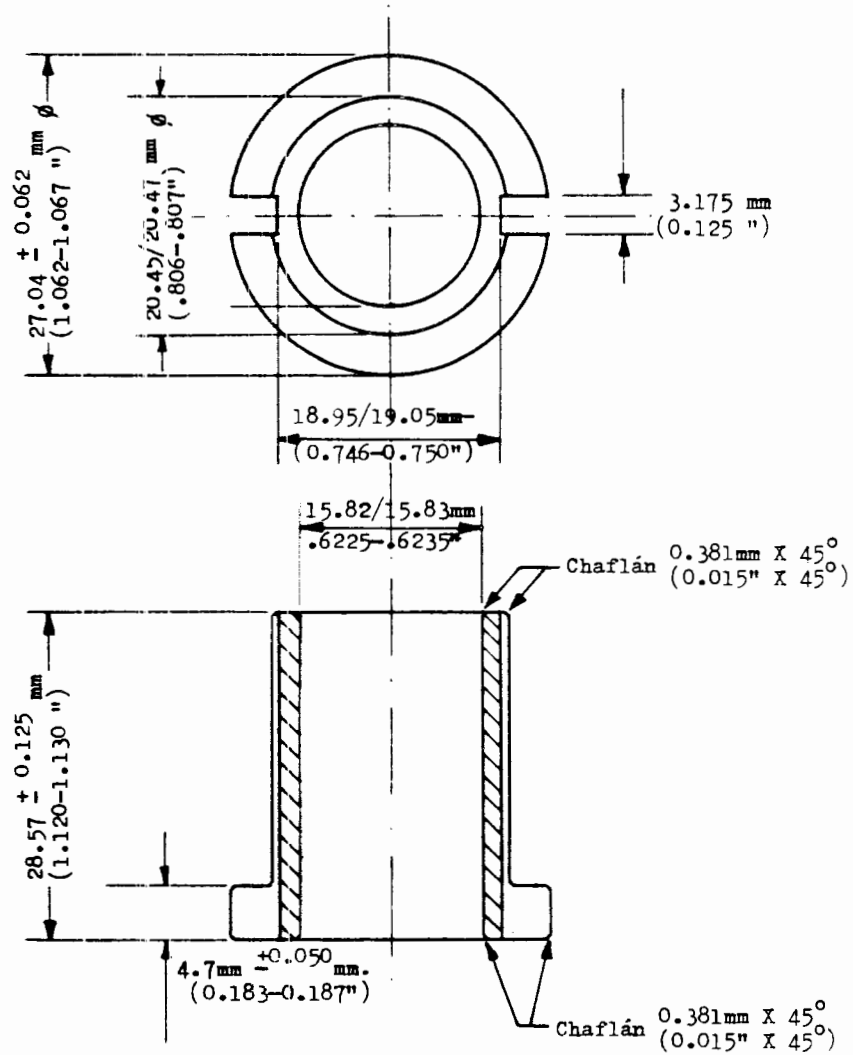


FIGURA 57



Hierro Sinterizado Impregnado

Densidad = 6.4 gr/cm^3

CASQUILLO AGITADOR

Acots: mm. y pulg. | Escala 2:1

TESIS PROFESIONAL
FAC. DE INGENIERIA
U. N. A. M.

resante investigación, la cual, fácilmente sería material para realizar dos trabajos como este.

Como punto de comparación, si usáramos un polvo de hierro - - MH-100 Ancor con 1.5% de grafito y 2% de cobre, y compactándolo para tener una densidad de 6.4 gr/cm^3 después de la sinterización, de la Figura 57 tendríamos que la pieza alcanza una resistencia a la ruptura - - transversal de 100 000 psi = 70 Kg/cm^2 .

Material: Tubo de $1.1/8" \text{ } \phi \text{ ext.} \times 1/2" \text{ } \phi \text{ int.} \times 6.1/4" \text{ de longitud.}$

Tipo: Acero Brake Iie o VSP 40.

Composición: 0.38% C, 0.25% Silicio, 0.60% Manganeso, 1.0% Cr, 0.25% Mo libdeno, 1.0% Niquel.

Características: Resistencia a la ruptura 75 Kg/mm^2 , Dureza 25 °Rc.

SECUELA DE OPERACIONES			
No.	Descripción de la Operación	Maq.-Herramienta	Otros
1	Montar tubo en chuck universal y desbastar de $1.125" \phi$ a $1.075" \phi$	Torno paralelo o revólver	Long. Mín. de $1.1/4"$
2	Desbastar de $1.075" \phi$ a $1.0645" \pm 0.0025$	" "	"
3	Refrentar una cara del extremo	" "	Recorrido de $0.312"$
4	Rebajar ϕ Ext. de 1.0645 a $0.806" - 0.807" \phi$	" "	Long. de 0.940 ± 0.003
5	Barrenar agujero de $1/2" \phi$ con broca de $39/64" \phi$ y achaflanar	" "	Long. Mín. efectiva de $1.1/4"$
6	Rimar agujero interior a $0.623" \phi \pm 0.0005$	" "	"
7	Tronzar casquillo para dejar un espesor de resalte mín. de $0.195"$	" "	
8	Invertir pieza		
9	Ajustar a medida de $1.125" \pm 0.005"$	" "	
10	Montar en aditamento para fresado después de desmontar en torno	Fresadora Horizontal.	
11	Fresar ranura	"	
12	Girar 180° la pieza		
13	Fresar otra ranura		
14	Limpiar rebabas		
15	Corroborar dimensiones		

CALCULO DE TIEMPOS.

Nomenclatura y fórmulas usadas:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} \quad (28)$$

$$t_p = \frac{L}{s \cdot n} \quad (29)$$

t_p = Tiempo principal (min.)
 D = Diámetro exterior
 d = Diámetro interior
 L = Longitud total
 la = Longitud anterior
 lu = Longitud ulterior
 n = R P M
 v = Velocidad de corte (m/min)
 s = Avance (mm/rev.)
 a = Espesor de viruta (mm)

Butil utilizado, Acero con 10% Cobalto.

- 1) Desbaste de 28.5 mm a 27 ± 0.075 mm ($1.125'' \phi$ a $1.0645 \pm 0.0025'' \phi$)

$$la = 3.175 \text{ mm (0.125'')}$$

$$L = 35 \text{ mm (1.375'')}$$

$$v = 15 \text{ (m/min)}$$

$$n = \frac{1000 (15)}{\pi (28.5)} = 167.5 \text{ R P M}$$

$$s = 1 \text{ mm/rev.}$$

$$a = 1.4 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{35}{(167.5)} = 0.209 \text{ min (1er desbaste)}$$

Afinado:

$$a = 0.1 \text{ mm}$$

$$v = 20 \text{ (m/min.)}$$

$$n = \frac{1000 (20)}{\pi (27)} = 236 \text{ R P M}$$

$$s = 0.5 \text{ mm/rev.}$$

$$t_p = \frac{35}{0.5 (236)} = 0.29 \text{ min.}$$

considerando 3 pasadas para dejar a la medida final

$$T_p = 1.079 \text{ min.}$$

2) Refrentado de la cara por un extremo del tubo:

$$D = 27.04 \text{ mm (1.0645" } \phi$$

$$l_u = 1 \text{ mm (0.040")}$$

$$L = 7.937 + 1 = 8.94 \text{ (0.313 + 0.040 = 0.353")}$$

$$v = \text{-----} = 20 \text{ m/min.}$$

$$n = 236 \text{ R P M}$$

$$s = 0.5 \text{ mm/rev.}$$

$$a = 1 \text{ mm máx.}$$

$$t_p = \frac{8.94}{0.5 (236)} = 0.0756 \text{ min.}$$

considerando necesario 2 pasadas:

$$T_p = 0.1512 \text{ min.}$$

Este tiempo es razonable puesto que no hay una medida crítica que controlar.

3) Desbaste de 27.04 mm (1.0645" ϕ a 20.46 mm (0.8065" ϕ)

$$D = 27.04 \text{ mm (1.0645" } \phi$$

$$L = 23.85 \text{ mm + } l_a = 24 \text{ mm}$$

$$v = 15 \text{ m/min.}$$

$$n = 250 \text{ R P M}$$

$$s = 1 \text{ mm/rev.}$$

$$t_p = \frac{24}{1 (250)} = 0.097 \text{ min.}$$

considerando 3 pasadas:

$$T_p = 0.291 \text{ min.}$$

Para el Afinado:

$$v = 20 \text{ m/min.}$$

$$n = 210 \text{ R P M}$$

$$s = 0.5 \text{ mm/rev.}$$

$$t_p = \frac{24}{0.5 (210)} = 0.228 \text{ min.}$$

Se necesitan mínimo 4 pasadas:

$$T_p = 1.203 \text{ min.}$$

- 4) Deben considerarse nuevamente 2 refrentados para controlar la medida 23.85 ± 0.075 mm ($0.940'' \pm 0.003''$)

$$T_p = 0.153 \text{ min.}$$

También es necesario considerar el terminado del asiento del reborde, pues ello requiere de una operación manual (con chaflán)

$$T_p = 0.2 \text{ min.}$$

- 5) Barrenado del agujero de 12.7 mm ($0.500''$) ϕ con broca de 15.478 mm ($0.609'' = 39/64''$) ϕ

$$L = 31.75 \text{ mm (1.250'') mínimo}$$

$$v = 16 \text{ m/min.}$$

$$s = 0.25 \text{ mm/rev.}$$

$$n = 325 \text{ R P M}$$

$$t_p = \frac{31.75}{0.15(325)} = 0.61 \text{ min.}$$

$$T_p = 0.61 \text{ min.}$$

- 6) Rimado del agujero de 15.478 mm ($0.609''$) ϕ a la medida - 15.825 - 15.837 mm ($0.6225'' - 0.6235''$) ϕ

$$L = 31.75 \text{ mm (1.250'') mínimo}$$

$$v = 4 \text{ m/min.}$$

$$s = 0.3 \text{ mm/rev (muy buen acabado)}$$

$$n = 81 \text{ R P M}$$

$$t_p = \frac{31.75}{0.3(81)} = 1.31 \text{ min.}$$

$$T_p = 1.31 \text{ min.}$$

- 7) Tronzado del casquillo dejando un espesor para el reborde de 4.95 mm ($0.195''$) mínimo.

Esta operación generalmente es manual y con las siguientes características:

$$v = 10 \text{ m/min.}$$

$$s = 0.1 \text{ mm/rev.}$$

$$n = 118 \text{ R P M}$$

$$L = 6.8 \text{ mm (0.268'')}$$

$$T_p = 0.577 \text{ min.}$$

8) Fresado de las ranuras.

$$L = 28.695 + l_a + l_u = 33 \text{ mm (1.300")}$$

$$a = 4 \text{ mm.}$$

$$v = 35 \text{ m/min.}$$

$$s = 40 \text{ mm/min. (en el torno es mm/rev.)}$$

$$D_{\text{fresa}} = 50.8 \text{ mm (2")}$$

$$n = \frac{35 (1000)}{\pi (50.8)} = 220 \text{ R P M}$$

$$t_p = \frac{L}{s} = \frac{33}{40} = 0.825 \text{ min.}$$

Por 2 ranuras:

$$T_p = 1.65 \text{ min.}$$

Sumando todos éstos tiempos, se tiene:

$T_p = 7.39 \text{ min/pieza.}$	(30)
---------------------------------	------

El tiempo total empleado para maquinarse la pieza requiere de la consideración de otros tiempos:

El TIEMPO DE PREPARACION, incluye el tiempo en traer y volver a llevar la herramienta entre uno y otro maquinado, el intercambio de herramientas y el apriete de los dispositivos. Estimaremos que sea un 20% del tiempo principal, el cual, es en el que la herramienta tiene un avance encaminado a desbastar, o sea, es el tiempo de corte neto. El TIEMPO ACCESORIO, básicamente es el empleado en medir y en afilar el útil de corte.

En un torno revólver y en producción masiva de éste tipo de piezas, el tiempo de preparación y el accesorio, se reducen hasta en un 50%. El tiempo principal también puede reducirse, puesto que, la broca y la rima actuarían simultáneamente con algún otro desbaste respectivamente. El tiempo para controlar las medidas, también puede reducirse en un torno revólver, ya que se dispone de topes controladores, hasta donde sea posible.

Con éstas y muchas otras consideraciones, el tiempo total de maquinado de la pieza y considerando 2 tornos revólver y una fresadora

horizontal, además de personal obrero de categoría mejor a la regular, -
es:

$$\begin{aligned} t_p &= 7.39 (70\%) = 5.190 \text{ min.} \\ t_{dp} &= 5.19 (20\%) = 1.038 \\ t_a &= 5.19 (10\%) = \underline{0.519} \\ &\quad \underline{6.747 \text{ min.}} \end{aligned}$$

Tiempo de maq. = 680 min/100 pzas. = 11.25 hs/100 pzas.	(31)
--	------

o también:

Producción = 8.9 pzas/hr.	(32)
---------------------------	------

El costo directo (mano de obra a destajo, de material, de —
energía utilizada, etc.) más el costo indirecto (depreciación de maqui-
naria, renta del local, mano de obra a sueldo, etc.), corresponde al —
costo total.

Un taller con máquinas adecuadas para producir ésta pieza, se
estima que tenga como mínimo 45 \$/hr. de costo total de producción. - -

Así :

Costo de 100 pzas. = 506 \$	(33)
-----------------------------	------

Este precio se antoja razonable para una producción de tan —
solo 100 piezas. El costo podría reducirse si la demanda fuera mayor.-
A este precio debe aumentársele la ganancia útil que se desee percibir.

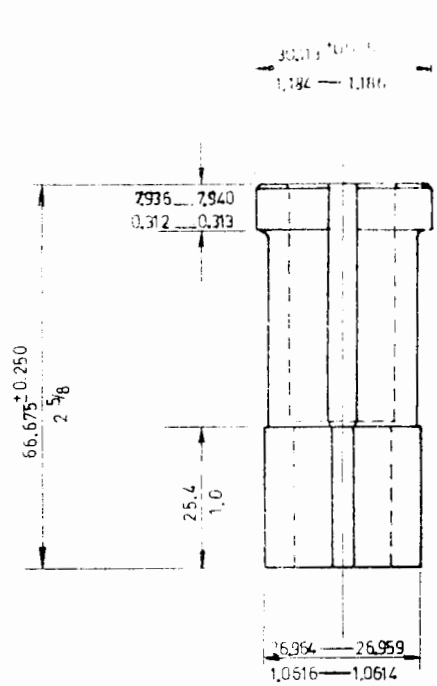
POR PULVIMETALURGIA

Material: Polvo de hierro Ancor MH 100

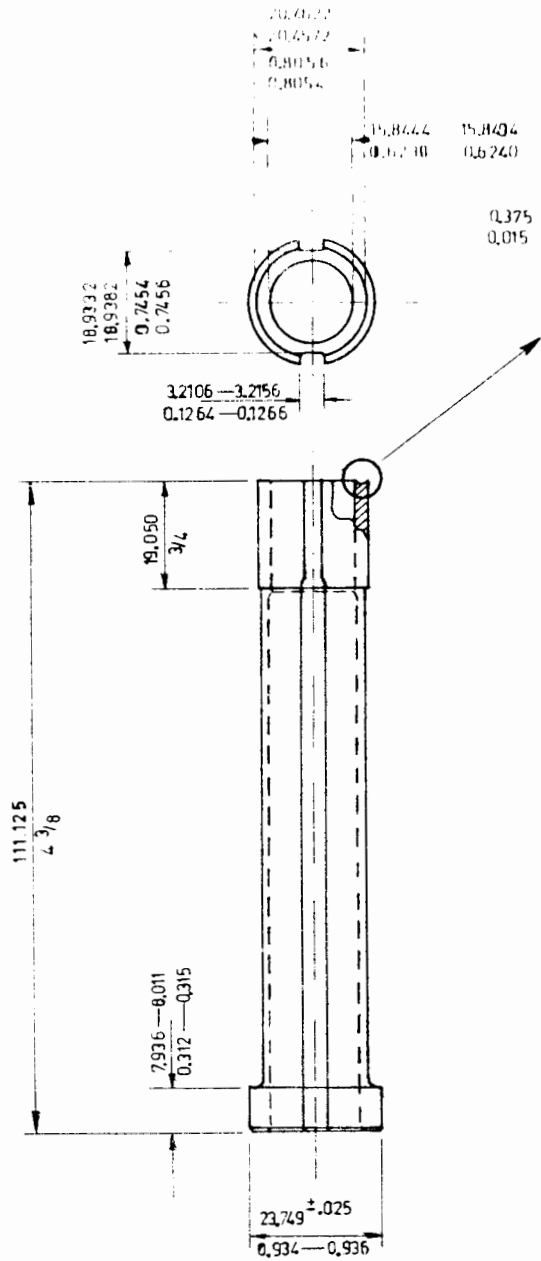
Composición: 96% Fe, 2.5% Estearato de zinc y 1.5% C (grafito)

Densidad aparente: 2.35 - 2.45 gr/cm³

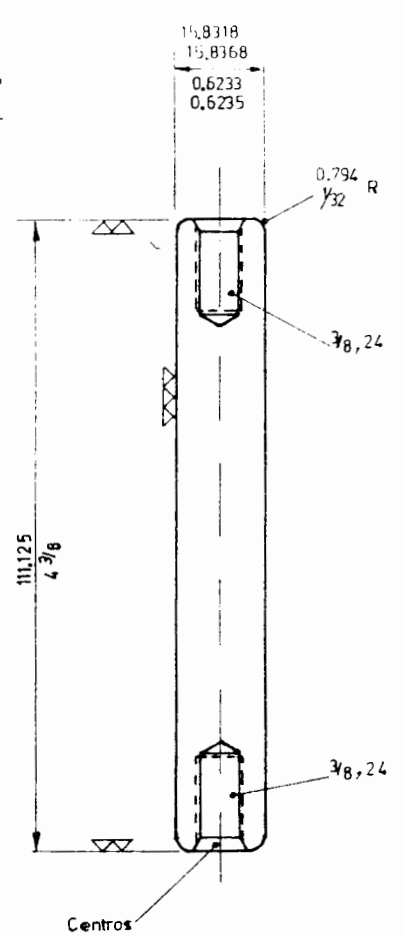
Flujo: 30 seg/50 gr.



PUNZON SUPERIOR.
Ac. Sod. 65. RC. 58-60

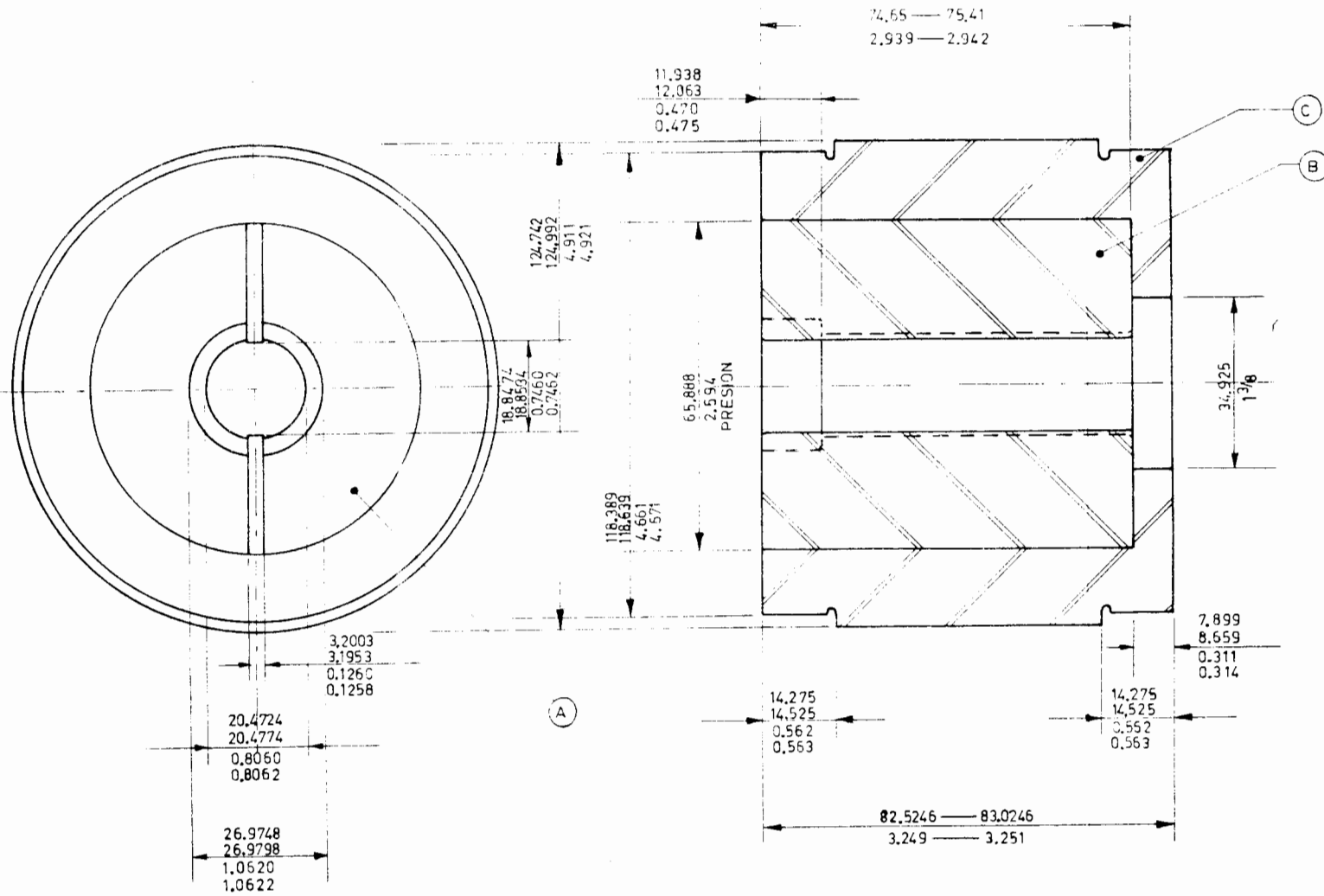


PUNZON INFERIOR
Ac. Sod. 65. RC. 58-60



CORAZON
Ac. Sod. 65. RC. 58-60

MOLDE	
Acots. en mm. y pulgs.	Esc: 1:1
TESIS PROFES.	
U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERIA	



- (A) MATRIZ ————— Ac. Esp. KR. RC. 61-63
- (B) INSERTO ————— Ac. Esp. KR. RC. 61-63
- (C) PORTA MATRIZ ——— Ac. Brake Die

MOLDE	
Acots. en mm. y pulgs.	Esc: 1 : 1
TISIS PROFES.	
I N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	

Volumen de la pieza :

$$V_1 = \frac{\pi (20.46^2 - 15.83^2)}{4} (28.57) = 3700 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi (27.04^2 - 20.46^2)}{4} (4.7) = 1160 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = 2 \cdot 3.175 \cdot (4) \cdot (28.57) = 725 \text{ mm}^3$$

$$V = V_1 + V_2 - V_3 = 4135 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso} = 6.4 (4.135) = 26.5 \text{ gr.}$$

Considerando, el costo del polvo de hierro, incluyendo transporte, almacenamiento, etc., de \$8.75/Kg., tenemos:

$$\text{Costo materia prima} = \frac{26.5 \times 8.75}{1000} = 0.232 \text{ \$/pieza.}$$

Los costos directos e indirectos de la Producción, se estiman en 40 \$/hr. ya que el taller es modesto en maquinaria y el personal — obrero no requiere ser muy capacitado.

La velocidad de producción varía entre 400 y 6 000 pzas/hr. — La planta en consideración produce un promedio de 500 pzas/hr. (muy baja).

La diferencia entre 9 piezas maquinadas por hora y 500 sinterizadas en ese mismo lapso de tiempo, es muy notoria.

$$\text{Costo unitario} = \frac{40}{500} = 0.08 \text{ \$/pza.}$$

$$\text{Costo total unitario} = 0.08 + 0.23 = 0.31 \text{ \$/pza.}$$

Costo de 100 pzas. = 31 \$	(34)
----------------------------	------

Este costo representa un 6% de aquel en el que las piezas son maquinadas (ver igualdades 33 y 34). Si la demanda fuera mayor, éste —

ahorro sería mucho mayor porque además justificaria más aun el valor de las herramientas, aunque:

El precio de venta al cliente de ésta pieza, fluctuaría entre \$1.00 y \$1.40 según las diversas posibilidades de acuerdos a que se llegara; por ejemplo:

- 1) El cliente costea el molde íntegro desde el principio.
- 2) El proveedor hace el molde y su costo lo incluye en el precio unitario del producto durante una cierta cantidad de piezas surtidas, a partir de la cual, se considera amortizado el valor del mismo, y entonces el precio unitario puede disminuirse.
- 3) El cliente proporciona el molde,
- 4) Etc.

La inversión inicial, para montar una planta de éste tipo en carácter modesto pero suficiente para muchos tipos de trabajos, podría ser de \$500,000.00. Un taller mecánico con una inversión así, estaría limitado para poder efectuar muchas de las operaciones necesarias en procesos de maquinado.

C) PERSPECTIVAS

Las primeras prácticas de la Pulvimetalurgia en México, fueron aproximadamente hace 30 años. Desde ese tiempo se ha incrementado el número de aplicaciones y de campos de aplicación. El mayor impulso lo tuvo hace unos 10 años, principalmente debido al desarrollo en los E.U.

Actualmente los campos de aplicación de las diferentes plantas instaladas en México, están muy bien determinadas, es decir, cada una de las 7 u 8 compañías que existen, se dedican a la fabricación de piezas dentro de cierto campo, por ejemplo, una fabrica casquillos, chumaceras y partes estructurales pequeñas; otra se dedica a la fabricación de partes electricas como carbones, escobillas, etc.; otra se dedica a la construcción de pistas para potenciómetros, reóstatos pequeños y alguna otra se dedica a la fabricación de núcleos magnéticos e imanes

permanentes, etc. En resumen, no existe según mi concepto, una gran -
competencia, porque los campos de aplicación son extensos, dando lugar -
con ello, a crearse varias compañías sin interferencia comercial.

México no posee una gran Industria pulvimetalúrgica como en -
otros países, y no por falta de materiales técnicos, sino por la ausen-
cia del desarrollo técnico-industrial de dicho proceso. Sin embargo —
las plantas existentes, poseen ya bases suficientes para iniciar un - -
gran desarrollo en todos los aspectos. Espero sinceramente, que no - -
transcurra mucho tiempo para ello.

B I B L I O G R A F I A

- 1) Höganäs Iron Powder Handbook (New Jersey)
- 2) MPI General Testing Standards Handbook
- 3) Some Aspects of Sintering
P.W. Clark and J. White
- 4) The Physics of Powder Metallurgy
W. E. Kingston (Mc. Graw-Hill Book Co.)
- 5) Procesos de Manufactura
Myron L. Begemen
Traducción de Lionel Dignowity
- 6) New Technology in Powder Metallurgy
Metal Progress por: Robert A. Huseby.
- 7) Alrededor de las Máquinas
Gerling.
- 8) Información recibida de la
Cía. Höganäs (New Jersey, U.S.A.)

————— o —————

Marzo 1968.