

2ej. 26

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



LA METALURGIA DE LOS POLVOS
EN LA INDUSTRIA NACIONAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A

SILVERIO CALTENCO VELAZQUEZ

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis Compañeros de Trabajo del INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

I N D I C E

I N T R O D U C C I O N	1
C A P I T U L O I	
GENERALIDADES	5
1.1 EL PROCESO INDUSTRIAL	7
1.2 PROPIEDADES DE LOS POLVOS METALICOS	9
1.2.1 Composición Química	9
1.2.2 Forma	9
1.2.3 Fluidéz	10
1.2.4 Densidad Aparente	10
1.2.5 Finura o Dimensión de la Partícula	10
1.2.6 Distribución de la Partícula	11
1.2.7 Compresibilidad	11
1.2.8 Capacidad de Sinterización	11
1.2.9 Contracción	12
1.3 FABRICACION DE LOS POLVOS METALICOS	13
1.3.1 Procesos Mecánicos	15
1.3.2 Procesos Químicos	16
1.3.3 Procesos Eléctricos y Electroquímicos	17
1.3.4 Procesos Fisicoquímicos	19
1.4 PRENSADO	21
1.4.1 Matrices	26
1.5 SINTERIZADO	28
1.5.1 Atmosferas de Sinterización	30
1.5.2 Selección de Atmosferas	30
1.5.3 Hornos	32

1.6	ACABADO	35
1.7	CONTROL DE CALIDAD	38

C A P I T U L O I I

	APLICACIONES ACTUALES DE LA METALURGIA DE LOS POLVOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.	40
--	---	----

2.1	MEZCLAS DE POLVOS A BASE DE HIERRO	43
2.2	MEZCLAS DE POLVOS A BASE DE COBRE	52
2.3	MEZCLAS DE POLVOS A BASE DE MATERIALES REFRACTARIOS.	60
2.3.1	Mezclas a base de Carburo de Tungsteno	60
2.3.2	Mezclas de Materiales Refractarios y otros con Diamante.	70
2.3.3	Mezclas con Polvos de Materiales Refractarios y otros para Contactos Eléctricos.	79
2.3.3A	Mezclas de Plata con Carburo de Tungsteno	86
2.3.3B	Mezclas con Tungsteno y Plata	88
2.3.3C	Mezclas con Tungsteno y Cobre	90
2.3.3D	Mezclas de Plata y Oxido de Cadmio	92
2.3.3E	Mezclas de Plata y Carbono	93
2.3.3F	Mezclas de Plata y Níquel	94

C A P I T U L O I I I

	POSIBILIDADES FUTURAS DE LA METALURGIA DE LOS POLVOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL	96
--	--	----

3.1	FORJA DE POLVOS METALICOS	98
	Proceso del Forjado de Polvos.	100
3.1.1	Propiedades Mecánicas	107
3.1.2	Aspectos Prácticos de la Forja de Polvos	109
3.1.3	Diseño de una Matriz para Forja de Polvos	112
3.1.4	Ventajas y Economía Obtenibles	113

3.1.5 Piezas Fabricadas Mediante la Forja de Polvos.	116
3.2 POSIBLES NUEVOS PRODUCTOS.	121
CONCLUSION	136
BIBLIOGRAFIA	137

LA METALURGIA DE LOS POLVOS
EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

"LA METALURGIA DE LOS POLVOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL"

INTRODUCCION.

Los éxitos logrados actualmente, en la fabricación de una gran variedad de piezas por medio de la metalurgia de los polvos o pulvimetalurgia, han hecho de ésta, una técnica moderna, revolucionaria y con grandes perspectivas dentro de la industria nacional.

La producción de piezas, generalmente metálicas, de tamaño relativamente pequeño, de formas simples o complicadas y -- con dimensiones dentro de las tolerancias más estrictas, para su empleo como partes de cualquier tipo de maquinaria, -- constituye la principal aplicación de la pulvimetalurgia. -- Técnicamente la metalurgia de los polvos permite fabricar -- piezas compuestas con mayor facilidad y precisión que con -- los procesos convencionales, además pueden producirse pie-- zas de diferentes materiales y con las propiedades mecáni-- cas que se deseen, por medio de mezclado, prensado, sinteri-- zado, calibrado y de ser necesario una o dos operaciones de acabado; en tanto que por medio de la metalurgia clásica, -- los mismos productos requerirán más número de operaciones y tiempo de fabricación. La eliminación de la mayoría de las

operaciones antes mencionadas reflejan ahorros de tiempo, - energía, maquinaria, herramientas, etc., además los desperdicios de material son casi nulos; estos factores son determinantes para el empleo de esta técnica.

D E F I N I C I O N .

Definir en forma exacta y general lo que es la metalurgia de los polvos, sería limitar el amplio campo que abarca esta técnica, por lo tanto se dirá que:

"La metalurgia de los polvos es el proceso de fabricar piezas de uso general en la industria, mediante las operaciones de prensado, sinterizado y acabado".

BOSQUEJO HISTORICO.

La fabricación de artículos partiendo de polvos metálicos, es muy antigua, pero sólo desde hace algunos años este procedimiento se ha venido desarrollando para la elaboración de piezas perfectamente adecuadas a su proceso.

No obstante de que la pulvimetalurgia es considerada como una técnica moderna, los principios de ésta se sitúan actualmente en el antiguo Egipto hace miles de años, también existen pruebas de que los Incas conocían el proceso.

La moderna metalurgia de los polvos, se inicia con el origen de la sinterización y se remonta hacia el año de 1829 - en que el inglés Wollaston presentó piezas de platino precipitado y cocido a una temperatura inferior al punto de fusión (sinterizado).

Una de las primeras aplicaciones industriales de la pulvimetalurgia, se inició en el año de 1916 con la obtención de hilo de tungsteno. La siguiente fase, es la aparición en el año de 1927, del metal duro; ésta aplicación revolucionó la industria metalúrgica a tal grado de que las máquinas -- existentes en aquella época no podían adaptarse a las exigencias de las nuevas herramientas hechas con dicho metal, -- generalmente este era el carburo de tungsteno, el cual soporta perfectamente temperaturas del orden de los 1,000°C y su dureza se aproxima a la del diamante.

Durante la segunda Guerra Mundial, el metal duro adquirió un extraordinario desarrollo lo que dió lugar a la creación de grandes industrias dedicadas exclusivamente a la fabricación de piezas de distintas clases de metal duro. Con esto fueron creadas las primeras industrias orientadas de lleno a la metalurgia de los polvos.

Como todas las técnicas de desarrollo reciente, la pulvimetalurgia ha sufrido transformaciones notables, durante los-

últimos 20 años; en los alrededores de 1950, la metalurgia de los polvos era una técnica nueva o más bien poco conocida en nuestro país.

Dentro de este breve bosquejo, cabe mencionar que la pulvimetalurgia en México tuvo sus inicios en el año de 1952, en el cual se inició la fabricación de piezas con polvos metálicos a base de tungsteno con hierro y cobre.

Numerosos trabajos de experimentación se han efectuado en varios países, incluyendo a México, para mejorar dicha técnica o para ampliar su aplicación.

Los ensayos tecnológicos llevados a efecto, permiten actualmente el empleo de esta técnica en campos que antes no era posible penetrar, esto se debe en parte a la necesidad de incrementar en gran escala la producción, a las exigencias de obtener un menor costo de fabricación y mayormente al empleo de nuevos materiales que permiten obtener mezclas más variadas y eficaces.

CAPITULO I

GENERALIDADES.

La metalurgia de los polvos, es un proceso de producción en serie y el costo de las matrices o moldes, deberá repartirse en un número considerable de piezas a producir, logrando con ésto que el proceso sea sumamente económico; por otra parte el tiempo de mecanización y la mano de obra son factores muy reducidos.

La pulvimetalurgia resultará el método más económico, dependiendo del tipo y cantidad de piezas a fabricarse. En algunos casos los productos de polvos metálicos resultarán económicos aún en cantidades tan bajas como de 800 ó 1,000 piezas; en series de 10,000 piezas en adelante, esta técnica tiene la primacía sobre cualquier otro proceso de fabricación.

Además, es única e insustituible en dos importantes aspectos: por ofrecer medios para mezclar materiales que no pueden ser combinados por otro método y por permitir obtener una densidad y porosidad controlables.

Por medio de este proceso, se pueden lograr propiedades y características determinadas que permiten fabricar piezas de uso muy especial y a bajo costo, como lo son las brocas-

usadas en la perforación de pozos petroleros o las herramientas con inserto de diamante, así como los cojinetes autolubricados y los filtros metálicos, todos de frecuente uso en la industria.

1.1 EL PROCESO INDUSTRIAL.

De una manera muy generalizada, podemos decir que la técnica de la metalurgia de los polvos, consiste fundamentalmente en las siguientes operaciones:

Fabricación de los polvos metálicos.

Mezclado de polvos y aglutinantes.

Prensado de la mezcla.

Sinterizado.

Acabado final.

En la elaboración de los diferentes tipos de productos, algunas de las operaciones antes mencionadas pueden suprimirse o efectuarse en forma simultánea, dependiendo del tipo y características requeridas por las piezas, - esto puede apreciarse en forma gráfica en el diagrama de flujo mostrado en la figura 1.3.

Además de las operaciones mostradas en dicho diagrama, a las piezas, de ser necesario, se les puede dar un -- acabado final por medio de una operación complementa..- ria, generalmente de maquinado.

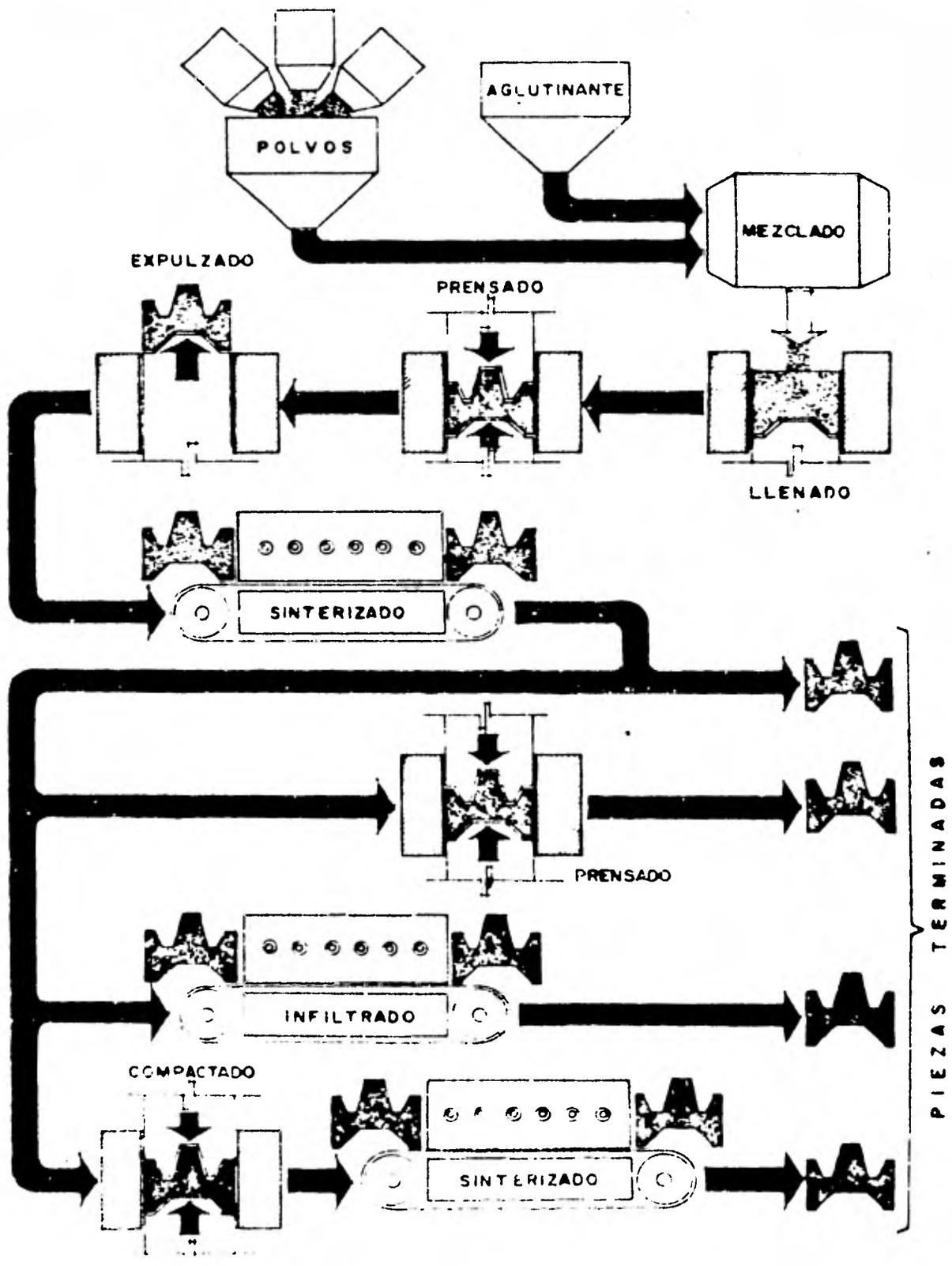


FIG 1 a - DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METALURGIA DE LOS POLVOS.

1.2 PROPIEDADES DE LOS POLVOS METALICOS.

Las propiedades de las piezas sinterizadas y la posibilidad de alcanzar características determinadas, previstas de antemano, dependen básicamente de las propiedades de los polvos que se empleen; éstas varían según la forma de obtención, preparación y calidad de los polvos así como el control estricto en la fabricación.

Actualmente existen en el mercado internacional, una gran variedad de polvos metálicos de empleo muy generalizado que proporcionan mezclas con características muy especiales y versátiles gracias a sus propiedades, siendo algunas de estas las siguientes:

1.2.1 COMPOSICION QUIMICA. Mediante ella, se puede conocer el grado de pureza de los polvos, su naturaleza y el estado físico de las impurezas presentes, tales como óxidos, azufres y partículas extrañas al material que los compone; esto se debe a que en forma pulverulenta, el metal presenta una superficie más amplia que se oxida con mayor rapidez que en forma compacta, por lo que debe controlarse el porcentaje de oxígeno que contienen éstos.

1.2.2 FORMA. La forma de las partículas de polvo pue-

-de determinarse por medio de un examen microscópico, de esta propiedad depende su facilidad para aglomerarse, así como el grado de compactación y el tipo de pieza por fabricar; las formas más comúnmente obtenidas, son: esféricas, lenticulares, cilíndricas, dendríticas, laminares, planas, angulares, etc.

1.2.3 FLUIDEZ. Con esta propiedad puede determinarse la facilidad con que pueden ser llenados los moldes por la acción de la gravedad, además siempre hay que tenerla presente para calcular la velocidad con que pueden fabricarse las piezas. La fluidez se determina, midiendo el tiempo que tarda en pasar cierta cantidad de polvo por un orificio previamente determinado.

1.2.4 DENSIDAD APARENTE. *la cantidad* Es el ~~volumen~~ de polvo que llena a 1 cm³ y permite calcular la cantidad de polvo a utilizar para cada estampa o matriz que se usa en la compactación, sus unidades son - - - gr/cm³.

1.2.5 FINURA O DIMENSION DE LA PARTICULA. Esta propiedad tiene una gran importancia y se determina haciendo pasar el polvo por tamices. Las diferentes dimensiones de la malla indican el grado del

tamiz y éste la finura de la partícula, los números del tamiz, van de 100 a 350; también por medio de un análisis microscópico puede analizarse el tamaño o finura de la partícula de polvo.

1.2.6 DISTRIBUCION DE LAS PARTICULAS POR TAMAÑO. Esto indica y determina la facilidad con que fluye el polvo dentro de la matriz y la manera en que se condensan los espacios vacíos que existen; esta propiedad tiene mucha influencia en la densidad aparente y contribuye en la determinación del grado de porosidad que pueda tener el producto terminado.

1.2.7 COMPRESIBILIDAD. Depende de la distribución de las partículas por tamaños y es la relación que existe entre el volumen inicial del polvo y el volumen final, o sea, antes y después de la compactación. Esta propiedad tiene un rango de variación bastante amplio, por lo que debe ser controlada en una forma muy estricta.

1.2.8 CAPACIDAD DE SINTERIZACION. Se dice que esta propiedad es buena cuando el rango de temperaturas de sinterización es lo suficiente amplio, de tal manera que los polvos soporten las diferentes temperaturas a que se sometan.

1.2.9 CONTRACCION. Es necesario conocer también la -
contracción que experimenten las piezas en el -
sinterizado, la cual puede reducirse en parte, -
por medio de un tratamiento térmico de recocido
previo a los polvos, antes de la compresión en-
una atmósfera reductora.

Debe mencionarse que las características de es-
tas propiedades son proporcionadas por el fabri-
cante.

1.3 FABRICACION DE LOS POLVOS METALICOS.

Los polvos metálicos no son fabricados en México, pero se tratará el tema puesto que es muy importante tanto por ser la primera operación de la pulvimetalurgia como por depender de ella en gran parte, la forma de la partícula y la calidad de el producto terminado; a - - ello se debe que existan varios métodos para su producción, algunos de los cuales se mencionarán a continuación:

- 1.3.1 Procesos Mecánicos: Triturado o Molido, Atomizado, Granulado y Maquinado.
- 1.3.2 Procesos Químicos: Reducción, Precipitado. De sintegración de aleaciones, Carburizado y Descarburizado.
- 1.3.3 Procesos Eléctricos y Electroquímicos: Electrólisis y Dispersión-Eléctrica.
- 1.3.4 Procesos Fisicoquímicos: Condensado y Descomposición Térmica.

En la siguiente tabla I-A se muestran los diferentes métodos y las características principales de las partículas obtenidas.

A continuación se analizarán brevemente, algunos de los procesos comunmente empleados para obtener los polvos metálicos.

P R O C E S O S		P R O D U C T O S			CARACTERISTICAS DE LAS PARTICULAS
		METALES	ALEACIONES		
MECANICOS	TRITURADO O MOLIDO	W, Mo, Ti, Mn, Sb, Bi, (Cu, Fe)	NI-Fe, Al-Mg, Al-Fe		POLVOS FINOS, PARTICULAS ESFERICAS DE METALES... FRAGILES, PARTICULAS LAMINARES DE METALES DUCTILES
	ATOMIZADO	Sn, Zn, Pb, Cd, Al, (Ag, Cu, Ni, Fe)	LATONES, BRONCES, ACEROS INOXIDABLES.		POLVOS FINOS, LAS PARTICULAS TIENEN FORMAS ESFERICAS O DE GOTITAS.
	GRANULADO	(Al, Pb)	(LATONES)		POLVOS GRANULADOS ASPEROS.
	MAQUINADO	(Mg, Fe)			POLVO ASPERO, PARTICULAS EN FORMA DE ESCAMAS.
QUIMICOS	REDUCCION	W, Mo, Fe, Ni, Co, Cu			POLVOS DE VARIOS GRADOS, PARTICULAS BLANDAS, PLASTICAS Y ESPONJOSAS.
	PRECIPITADO	Pt, Pb, Ag, Cu, Ni, Fe, Sn, Cd			POLVOS MUY FINOS, DE DENSIDAD APARENTE BAJA.
	DESINTEGRACION DE ALEACIONES	(Ni, Fe)	ACEROS ALEADOS E INOXIDABLES.		POLVOS FINOS O MUY FINOS, PARTICULAS MONOCRISTALINAS O ESPONJOSAS.
	CARBURIZADO Y DESCARBURIZADO		ACEROS, HIERRO FUNDIDO, NI-Fe		POLVOS DUREOS, PARTICULAS ANGULARES O REDONDAS, COMPACTAS O POROSAS.
	ELECTROLISIS	Cu, Fe, Ag, Ni, Cd, Zn, Sb, Sn, Mo, Cr, Ta	LATONES, BRONCES		POLVOS FINOS, INICIALMENTE DUREOS, PARTICULAS DENDRITICAS O MODULARES, PLASTICAS Y MOLDEABLES.
ELECTROQUIMICOS Y ELECTRICOS	DISPERSION ELECTRICA	(W, Au, Ag, Pt)			POLVOS EXTREMADAMENTE FINOS, CASI COLOIDALES.
	CONDENSADO	(Zn, Mg)			POLVOS FINOS, PARTICULAS ESFERICAS, ALTO CONTENIDO DE OXIGENO.
FISICOQUIMICOS	DESCOMPOSICION TERMICA	HIERRO CARBONILO, NI	Fe-Ni		POLVOS MUY FINOS, PARTICULAS ESFERICAS UNIFORMES.

TABLA I. A.: DIFERENTES PROCESOS DE FABRICACION DE POLVOS METALICOS.

1.3.1 PROCESOS MECANICOS. Entre los procesos mecánicos, los más empleados son el molido o triturado, la atomización y el maquinado.

Para el molido se emplean molinos de martillos o de bola y sólo se utiliza con materiales frágiles como el manganeso, fierro, cromo, etc., pues los metales dúctiles se aglutinan; este procedimiento es de muy bajo rendimiento y sólo se emplea como complemento de otros procesos.

La atomización se realiza dirigiendo una corriente de aire muy violenta o de vapor a presión, sobre un chorro de metal fundido, con lo que se logra pulverizar el metal.

Este proceso puede ser aplicado a la mayor parte de los metales y aleaciones, pero se utiliza sobre todo para la producción de polvos de hierro, estaño, cinc, plomo, cadmio, bronce, etc.

Como una variante del atomizado, se tiene la pulverización mecánica, la cual se realiza dirigiendo un chorro de metal fundido sobre un disco que gira a gran velocidad, provisto en su periferia de cuchillas metálicas que fragmentan a dicho metal.

El maquinado puede realizarse en torno o con li-ma, obteniéndose polvos muy ásperos y de forma -escamosa, con la gran desventaja de ser un méto-do muy lento y excesivamente costoso.

1.3.2 PROCESOS QUIMICOS. Los procedimientos químicos-para la fabricación de polvos metálicos, compren-den los métodos siguientes: reducción de óxidos, precipitaci-ón, desintegración de aleaciones, carburizado y descarburizado.

En la reducción de óxidos, se producen primero -los polvos de óxidos de los metales que general-mente son frágiles y se fragmentan con mayor fa-cilidad que los metales puros. Después se redu-cen dichos óxidos, a temperaturas inferiores a -la de fusión, con un agente reductor como óxido--de carbono, por ejemplo, el polvo obtenido en esta forma, es muy fino y se emplea con mayor fre-cuencia que el obtenido por otros métodos. Me-dante este proceso se obtienen los polvos de ma-teriales refractarios tales como, el tungsteno, -molibdeno, etc.

El precipitado se aplica para la obtención de ---polvos de platino, plomo, plata, cobre, níquel, -

hierro, estroncio y cadmio; son polvos muy finos y con una densidad aparente, muy baja.

Con la desintegración de aleaciones es posible obtener polvos de aceros aleados e inoxidables, finos o muy finos y sus partículas son generalmente esponjosas.

Por medio de la carburación y descaburación, se obtienen polvos de aleaciones como las hechas de hierro fundido, aceros, níquel-hierro, etc.

Las características de los polvos obtenidos por los procesos químicos son: duros, sus partículas tienen formas angulares o redondas, compactas o porosas.

1.3.3 PROCESOS ELECTROQUÍMICOS Y ELÉCTRICOS. En este proceso se tienen la electrólisis y la dispersión eléctrica.

La electrólisis es un proceso que consiste básicamente en la precipitación de un metal sobre el cátodo de una celda electrolítica, ya sea en forma pulverulenta o en forma que pueda desintegrarse fácilmente por algún medio mecánico hasta obtener polvo.

Este proceso, se emplea para la obtención de polvos de hierro, estaño, cobre, plomo, cobalto y níquel.

Además pueden obtenerse polvos de aleaciones como latones y bronce; algunas de las características que presentan éstos, es que son muy finos, inicialmente duros, sus partículas son dendríticas o nodulares, son plásticas y moldeables.

Con la electrólisis, se ha logrado obtener polvos de 30 metales y aleaciones diferentes, aunque dicho método sólo se emplee comercialmente para obtener polvos de hierro y cobre. Este método cuenta con grandes ventajas, como:

- a) Bajo costo de producción.
- b) Los polvos son de gran pureza.
- c) Pueden obtenerse diferentes calidades con sólo variar la composición de la solución.
- d) Facilita el control de las propiedades físicas del producto.
- e) El polvo presenta excelentes condiciones en el prensado y el sinterizado.

Sin embargo la electrólisis, también tiene algunas desventajas, tales como:

- a) No es de empleo común, salvo en raras excepciones, como en la manufactura de polvos a partir de materiales aleados.
- b) Para algunos casos, su costo de operación es muy elevado.
- c) El producto acumulado, se encuentra siempre en estado activo, que dificulta su lavado y secado.

Si no se manejan adecuadamente, los polvos obtenidos así, se oxidan fácilmente al estar en contacto con el aire.

La dispersión eléctrica, no reúne las características necesarias para su empleo dentro de la pulvimetalurgia, por lo cual se utiliza únicamente en casos muy especiales, como en la obtención de polvos de tungsteno, oro, plata y platino; una de las características principales de esos polvos así obtenidos es que son extremadamente finos.

1.3.4 PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS. Los procedimientos físicoquímicos para la obtención de polvos metálicos, comprenden los métodos de condensación y reducción térmica.

La condensación, es un proceso que se realiza al hacer pasar óxido de carbono sobre un metal esponjoso a presión y temperaturas adecuadas, permiten obtener polvos muy duros, de forma esférica y gran finura; más por el precio tan elevado que tienen los polvos así obtenidos, sólo se aplica en la fabricación de polvos para piezas muy especiales, como los imanes de hierro y níquel.

1.4 P R E N S A D O.

El prensado, es el siguiente paso de la pulvimetalurgia, consiste en ejercer una fuerte presión sobre los polvos con que se ha llenado la matriz o molde, hasta lograr - obtener una firme cohesión entre las partículas que los constituyen.

La unión entre las partículas, debe ser suficiente co- mo para poder manejar la pieza recién compactada; en ca- sos especiales, con el prensado queda totalmente termi- nada la pieza, pero generalmente después se efectúa el sinterizado y en ocasiones después de sinterizar es ne- cesario un reprensado, esto depende de las característi- cas mecánicas que se deseen proporcionar el producto fi- nal.

La cohesión que se efectúa mediante la acción del pren- sado sobre las partículas de polvo, se debe a la aspere- za de las mismas, que una vez prensadas, difucultan el- deslizamiento entre ellas; así como a la adición de - - aglutinantes que en algunos casos, se mezclan previamen- te y favorecen el acomodamiento de las mismas al ser -- prensadas.

Para el llenado de las matrices o moldes, se deben tener presente las características de los polvos y la forma de

las matrices, la relación que existe entre la densidad del polvo antes y después del prensado: por ejemplo para los polvos de hierro, se tiene una relación de 3:1 -- o sea que se debe llenar la matriz hasta una altura tres veces mayor a la que tendrá el polvo ya prensado.

La relación de altura inicial de llenado a la altura de polvo compactado, varía según el tamaño, la forma y el material de la partícula usada; se pueden compactar más fácilmente las partículas de formas irregulares -- que las de formas regulares, debido a que las primeras compensan mejor, por su misma irregularidad, los huecos existentes entre ellas.

El llenado de las matrices, puede hacerse manual o automáticamente; en el primero de los casos se requiere de mucha destreza del operador para que la matriz sea llenada siempre con la misma cantidad de polvo; en el segundo caso los mecanismos automáticos llenan las matrices con mayor rapidez y precisión.

Para obtener piezas con la misma densidad, se pesa previamente el polvo que llenará la matriz, con lo que se asegura el mismo contenido de polvo en todas las piezas que se producirán y según la importancia y calidad de la pieza, será la precisión con que se pese el polvo.

Para efectuar el prensado, se emplean diversos tipos de prensas, con capacidades muy variadas según el producto que se va a fabricar, así como la rapidez de sus ciclos y el tipo de mecanismos que efectúan al prensado.

El tipo de prensa más simple y de uso común es en la que sólo su émbolo superior se mueve y compacta sobre otro fijo; en otras ambos émbolos son móviles y efectúan entre ellos el compactado, otras permiten que la matriz se mueva junto con el émbolo superior y después de este recorrido es expulsado el producto compactado. El movimiento de los émbolos se efectúan mediante mecanismos puramente mecánicos o hidráulicos y la pieza así compactada es extraída de la matriz mediante el movimiento ascendente del émbolo inferior o por resortes que accionan sobre el mismo émbolo; un ejemplo de estas prensas se muestra en la figura 1.b.

En la fabricación de piezas con ejes de simetría, tales como bujes, engranes, cilindros, etc., se deben prensar con este eje siempre paralelo al recorrido de los émbolos; para formar orificios en las piezas, el corazón de éstas deberá alojarse en la parte inferior sin que necesariamente forme parte integral del émbolo inferior; en el caso de piezas cónicas o con agujeros de

Sección cónica, deberán diseñarse los moldes y corazones de forma que permitan fácilmente la extracción del producto.

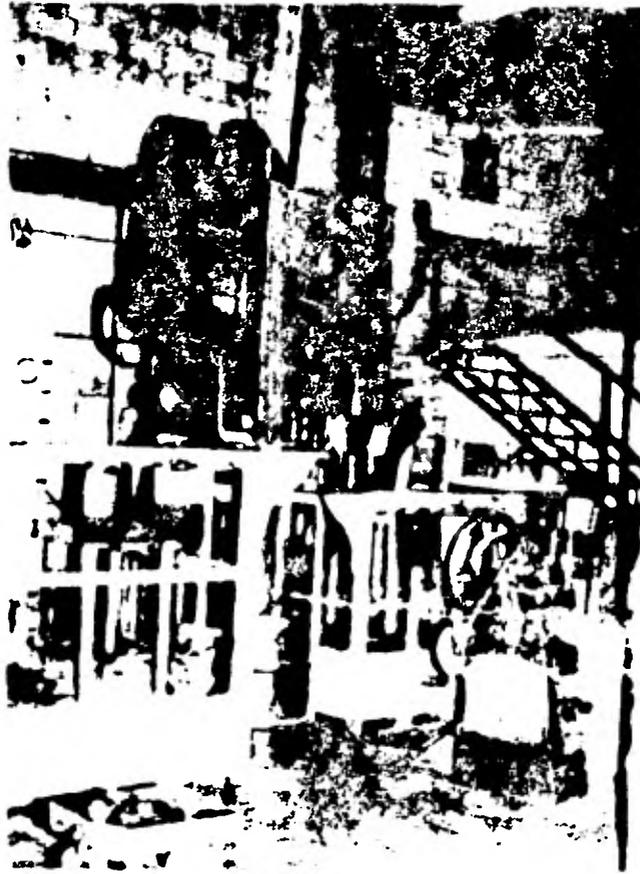


FIG. 1.6 PRENSA DE COMPACTACION.

En el siguiente cuadro, se presentan las principales características de los dos tipos de prensas más usadas.

PRENSA MECANICA

Producción:

Proporciona una producción elevada, hasta 50 piezas/minuto.

Capacidad:

No alcanzan las presiones que proporcionan las prensas hidráulicas. De 3 a 800 ton. en los émbolos.

Continuidad:

Se obtiene mayor producción ya que su accionamiento es por levas o cigüeñales que tienen movimiento giratorio e inician nuevo ciclo al finalizar el anterior.

Economía:

Al no tener alta capacidad de prensado, su costo es menor.

PRENSA HIDRAULICA

Producción:

Son de baja producción: alcanzan de 10 a 15 piezas/minuto.

Capacidad:

Proporcionan presiones muy elevadas. Las fabrican hasta de 3,000 ton. y más. Pero este aumento de fuerza en razón inversa a la rapidez de producción.

Continuidad:

Se pierde continuidad al regresar al émbolo debido a que carece de mecanismos de compactación con movimiento cíclico.

Economía:

Su costo aumenta conforme se incrementa su capacidad de prensado.

Existen otros tipos de prensas, que difieren de las anteriores, aunque el efecto que causan sobre los polvos es el mismo, pero la diferencia principal es que se le adiciona movimiento al molde, permaneciendo fijo el émbolo inferior.

Dentro de este tipo de prensas existen variantes, en una de ellas el molde se sostiene mediante resortes -- previamente calculados para resistir el peso del mismo y le permite descender cuando la presión aplicada es -- tal, que produce la fricción necesaria entre el polvo y la matriz, para vencer la resistencia de éstos.

En otra de las variantes, el molde se mueve hacia abajo por medio de un mecanismo especial que una vez efectuado el prensado del polvo, dicho mecanismo hace ascender al compactado mientras el molde desciende hasta expulsarlo.

1.4.1 MATRICES. Las matrices que se emplean en este proceso, son generalmente fabricadas con aceros de alta calidad y alto contenido de carbono, que permiten resistir las altas presiones a que son sometidas.

Los aceros generalmente se les alea con cromo o carburo de tungsteno para prolongar la vida útil de la matriz y hacer más económico su empleo.

También se emplean moldes que generalmente se -- llaman corazones, por lo especial de su diseño, -- y son también fabricados con los aceros de las -- matrices y otros especiales; los émbolos que pro

-ducen la presión son fabricados con aceros de -
bajo contenido de carbono para evitar rupturas -
por exceso de fragilidad, y en algunos casos se-
alean para reducir la misma.

1.5 S I N T E R I Z A D O

Después del prensado, el sinterizado es la etapa más importante de la pulvimetalurgia, ya que con él se proporciona a los compactados las propiedades mecánicas requeridas; consiste en someter a la pieza a temperaturas cercanas al punto de fusión, de los materiales que la constituyen. A consecuencia de las altas temperaturas durante el sinterizado, las partículas sueldan entre sí, cerrando casi totalmente poros que resultan del prensado, provocando con ello una firme cohesión entre ellas.

Por otra parte, los buenos resultados obtenibles en una pieza sinterizada, dependen tanto de la temperatura de sinterización, como del tiempo que dure el proceso.

Los estudios hechos sobre el sinterizado han aportado datos tales, que revelan los cambios experimentados por las propiedades mecánicas de las piezas obtenidas, las cuales a continuación se mencionan.

a) RECOMPRESIBILIDAD. Generalmente es necesario recomprimir las piezas debido a que, después de efectuar el sinterizado, existen poros microscópicos que según las necesidades requeridas, conviene eliminar -

-los ya que restan resistencia mecánica al compactado. La recompresibilidad muestra la facilidad de compactar nuevamente la pieza, con lo que se logra eliminar la porosidad residual y aumentar la densidad de la pieza. Por ejemplo, para los polvos de hierro, la recompresibilidad aumenta rápidamente -- con la temperatura y alcanza su punto máximo a los 800°C con un tiempo de sinterizado de 90 minutos.

b) RESISTENCIA A LA TRACCION. Para el mismo ejemplo, esta propiedad alcanza sus valores máximos a los 900°C y en 30 min. de sinterización; hasta este tiempo, la resistencia aumenta considerablemente y después incrementa en menor proporción. El alargamiento varía en la misma forma.

c) DENSIDAD. Esta varía poco con la temperatura, para el caso del hierro, tiene su punto máximo a los 800°C y después de este nivel desciende lentamente; la densidad máxima se observa a los 35 min. de iniciado el sinterizado, después casi no se aprecia su incremento.

Por lo tanto los valores óptimos para los polvos de hierro son: Temperatura de sinterización 850°C, con un tiempo mínimo de 20 minutos hasta 90 min. máximo, a partir de este tiempo y temperatura, son mínimas las -

ventajas obtenibles.

1.5.1 ATMOSFERAS DE SINTERIZACION. Una de las dificultades para la cohesión entre las partículas durante el sinterizado, la constituye el hecho de que los polvos metálicos reaccionan fácilmente con la atmósfera que los rodea, formando delgadas capas de óxido, alrededor de las partículas. El problema aumenta durante este proceso, porque las altas temperaturas favorecen a la oxidación, por lo tanto, para eliminar este inconveniente se usan atmósferas especiales dentro del horno de sinterizado, las cuales también se usan para dar determinadas características a la pieza.

1.5.2 SELECCION DE ATMOSFERAS DE SINTERIZACION. La selección de las atmósferas se hace considerando el buen resultado de los productos a sinterizar y el tipo de agente nocivo por eliminar.

Quando se tenga exceso de óxidos y se quiera eliminar, se recurre a una atmósfera reductora, éstas son las más comúnmente usadas y se emplean como agentes reductores de las mismas: el metano, monóxido de carbono, hidrógeno, etc., cuando se requiere eliminar los óxidos en piezas de es-

-pecial delicadeza, se usan el hidrógeno puro -- (se obtiene por electrólisis) o el amoniaco disociado.

En la obtención de piezas para producción a gran escala puede usarse una atmósfera económica que se obtiene mezclando adecuadamente el combustible y el aire de tal manera que resulte una combustión incompleta; según la relación aire-combustible, será el tipo de atmósfera obtenible y ésta puede ser reductora, carburante, descarburante, etc., pudiendo ser atmósferas endotérmicas cuando el calor generado no es suficiente y se requiere suministrar más, o exotérmicas en el caso contrario.

Cuando solo se desea eliminar lubricantes o aglutinantes, se emplean atmósferas oxidantes, y para no afectar los productos en caso de que sean ferrosos, se efectúa la eliminación a baja temperatura, entre 350°C y 400°C.

Cuando es necesario evitar alguna reacción con las partículas del compactado, se escogen atmósferas inertes; lo ideal es sinterizar en el vacío, pero como es difícil lograrlo, se recurre -

al empleo de gases inactivos como el nitrógeno, argón, helio, etc., este tipo de atmósferas se emplean cuando se trabaja con polvos de acero inoxidable o piezas con excesiva dureza que en sus mezclas contengan carburo de tungsteno o titanio y en la fabricación de imanes permanentes.

Para fabricar piezas a base de cromo o de algunos aceros inoxidables a los cuales se desea o necesitan nitrurizar se recurre a las atmósferas nitrurizantes utilizándose en este caso amoníaco o nitrógeno.

1.5.3 H O R N O S. No existe una gran variedad de hornos para efectuar el sinterizado, pero los que existen son de fabricación muy especial y van desde los diseños más sencillos hasta los más complicados y automatizados; gracias a los adelantos tecnológicos de esta época, se obtiene un mejor control de las temperaturas y de las atmósferas que se requieren para el sinterizado.

El horno más comúnmente usado es el de desplazamiento horizontal, del cual existen dos tipos principales, uno de los cuales es el que tiene una banda transportadora sin-fin, hecha de mate-

-riales refractarios donde se colocan los compactos en uno de sus extremos, la que los llevará a una velocidad predeterminada a través de la cámara de sinterización y de la zona de enfriamiento, como lo muestra la figura 1.c; si la temperatura de sinterizado no excede los $1,150^{\circ}\text{C}$ la banda podrá ser de malla con aleación cromo-níquel, el interior de la cámara de calentamiento deberá ser de un material que no se deteriore con las elevadas temperaturas, como el carburo de silicio; este tipo de hornos mostrado en la figura 1.c, se emplea ampliamente en la producción a gran escala.

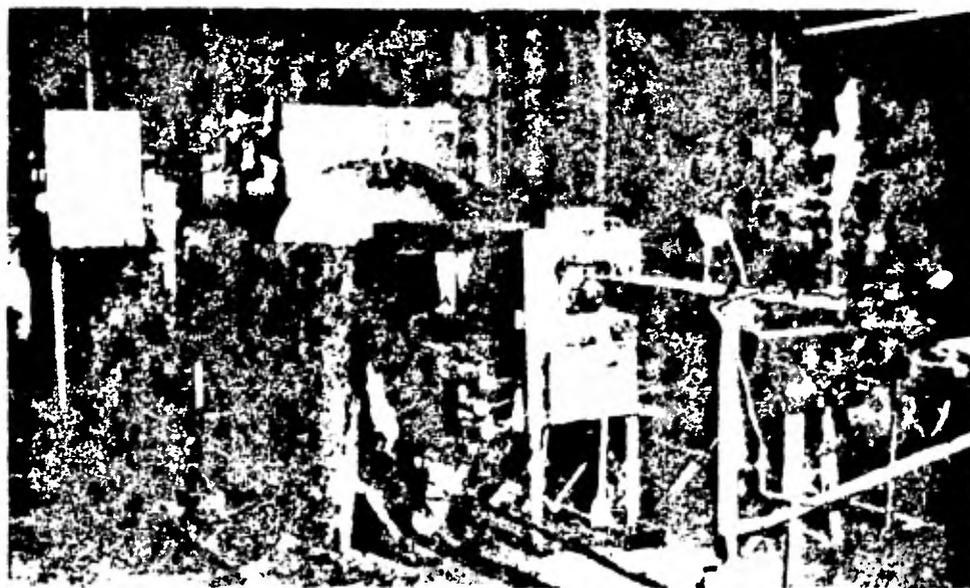


FIG. 1.c HORNO DE SINTERIZACION CON BANDA DE TRANSPORTACION SI-SI.

El otro tipo de horno horizontal, es el de charo-
las, las cuales se deslizan sobre rodillos, en
estas charolas se depositan los compactos por
sinterizar, éstas deben ser fabricadas con mate-
riales que resistan las altas temperaturas pues
no deben deformarse ni reaccionar con los mate-
riales del compactado, estos hornos tienen gran
capacidad y son controlados automáticamente, en
la figura 1.4 se muestra un ejemplo.

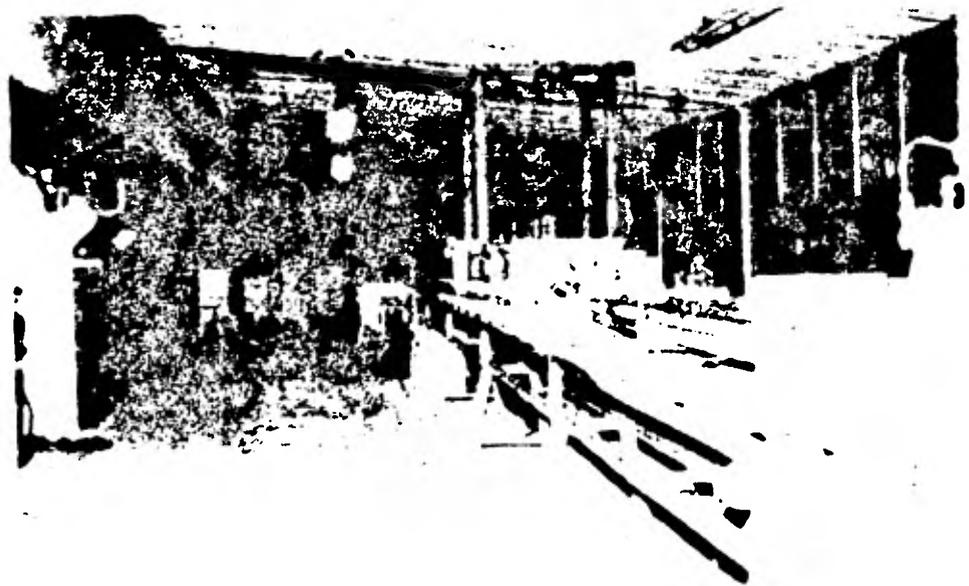


FIG. 1.4 HORNO DE SINTERIZACION CON CHAROLAS Y
RODILLOS.

1.6 A C A B A D O.

Durante el sinterizado, los compactados adquieren las propiedades mecánicas ya mencionadas, pero hay casos - en que las piezas así obtenidas requieren de un acabado posterior ya sea por la precisión deseada de las -- mismas o por la función que desempeñarán en el mecanismo a que se destinen.

Para lograr dimensiones muy exáctas, los compactados - se someten a un reprensado con estampas de tolerancias muy cerradas: este paso se aplica a piezas de precisión como engranes, bujes, etc., es decir, todas aquellas - piezas que están sujetas a movimientos o que están en contacto directo con otras.

Quando el compactado requiere mayor densidad de la normal se somete al proceso de doble prensado y doble sinterizado, que consiste en aplicar un reprensado al compactado después de su primer sinterizado y luego volver a sinterizar, pudiendo en algunos casos volver a repetir esta operación, ésto sólo se hace en casos muy especiales ya que resulta muy costoso efectuarlo, ya que se necesitan varias estampas para lograr las dimensiones deseadas. El primer reprensado se efectúa con la misma presión inicial a que se somete el polvo; en al-

-gunos casos los rebrensados no requieren de fuertes -
presiones pero en otros es el doble; con este método -
se logran tolerancias muy cerradas del producto así co
mo un aumento considerable en la resistencia a la trac
ción.

Otras piezas se someten a tratamientos térmicos con el
propósito de aumentar su resistencia y endurecimiento-
por lo que generalmente se impregnan con carbono; el -
proceso más generalizado se efectúa mediante el empleo
de un gas hidrocarburo como el metano, éste a la vez -
que las endurece les proporciona una adecuada protec_
ción contra agentes corrosivos; el proceso de apagado-
o enfriado se hace introduciendo en aceite a las pie_
zas y con esto se les proporcione la dureza adecuada;-
las superficies pulidas o protegidas contra el desgag-
te, se obtienen mediante la electrodeposición de algún
metal que actúe como protector contra la corrosión o -
el desgaste.

En la fabricación de cojinetes autolubricados, se in_
troducen en aceite para que los poros lo absorban, es_
to se efectúa aprovechando el vacío que quedó en los -
poros, al eliminar los gases contenidos en ellos des_
pués de haber introducido las piezas, en una cámara de
vacío.

Hay casos en que se hecha mano de las máquinas-herramientas, tales como taladros, fresadoras, cepilladoras, -- rectificadoras, etc., con las que se dan formas y tolerancias adecuadas, que con el compactado por lo difícil de su sección no sería posible, por ejemplo, cuando se requiere orificios laterales, ranuras transversales al eje de simetría, etc.

1.7 CONTROL DE CALIDAD.

Las piezas fabricadas mediante la pulvimetalurgia, son sometidas a estrictas pruebas de control de calidad durante todo el proceso para garantizar su máxima eficiencia en el trabajo a que se les destine.

Primeramente se verifica mediante un análisis químico, que los polvos adquiridos no contengan partículas ajenas que sean difíciles o imposibles de eliminar, tales como fósforos, azufres, etc., además deben tener las características especificadas por el fabricante. Después se analizan las mezclas, verificando que tengan los porcentajes correctos.

Se comprueba que las dimensiones de las piezas recién compactadas, coincidan con las indicadas en los planos, para lo cual se emplean los instrumentos correspondientes. Las tolerancias se determinan de acuerdo a la precisión requerida por la pieza.

Después de sinterizar las piezas, se verifican nuevamente sus dimensiones, así como su resistencia mecánica, para ésta última, se procede a tensar la pieza hasta romperla y se comprueba que tenga la resistencia especificada. Por último, cuando los productos requieran de algún maquinado final, se revisan sus dimensio-

-nes definitivas.

Para obtener datos más completos sobre las normas que deben tomarse en cuenta para el control de calidad, es recomendable consultar el manual A.S.T.M. para polvos metálicos.

Con el control de calidad se concluye este primer capítulo, en el cual solo se hace un análisis general de las distintas etapas del proceso de la pulvimetalurgia, pero no se ha concretado sobre ningún estudio en particular. Con este propósito se especificarán en el capítulo siguiente, las diferentes aplicaciones que este proceso tiene actualmente en la Industria Nacional.

CAPITULO II

APLICACIONES ACTUALES DE LA METALURGIA DE LOS POLVOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

En la actualidad, es materialmente imposible analizar todas las piezas sinterizadas que permite fabricar la metalurgia de los polvos dentro de la industria nacional. Además de los materiales en polvo más comúnmente empleados como, cobre, hierro, carbón, cinc, etc., la pulvimetalurgia se aplica a productos que no pueden obtenerse con los métodos tradicionales, por ejemplo: filamentos de las lámparas incandescentes, herramientas de corte para trabajos a alta velocidad, contactos eléctricos, etc., los polvos metálicos empleados en estas piezas son a base de materiales refractarios, de los cuales se hablará más adelante.

Por lo expuesto, conviene clasificar las aplicaciones actuales, tomando en cuenta los polvos metálicos que se emplean como base en las diferentes mezclas, quedando como sigue:

- 2.1 Mezclas de [REDACTED] polvos a base de hierro.
- 2.2 Mezclas de [REDACTED] polvos a base de cobre.
- 2.3 Mezclas de [REDACTED] polvos a base de materiales refractarios.

En la Tabla II-A se da un resumen que demuestra el progreso registrado en los últimos años en la fabricación de piezas-sinterizadas.

AÑO	TOTAL DE PIEZAS DIFERENTES	VOLUMEN DE PIEZAS POR AÑO
1965	150	69,000
1968	400	750,000
1971	750	1'150,000
1973	1,200	1'500,000

TABLA II-A CUADRO ESTADISTICO DE LA PRODUCCION DE PIEZAS SINTERIZADAS.

Es de notar que el aumento en la producción de 1965 a 1973, es de un promedio de 80% al año, lo cual caracteriza a una industria joven y en pleno desarrollo.

La gran variedad de productos elaborados por medio de este proceso revolucionario, tienen aplicación en las diferentes industrias, como:

Industria Automotriz

Industria Eléctrica

Industria Textil

Industria Relojera

Industria Manufacturera de juguetes.

Industria Manufacturera de aparatos domés-
ticos.

Industria Manufacturera de aparatos de --
oficina.

Industria Manufacturera de aparatos eléc-
tricos.

La figura 2.a siguiente, muestra algunas de las piezas sin-
terizadas de diferentes materiales; en ella se aprecian en-
granés hechos con polvos a base de hierro, filtros, bujes -
autolubricados y chumaceras todos ellos de polvos a base --
polvos de cobre, también se observan piezas estructurales -
de polvos a base de hierro.

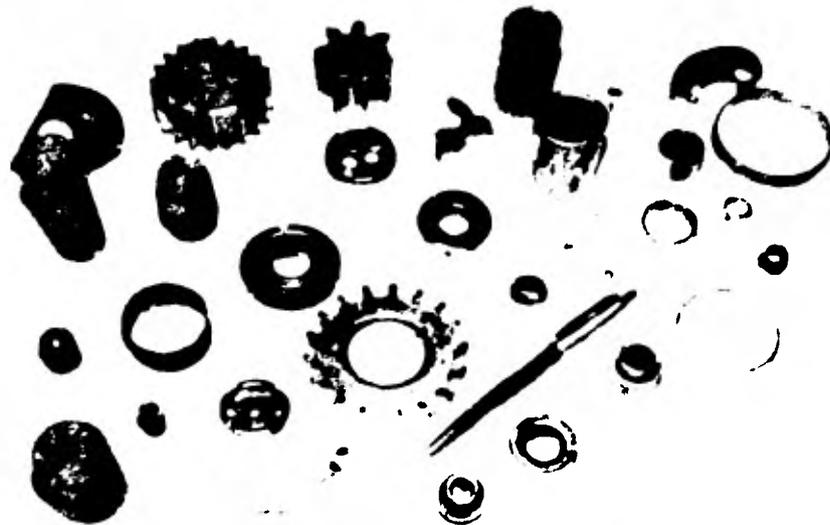


FIG. 2.a DIFERENTES PIEZAS SINTERIZADAS.

2.1 MEZCLAS DE POLVOS A BASE DE HIERRO

La calidad de los productos sinterizados a base de hierro está directamente relacionada con la naturaleza de los polvos que constituyen la mezcla; en la actualidad se obtienen, propiedades mecánicas muy constantes y esto es posible con la utilización de los tres métodos siguientes:

1. Empleo de hierro sinterizado con una densidad muy alta (de 7.2 a 7.5 gr/cm³) y con una carburación por medio de vías gaseosas.
2. Adición de polvos de cobre (de 5 a 7%) y de carbón o grafito (de 0.8 a 2%) a los hierros comunes y corrientes.
3. Infiltración por medio de cobre en las piezas porosas en hierro sinterizado.

El segundo de estos métodos permite, después de un sinterizado, hasta una temperatura de 1,150°C obtener piezas con una densidad de 6.8 gr/cm³ y una resistencia a la tracción que supera los 35 Kg/mm² y con un tratamiento térmico adecuado, se pueden alcanzar los 50 ó 60 Kg/mm². La resistencia que este tipo de productos ofrecen al desgaste por fricción, les permiten numerosas aplicaciones dentro de la industria nacional.

Lo anterior es un ejemplo de las múltiples composiciones posibles. Después de un tratamiento térmico adecuado pueden alcanzarse, en casos especiales, resistencias a la tracción mayores a los 70 Kg/mm² con respecto a las propiedades mecánicas mencionadas, a continuación damos unos ejemplos más:

1. Piezas con mezclas de polvos a base de hierro con adición de cobre (5 a 8%) y carbono (0.5 a 1%) sinterizadas a temperaturas de 1,100°C a 1,200°C, dan una resistencia a la tracción de 45 Kg/mm² y un alargamiento de 10 a 15%.
2. Piezas a base de polvos de acero, mezclados y sinterizados a temperaturas de 1,200°C a 1,350°C, proporcionan una resistencia a la tracción de 30 a 45 Kg/mm² y un alargamiento de 3 a 10%.
3. Piezas a base de acero dulce, sinterizadas a temperaturas de 1,150°C a 1,250°C, lográndose resistencias a la tracción de 16 a 22 Kg/mm² y un alargamiento de 5 a 16%.

Para este tipo de piezas, se emplean hornos de sinterizado con atmósferas reductoras a base de hidrógeno o amoníaco disociado en forma gaseosa; estas atmósferas controladas se adoptan particularmente en la fabrica-

-ción de piezas porosas, como filtros, bujes autolubri-
cados, etc.

Conviene mencionar las piezas porosas obtenidas por me-
dio de la metalurgia de polvos a base de hierro (mez_-
clado con otros materiales como cobre y grafito) y ci-
tamos a los bujes autolubricados, recomendados para em-
plearse donde las cargas son muy fuertes o medias y pa-
ra trabajos donde hay movimientos alternativos; por lo
general se adoptan preferentemente donde hay cargas --
fuertes con velocidades angulares medias o bajas y con-
tando además con una lubricación adicional, para su me-
jor funcionamiento; se requiere que los ejes estén tem-
plados y rectificados pudiendo alcanzar este tipo de -
piezas una resistencia a la tracción hasta de 80 Kg/mm².

En este tipo de productos sinterizados, se obtienen --
densidades de 5 a 5.6 gr/cm³ los que corresponden a --
una porosidad de 25 a 30% y con tolerancias bastantes-
cerradas.

Los tratamientos a que se someten algunos productos --
sinterizados con polvos a base de hierro son general_-
mente:

- a) El pavonado, que sirve para cerrar los poros que --
puedan haber en las piezas donde no se desea que --
existan.

- b) El cianurado o cianuración, que en forma muy particular permite obtener una mayor precisión en las piezas y mejor acabado.
- c) La infiltración, bastante empleada en las piezas porosas autolubricadas.

En la figura 2.b se muestran las propiedades mecánicas que pueden obtenerse con las diferentes mezclas de polvos férricos, así como algunas a base de polvos de cobre, de las que hablaremos en el subcapítulo siguiente.

De la figura 2.b siguiente podemos sacar como conclusión, que la principal aplicación de la pulvimetalurgia con polvos a base de hierro mezclados con cobre, carbono y otros en la fabricación de piezas de aplicación estructural en maquinarias tan diversas como en automóviles, rasuradoras eléctricas, máquinas de escribir, decoser, calculadoras, bicicletas, motocicletas, etc.

En la Tabla II-B están mostrados los consumos por año de polvos usados en la fabricación de piezas sinterizadas de hierro y sus mezclas con cobre y carbono.

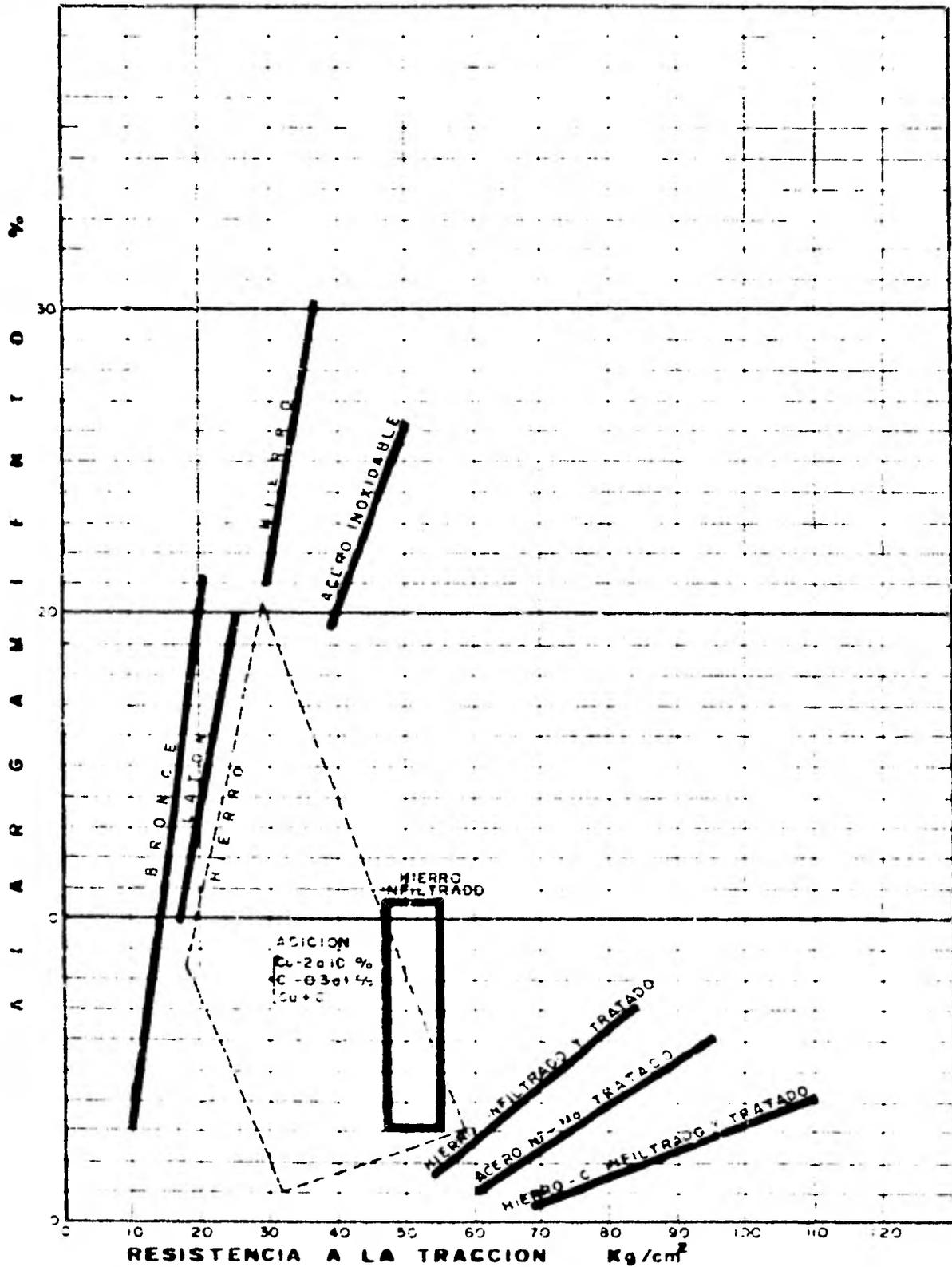


Fig. 2.b.- Propiedades mecánicas obtenibles con diferentes mezclas de polvos ferricos .

M A T E R I A L	CONSUMO Ton/Año
Polvos de hierro y acero	200
Polvos de cobre	100
Polvos de carbono	20

TABLA II-B CONSUMO ANUAL DE POLVOS

Este tipo de materia prima (polvos) no se produce actualmente en el país, por lo tanto es de importación y el consumidor debe proporcionar al fabricante todas las especificaciones que requiere cierta mezcla o el polvo puro para el posterior empleo en la producción y evitar así pérdidas que en algunos casos son costosas para el consumidor.

En el cuadro que a continuación se muestra, indicamos los porcentajes aproximados, empleados en la fabricación de piezas sinterizadas a base de polvos de hierro.

90 a 99%	Polvos de hierro.
2 a 20%	Polvos de cobre.
0.25 a 2%	Polvos de carbono.

Con estos porcentajes se hacen muchas combinaciones, dependiendo de las aplicaciones y propiedades mecánicas deseadas para el producto terminado; en la Tabla II-C se pueden ver los porcentajes más usados de cada tipo de polvo en la fabricación de algunas piezas, adq

-más están tabuladas las propiedades mecánicas tales como: densidad (D) en gr/cm³, resistencia a la tracción (R) en Kg/mm² y el alargamiento a la ruptura en % (A).

MATERIALES	APLICACION	COMPOSICION %	D gr/cm ³	R Kg/mm ²	A %
Hierro	Piezas estructurales.	99.2 Fe 0.8 C	5.8 a 6	21	1-3
Hierro Cobre Carbono	Piezas estructurales.	92 Fe 7 Cu 1 C	5.8 a 6	28	0.5
Hierro Cobre Carbono	Bujes auto lubricados	90.2 Fe 9.5 Cu 0.25 C	5.8 a 6	21	1-3

TABLA II-C CARACTERISTICAS DE ALGUNAS MEZCLAS PARA LA FABRICACION DE PIEZAS SINTERIZADAS A BASE DE POLVOS FERRICOS.

La figura 2.c muestra algunas de las piezas sinterizadas con polvos de hierro mezclados con los de cobre, carbono y otros: entre ellas observamos varios tipos de engranes, varias piezas estructurales para suspensión y amortiguadores, biela para máquina de coser, martillo para pistola y otras.

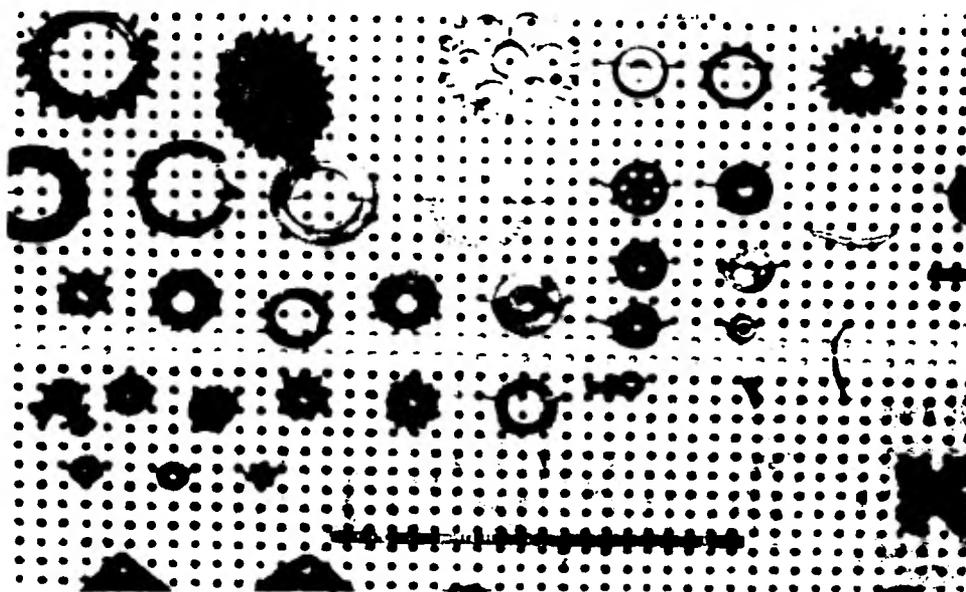


FIG. 2.c PIEZAS SINTERIZADAS CON POLVOS FERRICOS MEZCLADOS CON POLVOS DE COBRE, CARBONO Y OTROS.

Es tan grande y variada la producción de piezas sinterizadas que solo en la figura anterior mostramos algunas de ellas y a continuación enlistaremos otras, que sirven de referencia.

1. Piezas para amortiguadores y suspensión
2. Engranés para bombas de aceite o agua.
3. Cilindros y martillos para pistolas revólver.
4. Piezas pavonadas para compresores de uso industrial o doméstico.

5. Bujes autolubricados para todos usos.
6. Bielas para máquinas de coser.
7. Engranés y piezas estructurales para cerraduras.
8. Partes estructurales para lavadoras, licuadoras, -
etc.

9. Chumaceras para todos usos.
10. Bujes para motores limpia-parabrisas, etc.

2.2 MEZCLAS DE POLVOS A BASE DE COBRE.

Las piezas que se producen en la industria nacional -- con polvos a base de cobre, corresponden al 45% del total de piezas hechas con estos polvos, a los bujes y chumaceras autolubricadas, filtros y piezas diamantadas de latón.

El consumo de este tipo de polvos, así como de los -- otros que se usan para hacer las mezclas (estaño, plomo y carbono), es aproximadamente el mostrado en la Tabla II-D siguiente.

M A T E R I A L	CANTIDAD Ton/Año
Polvo de Cobre	155
Polvo de Estaño	35
Polvo de Plomo	35
Polvo de Carbono	20

TABLA II-D CONSUMO ANUAL DE DIFERENTES POLVOS USADOS CON LOS DE COBRE.

La mayoría de los consumidores de este tipo de materia prima prefiere pedir al fabricante las mezclas de polvos para que se les surtan ya preparados y usarlos inmediatamente en la producción, para ello es necesario aportar las especificaciones correctas, para asegurar la cantidad del producto final.

La Tabla II-E muestra las proporciones en que se hacen generalmente las mezclas de estos polvos, que son muchas combinaciones posibles considerando las propiedades que debe tener el producto final; gracias a esta flexibilidad en el manejo de esos porcentajes es posible obtener densidades de 5.6 a 8 gr/cm³ con resistencias a la tracción de 6 a 20 Kg/mm² y con un alargamiento de 1 a 15% (ver figura 2.b).

M A T E R I A L	PORCENTAJES EN LA COMPOSICION DE LAS MEZCLAS.		
Polvo de Cobre	80	a	90%
Polvo de Estaño	8	a	10%
Polvo de Plomo	8	a	10%
Polvo de Carbono	1	a	3%

TABLA II-E PORCENTAJES DE POLVOS ESPECIFICADOS NORMALMENTE POR EL CONSUMIDOR.

Para constatar lo antes dicho, en la Tabla II-F se exponen las principales mezclas usadas en la manufactura de piezas sinterizadas con polvos a base de cobre; en dicha Tabla podemos observar los porcentajes que cada tipo de pieza requiere para lograr determinada densidad (D en gr/cm³), resistencia a la tracción (R en Kg/mm²) y alargamiento a la ruptura (A en %); permitiendo obtenerse piezas que cumplen con las especificacio-

-nes deseadas y seguridad en el uso a que están destinadas.

MATERIALES	APLICACIONES	COMPOSICION %	D gr/cm ³	R Kg/mm ²	A %	
Bronce	Bujes y chumaceras auto lubricados.	87-88 9-10	Cu Sn	5.8-6	6	1
Bronce	Bujes y chumaceras.	87-90 8-9.7 1-2	Cu Sn C	6.5-7	10	1
Bronce	Piezas estructurales.	88-90 9.8-11 1-2	Cu Sn C	6.5-7	11-13	2-3
Latón	Piezas estructurales.	78-82 8-10	Cu Pb	7.2-8	14	9
Latón	Piezas estructurales, accesorios y otros.	77-88 8-9	Cu Pb	8-9	16	10

TABLA II-F PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS MAS USADAS CON POLVO A BASE DE COBRE.

En la sinterización de este tipo de piezas, se emplean temperaturas comprendidas entre 800°C y 870°C, las atmósferas reductoras son a base de hidrógeno gaseoso.

La Tabla II-G indica en forma aproximada las clases de piezas de este tipo y los volúmenes anuales de producción constatando la demanda que tienen, en su extenso uso dentro de todos los tipos de industrias, ya que -- dentro de este tipo de piezas encontramos piezas porosas como los bujes autolubricados y los filtros y las-

no porosas como engranes, piezas estructurales, etc.

AÑO	TIPOS DIFERENTES DE PIEZAS	VOLUMEN DE PIEZAS/AÑO
1966	70	20,000
1968	160	140,000
1972	800	1'000,000

TABLA II-G VOLUMEN DE PRODUCCION ANUAL Y TIPOS DIFERENTES DE PIEZAS SINTERIZADAS CON POLVOS A BASE DE COBRE.

La figura 2.d muestra algunas de estas piezas, pudiendo observarse, filtros, bujes y chumaceras autolubricadas.

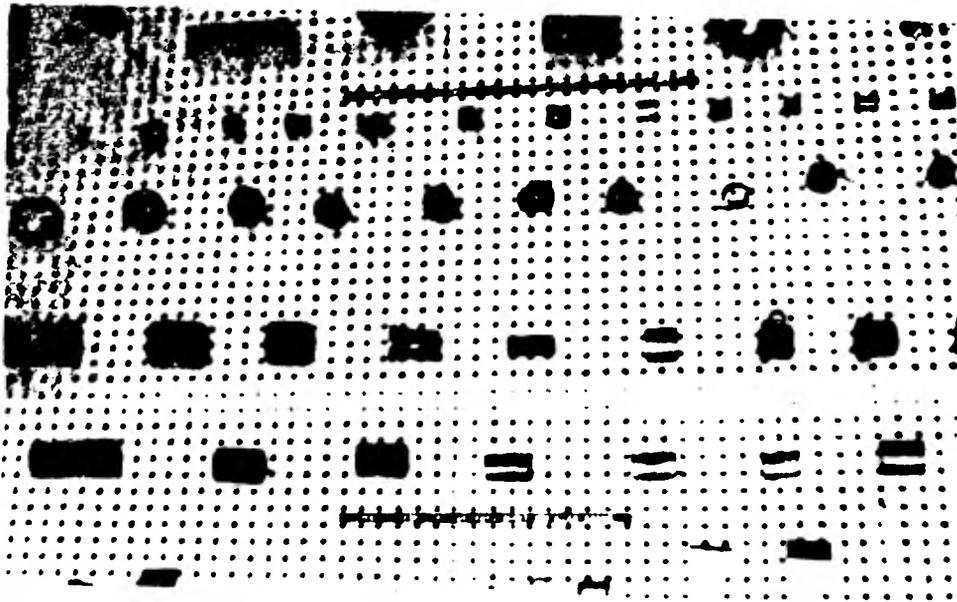


FIG. 2.d PIEZAS SINTERIZADAS CON POLVOS A BASE DE COBRE.

Los bujes autolubricados hechos con polvo de cobre y sus mezclas, proporcionan gracias al sinterizado una porosidad de un 25 a un 30% del volumen total de la pieza y las densidades obtenibles están entre 6 y 6.5-gr/cm³, obteniendo tolerancias comparables con las obtenidas por medio del proceso de rectificado.

Este tipo de piezas se someten a la impregnación e infiltración de los aceites que deben contener en sus poros, a temperaturas de 70°C al vacío, para eliminar así el aire que contienen en sus poros, permitiendo la entrada del aceite caliente en ellos, sin dificultad; la cantidad de aceite que queda confinada en la masa de la pieza es suficiente para la vida entera de la máquina.

Cuando entra en funcionamiento la máquina que tiene este tipo de pieza, la elevación de la temperatura ayuda a la exudación del aceite contenido en los poros y al dejar de funcionar y enfriarse, el aceite es absorbido de nuevo por el buje debido a la capilaridad; este tipo de piezas es recomendable para usarse donde las velocidades de funcionamiento son elevadas y las cargas sean débiles, por lo que se tiene que tomar en cuenta, que tanto las flechas, árboles y ejes que soportan deben tener la misma dureza y acabado superficial, que -

los habitualmente empleados en los cojinetes de bronce ordinario.

Las ventajas que se obtienen sobre los otros bujes es que son piezas económicas y en su funcionamiento son muy silenciosos por ello su gran demanda además de su ventaja sin igual, el de ser autolubrificantes.

En la figura 2.e se muestran algunos tipos de bujes y chumaceras autolubricados muy usados en la industria nacional los hay para todo tipo de uso desde los usados en motorcitos eléctricos para tocadiscos, licuadoras, máquinas de escribir hasta los de uso automotriz o para ejes y flechas de servicio pesado o industrial con lubricación adicional.



FIG. 2.e BUJES Y CHUMACERAS AUTOLUBRICADOS SINTERIZADOS CON POLVOS DE COBRE.

Las piezas porosas sinterizadas en segunda importancia, lo son los filtros de uso automotriz e industrial hechos con polvos de cobre, con ellos es posible filtrar cualquier fluido como sustancias químicas líquidas, combustibles, gases, líquidos, etc.

Usando otros materiales para formar las mezclas con los polvos de cobre es posible proporcionar a las piezas porosas sinterizadas de este tipo (filtros) las características siguientes:

- a) Permeabilidad elevada.
- b) Uniformidad en su textura porosa (diámetros de los poros de 0.02 a 100 micrones).
- c) Propiedades mecánicas favorables (resistencia al choque, ductilidad, tenacidad, etc.).
- d) Desobstrucción fácil y buena retención de las partículas sólidas.
- e) Estabilidad a los cambios térmicos, a la corrosión seca y a la ocasionada por los fluidos.

Algunas de las ventajas de estas piezas son las siguientes:

- a) Resistencia a un funcionamiento muy prolongado, sin necesidad de reemplazárseles, sólo requieren de lavar

-do y hacer pasar aire a presión por ellas.

- b) Funcionan eficazmente dentro de un rango grande de temperaturas contenidas por los fluidos que filtran.
- c) Filtrado confiable dentro del rango del diámetro de las partículas comprendidas desde 18 o más micrones de diámetro.
- d) Se logran porosidades hasta un 40 a 50% del volumen total de la pieza.
- e) Así como resistencias mecánicas de 7 a 37 Kg/cm².
- f) Soportan temperaturas desde los 300°C a 750°C, y otras.

En la figura 2.f se muestran algunos tipos de filtros de uso automotriz e industrial.



FIG. 2.f TIPOS DE FILTROS MAS USADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

2.3 MEZCLAS CON POLVOS A BASE DE MATERIALES REFRACTARIOS.

2.3.1 Mezclas con polvos a base de carburo de tungsteno. El uso de polvos de materiales refractarios como el carburo de tungsteno (WC) en la producción nacional de piezas mecánicas y principalmente de herramientas de corte para el consumo industrial, es muy amplio; mezclando los polvos de WC con otros como los de carburo de titanio (TiC) y carburo de tantalio (TaC) así como polvos de cobalto, cobre y níquel es posible obtener herramientas de corte de calidad insuperables, aplicables a un número mayor de trabajos.

Como el carburo de tungsteno es un material muy duro superado sólo por el diamante, con un punto de fusión muy alto (3,370°C), para poder trabajarlo y manejarlo se ha recurrido a la metalurgia de polvos aunado a esto los avances logrados en este campo es posible en la actualidad producir piezas mecánicas y herramientas de corte con relativa facilidad, alta calidad y funcionabilidad.

Los productos fabricados con estos materiales y sinterizados han tenido gran aceptación en el --

campo industrial nacional siendo las herramientas de corte las de uso mas extendido que las piezas-mecánicas, por la gran cantidad de máquinas herramientas con que cuenta la industria.

Las mezclas más usadas por los fabricantes de este tipo de productos son las mostradas en el cuadro siguiente:

M A T E R I A L E S	P O R C E N T A J E S	
Polvos de WC y Co	93% WC	7% Co
Polvos de WC y TaC	90	8 TaC
Polvos de WC y TiC	95	4 TiC
Polvos de WC y Cu	97	2 Cu

y el porcentaje restante de estas mezclas, corresponde a los diferentes aglutinantes que se emplean en la manufactura.

Se usan este tipo de mezclas porque con ellas se logran obtener propiedades especiales en el producto final, que permiten su aplicación confiable y satisfactoria.

Las densidades que con dichas mezclas se logran, están comprendidas entre 17 y 20 gr/cm³, con resistencias de 60 a 70 Kg/mm².

Estas mezclas de polvos para trabajarse y obtener las piezas o herramientas deseadas, se someten - primeramente a prensados (prensa hidráulica) con presiones de 3 a 5 Ton/cm², se pre-sinterizan a temperaturas de 700°C a 1,100°C y el sinterizado final es a temperaturas de 1,400°C a 1,700°C; las atmósferas empleadas para el pre-sinterizado y - sinterizado son a base de hidrógeno (atmósfera - reductora) o de nitrógeno (atmósfera inerte).

Los principales productos elaborados con este ti po de polvos, se pueden clasificar como sigue:

- a) Herramientas de corte para todos usos.
- b) Piezas mecánicas especiales.
- c) Matrices de prensado.
- d) Dados para estiraje de metales.
- e) Filamentos para lámparas incandescentes.

Y muchas otras piezas de consumo industrial.

En esta rama de la aplicación de la pulvimetalur g ia a polvos de carburo de tungsteno, nos encon- tramos que la demanda de los productos obtenidos es muy grande y el cuadro que se presenta a conti nuación nos puede dar una idea de la demanda.

AÑO	TIPOS DIFERENTES DE PIEZAS	VOLUMEN DE PIEZAS/AÑO
1966	50	40,000
1969	100	150,000
1972	270	350,000

Esta materia prima, es necesariamente importada y como en los otros subcapítulos hemos indicado, el consumidor tiene que hacer los pedidos rigurosamente especificando para que se usará el polvo que solicita ya preparado aunque hay veces en que se solicita polvo sin mezclar, para ello se menciona a continuación algunos de los grados de -- polvos de WC usados comúnmente en nuestra industria.

Clasificación por grados de los polvos y mezclas de carburo de tungsteno:

- a) Grado para corte de materiales ferrosos, no ferrosos y no-metálicos. El carburo de tungsteno mezclado con el cobalto en polvos, con una relación de 90 a 93% WC y de 5 a 6% Co le da al producto final una resistencia buena al desgaste, a la ruptura y más durabilidad.

En el corte de piezas de hierro fundido, meta

-les no ferrosos y materiales no-metálicos -- donde la rebaba formada en la cara superior de la herramienta no es dura ni continua y -- además se tiene un desgaste constante en el flanco de la herramienta, el carburo de tungsteno es el material más indicado para efectuar dicho trabajo.

En la elaboración de herramientas de corte es común usar una mezcla en proporción de 93% de WC y 7% Co para efectuar este tipo de trabajo en dichos materiales, cubriéndose con ellas el 80% de las operaciones; para efectuar trabajos con acabado fino en los materiales antes mencionados a este tipo de mezclas se le pone un menor contenido de Co.

- b) Grado para el corte de aceros. Para el corte de aceros es necesario considerar el desgaste abrasivo lateral de la herramienta, como en el caso del corte de fierro colado, sin embargo debido a que se forman virutas continuas y duras en la cara superior de la herramienta, se crean presiones muy grandes que elevan la temperatura de operación y fuertes fricciones pudiendo fallar la herramienta ya que se for-

-man ranuras en la parte superior de la misma, esto hace ineficaces las herramientas hechas con grados que contengan WC y Co, por lo que se recurre a las mezclas de WC y TiC en proporciones de 95% WC y 5% TiC o a las mezclas de WC y TaC en relación de 92% WC y 6% TaC.

Con estas nuevas mezclas es posible reducir considerablemente la fricción, temperatura de operación y la formación de ranuras.

Ya que existe un número muy grande de aplicaciones para este tipo de herramientas en el trabajo de los aceros, el grado de uso general es proporcionado por las mezclas de WC y TiC en relaciones de 95 a 5% y de WC con TaC en relaciones de 95 a 4%, cubriéndose con ello el mayor número de operaciones.

Existe un rango medio en este grado donde las relaciones de los polvos de WC y TaC es de 92 a 6% lográndose con estas herramientas cortes muy finos.

- c) Grado para dados de estiraje. Los grados mencionados anteriormente, tienen una aplicación muy grande ya que además de permitir trabajar muchos materiales comerciales es posible usar

los tipos de mezclas que los constituyen para fabricar otros tipos de herramientas para operaciones mas especificas, como lo son el estiraje de metales diversos, donde el dado sufre un desgaste muy grande, para ello se recurre a los grados antes descritos con algunas variaciones, por ejemplo se usan de ambos grados unas mezclas con polvos de WC, Co, TaC y TiC en proporciones de 95% WC, 2% Co y 4% de TaC con TiC.

- d) Grado para herramientas sometidas a impactos. Debido a que para esta operación se necesita que la pieza tenga una resistencia tal a los esfuerzos radiales provocados por el cabeceo en frío y tener una buena resistencia al desgaste, es necesario recurrir a las mezclas de WC y Co en proporciones de 93% WC y 6% Co, se caracteriza este grado por tener un alto contenido de cobalto, suficiente para resistir lo antes mencionado.
- e) Grado para estampado. Estos grados se diseñan para cubrir las aplicaciones de estampado y perforado en materiales suaves y delgados, donde las proporciones son de 94% WC, -

3% Co y 3% de otros materiales.

f) Grados para aplicación en Minería y percusión. Esta serie de grados, se aplican para elaborar las herramientas empleadas en la minería, en la cual se requiere de una resistencia bastante considerable a la ruptura y las mezclas para dichos grados están en proporciones de 93% WC a 95% WC, 7 a 8% Co, 6 a 8% TiC y 5 a 7% TaC.

El consumo de estos polvos para la industria nacional del ramo, está indicado aproximadamente en la siguiente tabla II-H, de entre los polvos diferentes que se consumen en el país por las industrias, este es uno de los más caros por lo que es necesario tratar de recuperar los excedentes antes de que las piezas defectuosas sean sintetizadas.

M A T E R I A L	CONSUMO Ton/Año
Polvos de WC	200
Polvos de Co, TiC, TaC	70
Polvos de Cu	30

TABLA II-H CONSUMO ANUAL DE POLVOS

En la figura 2.8 se muestran algunas de las piezas sinterizadas con WC y sus mezclas con otros materiales, en ella se observan algunas pastillas para buriles, buriles terminados, brocas, dados para estiraje y puntos fijos para torno.

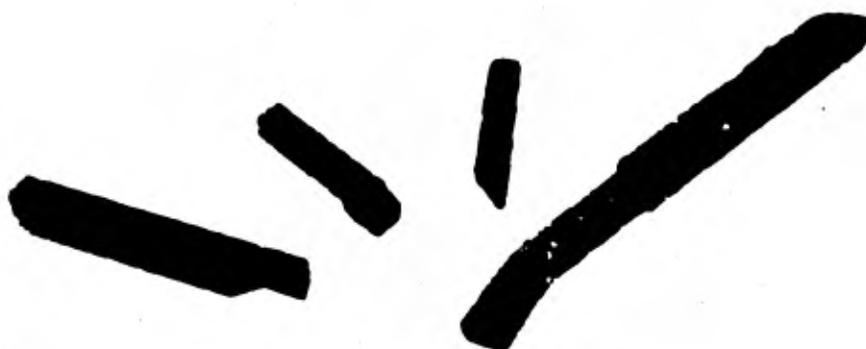


Fig. 2.8 PIEZAS SINTERIZADAS CON POLVOS DE WC Y OTROS MATERIALES.

Para complementar lo de la figura 2.8 mencionaremos, algunas de las herramientas de corte más usadas en la industria.

Pastillas intercambiables para buriles.

Buriles para rectificar bielas y cilindros, ranurados para todo tipo de cortador, intercambia--

-bles para cortadores estandar, etc.

Buriles micrométricos para barras interiores, --
Chipstream.

Discos sólidos y con barrenos.

Barras sólidas de WC para cilindrado interior.

Cuchillas para cortar tubos, varillas y barras.

Cortadoras de buriles intercambiables y soldados.

Brocas para concreto y perforar balatas.

Puntos fijos con insertos de WC.

Dados de estiraje redondos para alambre, barras-
y tubos.

Etc., etc.,

2.3.2 Mezclas de materiales refractarios y otros con diamante. En esta sección trataremos de los productos sinterizados hechos con mezclas de materiales refractarios, principalmente, y otros como el cobre, fierro, aluminio y resinas sintéticas con diamante en cualquiera de sus formas (al natural, lapidado, sintético y en polvo).

Estas mezclas con diamante se usan principalmente para la fabricación de herramientas de corte, -- rectificado, afilado, perfilado y piezas especiales: son productos de alta calidad, confiabilidad en su uso y duración mas prolongada que -- otros tipos de herramientas.

En el país se empezó a fabricar este tipo de herramientas en el año de 1969, ya que para entonces era costoso el trabajar el diamante gracias a la pulvimetalurgia; considerando que el diamante es el material ideal para trabajar metales -- muy duros y con los adelantos logrados en el campo de la pulvimetalurgia se han logrado resultados muy satisfactorios al elaborar herramientas -- muy funcionales con diamante.

Como es bien sabido, el diamante es el material -- más duro que existe y es el escogido para dese--

-peñar los trabajos mas complicados sobre metales duros, los cuales no podrian ser trabajados con herramientas de otros tipos, con las que se obtendrian resultados poco satisfactorios y muy costosos los procedimientos de manufactura.

Por tal motivo se ha llegado a la fabricacion de herramientas diamantadas sinterizadas de muy alta calidad y precision, siendo sus aplicaciones muy extensas dentro de la industria por lo que se ha ido incrementando el empleo de las mismas en la industria nacional, ya que su uso da como resultado acabados muy finos, facilidad para trabajar cualquier tipo de material duro pero tienen un costo más elevado en relación con otro tipo de herramientas fabricadas con otros materiales, como las de WC con Co ó las de aceros rápidos, pero el precio de las mismas queda amortizado por la gran duracion que tienen.

La gran variedad de herramientas fabricadas con este tipo de mezclas, es muy grande y los diseños de las mismas son especificos, ya que para cada trabajo y material se requiere una herramienta de diseño especial, para poder aprovechar al máximo el diamante.

Considerando la naturaleza de este tipo de herramientas, que son muy finas, precisas y costosas, su aplicación es cada día mayor en nuestra industria, por lo que su producción se ha incrementado como lo indica la Tabla II-I, cuya producción mensual ha ido en aumento porque cada día se va conociendo la ventaja sobre los otros tipos de herramientas tradicionalmente usadas.

Por ejemplo, los diversos sistemas más o menos rudimentarios que se usaban para el rectificado de muelas abrasivas por los múltiples ensayos -- que se hicieron, se llegó a la conclusión que -- las herramientas verdaderamente eficientes son -- las de diamante.

AÑO	PRODUCCION MENSUAL APROXIMADA
1969	500 Piezas
1971	1,000
1973	1,500

TABLA II-I PRODUCCION MENSUAL DE HERRAMIENTAS DIAMANTADAS.

El diamante usado en la fabricación de estas herramientas, como todas las materias primas de -- consumo en la industria de los polvos, tienen --

que ser importados por ejemplo los diamantes naturales de Brasil y Sudáfrica, los sintéticos y en polvo de Holanda, siendo la compañía Phillips la fabricante y de los Estados Unidos es la General Electric la compañía productora.

Para la fabricación de estas herramientas, se usan varias clases de diamantes, por lo general estos diamantes no son de la calidad como los empleados en joyería, sino que tienen una pureza regular que satisface las necesidades para uso industrial.

Se les emplea en forma natural para aprovechar sus formas, ángulos y aristas, sus puntas naturales y por contener una capa exterior que siempre es más dura que el núcleo; cuando se quiere obtener alguna forma determinada en la pieza a fabricar, se usan diamantes naturales lapidados a los cuales se les tallan ángulos relativamente agudos, operación por demás complicada y laboriosa.

En la fabricación de este tipo de herramientas es común el empleo de mezclas en polvo de carburos de tungsteno y cadmio, cobalto, cobre, aluminio, estaño y resinas sintéticas con diamante en cualquiera de sus formas ya mencionadas.

El proceso de fabricación es similar al empleado en los otros ramos de la pulvimetalurgia, sólo existen pequeñas variantes como lo es en la elaboración de las brocas usadas en la perforación de pozos petroleros; aquí se usa un molde negativo de la broca, en este molde se van colocando uno por uno los pequeños diamantes en sus cavidades correspondientes, en ellas quedan fijos mediante un pegamento, luego se arma la otra parte del molde, se le agrega polvo de carburo de tungsteno, se prensa a presiones de 14 a 180 Kg/mm² y se les sinteriza a temperaturas de 900°C a 1,150°C. Este tipo de moldes son desechables ya que están hechos de grafito, mediante la acción de un ácido se recupera algo del grafito para volver a usarlo en la fabricación de nuevos moldes. En esta misma forma se hacen los rectificadores llamados de conglomerado puesto que es en realidad un conglomerado de pequeñas partículas de diamante mezclado con polvos de WC y Co.

En el caso de herramientas como los rectificadores para muelas con uno o varios diamantes naturales el proceso es que se sinteriza el diamante con polvos de WC, Co, Cu ó SiC y luego se les monta en zancos soldándose con soldadura a base-

de plata; la misma operación se efectúa cuando se trata de diamantes lapidados.

Cuando se trata de buriles el proceso es más laborioso y complicado, ya que estas herramientas están estrictamente sometidas a diseños específicos por lo tanto deben de llenar las especificaciones del solicitante; en el lapidado que es el primer paso se tallan los ángulos cuidadosamente y bajo un control riguroso, luego se les sinteriza con mezclas de polvos a base de WC, cobalto, cobre y fierro (según el uso final que se le dará a la pieza), finalmente se les monta en zancos donde se alinean a estas pastillas quedando fijas mediante la soldadura o removibles; se les usa generalmente a este tipo de herramientas para trabajar metales preciosos en joyería o en bisutería, vidrio, etc'.

En la manufactura de herramientas con diamante sintético y en polvo, como muelas para afilado, limas, cortadores de vidrio, etc., el proceso a seguir, por ejemplo con las muelas para afilado de herramienta, es el de efectuar la mezcla del polvo de diamante con otro material como el carburo de silicio y cadmio para formar las superfi

-cias que estarán en contacto con la herramienta de afilar, para ello se usan moldes en los que después de haber hecho perfectamente la mezcla de los materiales antes indicados se introducen en dicho molde, se somete a prensado y a un pre-sinterizado, con presiones de 100 a 125 Kg/mm² y temperaturas de 160°C a 170°C ambas operaciones se efectúan en una máquina que consta de prensa y resistencias eléctricas. Luego se coloca en el mismo molde polvos de aluminio, cobre, bronce, fierro o resinas sintéticas que darán la forma o corazón a la muela, en la misma máquina se prensa y se sinteriza en hornos de sinterizado con atmósferas reductoras a base de hidrógeno, las presiones y temperaturas empleadas en esta etapa final, son de 14 a 125 Kg/mm² y de 700°C a 900°C.

Como en todo proceso, a veces es necesario que las herramientas así obtenidas requieran de un maquinado final, pero no es aplicable a todos los casos.

En la Tabla II-J están tabulados el consumo aproximado de los polvos usados en esta rama de la metalurgia de polvos son valores aproximados ya que varía mucho el uso de diamantes de una herra

-mienta a otra, las herramientas que más diamante necesitan son las brocas para perforación petrolera, por cierto son muy caras y se producen en exclusiva para Petróleos Mexicanos.

M A T E R I A L	CONSUMO MENSUAL APROXIMADO
Polvos de WC	600 Kg
Polvos de Co	200
Polvos de Cu y Sn	200
Polvos de Al, SiC y Fe	350
Resinas sintéticas	150

TABLA II-J CONSUMO MENSUAL DE POLVOS PARA FABRICAR HERRAMIENTAS DIAMANTADAS.

La Tabla II-K indica las temperaturas de presinterizado y sinterizado, así como las presiones que se usan en la fabricación de este tipo de herramientas.

M A T E R I A L	PRESINTERIZADO °C	SINTERIZADO °C	PRENSADO Kg/mm ²
Diamante-WC		900-1500	14-180
Diamante-Co		900-1500	14-180
Diamante-Cobre		700- 900	125
Diamante-Hierro		700- 900	125
Diamante-SiC y CoC	160-170	700- 900	125

TABLA II-K TEMPERATURAS DE PRE-SINTERIZADO, SINTERIZADO Y PRESIONES USADAS EN LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS DIAMANTADAS.

Debido a que la variedad de herramientas de esta clase, es muy amplia, los fabricantes no pueden hacerlas en serie pues generalmente los consumidores que las solicitan acompañan con su petición especificaciones, diseño y tolerancias por lo -- que en casos muy especiales es posible ofrecer - al consumidor herramientas estandar, como lo -- son:

1. Cortadores de vidrio.
2. Limas diamantadas.
3. Muelas para afilado de herramientas.
4. Rayadores de vidrio.
5. Diamantes para durómetros.

2.3.3 Mezclas con polvos de materiales refractarios y otros para la fabricación de contactos eléctricos. Continuando con las aplicaciones de las mezclas con polvos de materiales refractarios y otros, tenemos que hacer mención por su importancia dentro de la industria nacional, de la fabricación con estas mezclas de los contactos eléctricos tanto para uso industrial, doméstico y electrónico que nos ha hecho considerar el presente subcapítulo.

En la elaboración de este tipo de dispositivos se recurre a la pulvimetalurgia ya que por medio de ella es posible manejar materiales como el tungsteno, molibdeno, níquel, cadmio y magnesio en forma de óxidos o carburos, agregándoles a estos materiales en polvo, otros como plata, cobre, hierro y carbono para lograr un producto final con características apropiadas o excelentes para resistir la acción del flujo eléctrico.

Con la metalurgia de polvos es posible que las piezas fabricadas, en este caso contactos eléctricos, tengan las siguientes características generales:

a) Alta conductividad eléctrica y térmica.

- b) Resistencia a soldar y al arco eléctrico.
- c) Resistencia al desgaste mecánico.
- d) Alta resistencia a la oxidación.

Con el tungsteno, molibdeno y sus respectivos -- carburos, se tienen materiales con un alto punto de fusión (el tungsteno tiene $3,410^{\circ}\text{C}$), una gran dureza, resistencia muy grande al desgaste y re-ducida oxidación.

Con la plata y el cobre, se tienen materiales de bajo punto de fusión (la plata tiene 960°C), pe-ro una alta conductividad eléctrica y térmica. - gran tenacidad, reducida tendencia a oxidarse y -baja resistencia superficial.

Los materiales semi-refractarios, como los óxi-- dos de cadmio, níquel y magnesio, se consigue -- una regular conductividad eléctrica y térmica re-foradas con agregados de otros materiales; presen-tan gran resistencia a soldar y adherirse, en un grado menor, que los otros materiales menciona-- dos.

Un contacto eléctrico, es un dispositivo cuya -- función principal es la de cerrar o abrir un cir-cuito, o interrumpir el paso del flujo eléctrico

en el mismo, y esta es una función en la que se requiere funcionalidad y resistencia, solamente lograda satisfactoriamente con el empleo de materiales tales como los aquí descritos y procesados mediante la metalurgia de los polvos.

Estos dispositivos son de muchas formas, tamaños y características, de uso muy extenso, como por ejemplo:

- a) Para alta y baja tensión en la industria eléctrica.
- b) Como partes en aparatos eléctricos de uso industrial y domésticos.
- c) Partes especiales usadas en electrónica.
- d) Partes eléctricas de uso automotriz.

Los fabricantes de este tipo de dispositivos, en el país, tienen que importar la mayoría de estos materiales a excepción de los polvos de plata -- que son fabricados en el país por el proceso electrolítico, lográndose polvos de muy buena calidad pudiendo ser mejorada según se desee mayor calidad en el producto final.

En la Tabla II-L se indican algunos datos referen

-tes a las presiones y temperaturas generalmente usadas en la manufactura de estos dispositivos.

MATERIALES	SINTERIZADO °C	PRENSADO Ton/cm ²
W y Plata	1000 a 1400	1 a 5
W y Cobre	1100 a 1450	1 a 5
WC y Plata	1000 a 1400	1 a 5
Ag y CdO	320 a 900	1 a 5
Ag y NiO	1400	1 a 5

TABLA II-1. TEMPERATURAS DE SINTERIZADO Y PRESIONES EMPLEADAS EN LA MANUFACTURA DE LOS CONTACTOS ELECTRICOS.

El proceso a seguir en la elaboración de estos dispositivos es similar al empleado en la fabricación de las herramientas de WC mencionadas en el subcapítulo 2.3.1 solo que en esta manufactura se recurre a ingeniosas variantes como por ejemplo en los contactos de uso automotriz, se tiene que el disco de tungsteno y plata sinterizado, se tiene que adherir a un soporte en el cual se remacha o atornilla para después ensamblarse al dispositivo donde se usará; otra consiste en que la parte funcional, podríamos decir pastilla, se inserta o ensambla en estructuras especialmente diseñadas para contenerlas, este ensamble se hace por soldadura o base de plata o en

otros casos se prensan, pre-sinterizan y sinterizan y finalmente se obtiene el contacto completo listo para colocarlo en el dispositivo que lo -- usará.

Los procedimientos usados en la fabricación de estas herramientas son además del sinterizado, el infiltrado de las mismas de un material base, con menor punto de fusión esto se hace con el -- fin de anular la porosidad, aumentar la conducti- vidad y la resistencia al arco eléctrico, dicha- infiltración se hace a temperaturas de 1,100°C a 1,500°C; este proceso conocido como sinterizado- -infiltrado se usa cuando se desea obtener mate- riales con una escala de refráctarios del 35 al- 85% por volumen, cuando el volumen de refracta- rio es menor del 35%, es necesario emplear el mé- todo de prensado, sinterizado y reprensado.

El empleo de los materiales antes mencionados, - en la fabricación de estos dispositivos, y la -- aplicación del sinterizado han permitido que éstos tengan propiedades tales como buena conducti- vidad eléctrica, gran resistencia mecánica, a la erosión, a soldarse y adherirse y es posible gra- cias a las mezclas de dichos materiales; en la -

-figura 2.h se muestra cómo varía la densidad de estos materiales (cobre, plata y tungsteno) en relación a su composición.

Cuando se desea una alta conductibilidad eléctrica, se logra agregando a las mezclas polvos de plata o cobre y si se desea mayor dureza o resistencia al soldado, debe de reducirse las cantidades de plata o cobre.

Al emplearse el método de la pulvimetalurgia en la manufactura de estos dispositivos, es posible obtenerse perfiles, radios y formas especiales, lográndose en algunos casos eliminar el maquinado final que es costoso.

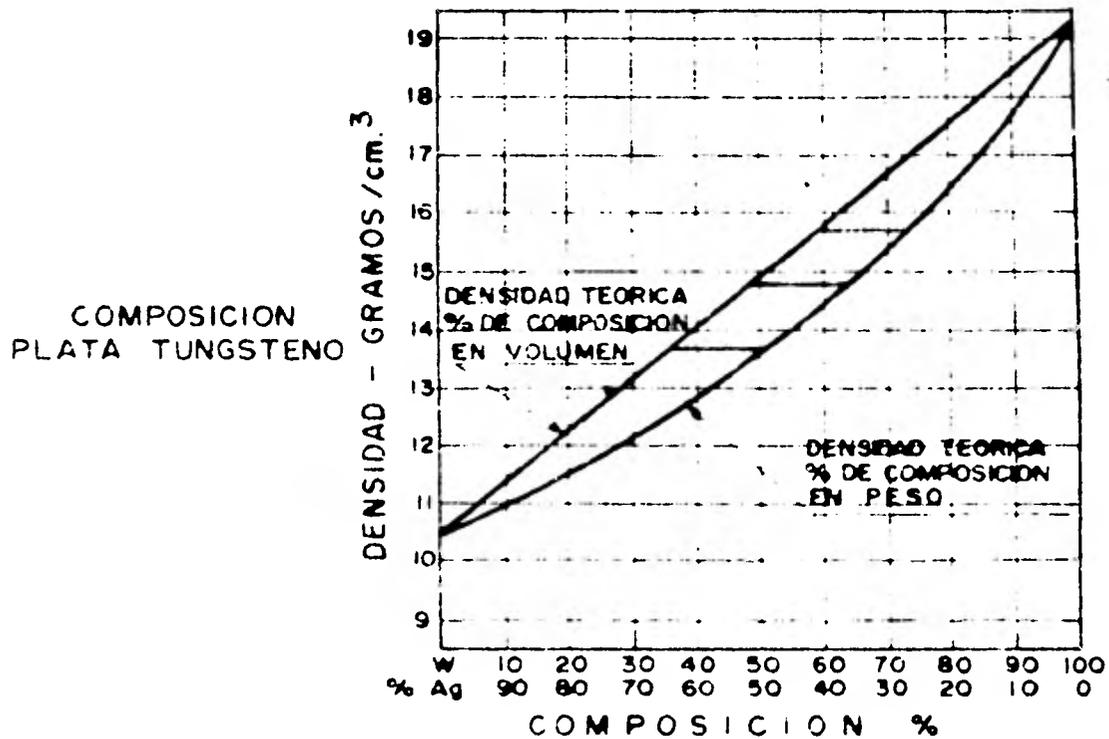
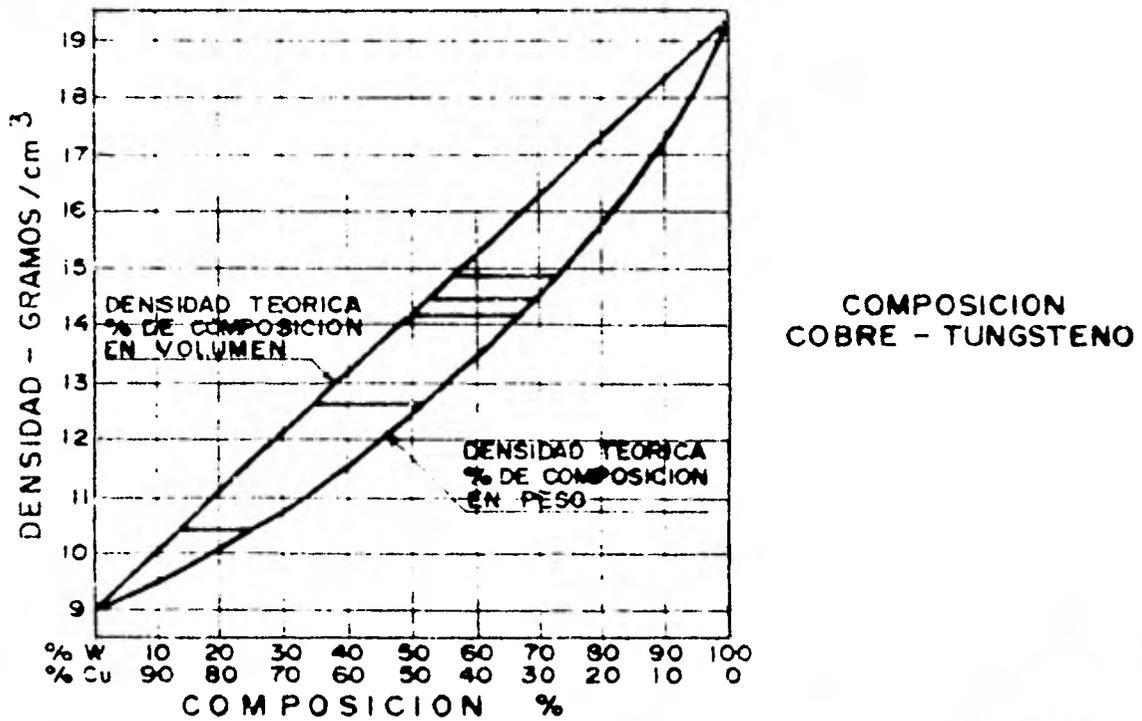


FIG 2 h - VARIACION DE LA DENSIDAD EN LAS COMPOSICIONES
COBRE - TUNGSTENO Y PLATA - TUNGSTENO

2.3.3.A Mezclas de plata con carburo de tungsteno.

El empleo de este tipo de mezcla, plata-carburo de tungsteno, es porque el carburo presenta mas estabilidad, resistencia a la corrosión y un grado mas bajo de oxidación que el tungsteno; al mezclarse con la plata, ésta proporciona características que en el producto final -- son definitivas, como:

- a) Alta dureza.
- b) Buena resistencia a soldar y al arco eléctrico.
- c) Alta capacidad para conducir e interrumpir la corriente, en condiciones de corto circuito.

La Tabla II-M muestra las principales proporciones en las mezclas y características logradas con las mismas.

% WC	% Ag	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I. A. C. S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA (Kg/cm ²) A RUPTURA
35	65	57	12	4579
50	50	47	12.5	6679
40	60	37	13	8436

TABLA II-M PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS PLATA-CARBURO DE TUNGSTENO.

Los contactos fabricados con este tipo de mezcla son muy extensos, por lo que se mencionarán algunos, como:

- a) Interruptores termomagnéticos.
- b) Relevadores de alta velocidad para teletipos.
- c) Interruptores industriales.
- d) Contactos de relevadores en circuitos de corriente directa de 28-200-300 amperios usados en aeronáutica.
- e) Deslizadores, anillos rozantes o colectores- usados en aeronáutica.
- f) Contactos eléctricos de alta corriente, Etcétera.

2.3.3.B Mezclas con tungsteno y plata.

El usar este tipo de mezclas en la fabricación de contactos eléctricos, es porque con el tungsteno contenido en ellas (de 30 a 80%), permite un satisfactorio funcionamiento con un aumento de temperatura permisible dentro de las especificaciones del contacto.

Las características principales que se logran con este tipo de mezclas, son:

- a) Alta resistencia a la erosión por arqueo.
- b) Resistencia superficial mas estable y constante.
- c) Alta resistencia al soldarse o adherirse.
- d) Buena conductividad térmica.

La Tabla II-N indica algunas de las propiedades de estas mezclas y las proporciones con que están constituidas.

% W	% Ag	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I. A. C. S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA (Kg/cm ²) A LA RUPTURA
73	27	50	16	9140
60	40	51	15	8346
50	50	65	14	7733

TABLA II-N PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS PLATA-TUNGSTENO.

Los contactos fabricados con este tipo de mezclas son de muchas clases, a continuación mencionaremos algunas de ellas debido a su uso -- mas generalizado.

- a) Contactos de arqueo o de corto circuito -- usados cuando se desea interrumpir arcos - de alta energía o evitar que los contactos se suelden.
 - b) Para proteger contactos principales en interruptores de alta tensión en aceite o en aire.
 - c) Interruptores de tipo industrial y doméstico.
 - d) Contactos estacionarios o móviles.
 - e) Contactos conductores de corriente.
 - f) Contactos de arqueo en interruptores termomagnéticos.
 - g) Contactos principales en interruptores de corriente de etapas múltiples.
- Etcétera.

2.3.3.C Mezclas con tungsteno y cobre.

Con estas mezclas, se logra obtener contactos más económicos y con características similares a los fabricados con las mezclas antes mencionadas: esto es debido a que la plata es sustituida por el cobre, aunque éste último tiene en menor grado las características de la plata, refiriéndose a la conductividad eléctrica, si se posee una buena resistencia al arqueo; este tipo de contactos para su mejor funcionamiento tienen que estar sumergidos en aceite, evitando también la oxidación y el arco eléctrico indeseable; permiten conducir altas corrientes eléctricas y pueden ser usados al aire en ciertos casos.

La Tabla II-0 muestra las principales propiedades de este tipo de mezclado.

% W	% Cu	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I. A. C. S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA A LA RUPTU- RA (Kg/cm ²)
56	44	53	13	7733
69	31	50	14	9140
70	30	48	15	10193

TABLA II-0 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS MEZCLAS TUNGSTENO-COBRE.

Los contactos así fabricados, se les usa generalmente como:

- a) Contactos o placas de arqueo en interruptores de aire.
 - b) Contactos e interruptores de alta tensión.
 - c) Contacto de arqueo y conductores de corrientes sumergidos en aceite.
 - d) Bordes de navajas para selectores de transformadores de corriente.
 - e) Interruptores en aceite y en transformadores de distribución.
- Etcétera.

2.3.3.D Mezclas de plata y óxido de cadmio.

En esta sección hablaremos de las mezclas formadas con materiales semi-refractarios, como lo es el cadmio, principalmente en su forma de óxido; esto se debe a que el óxido de cadmio tiene las características favorables para poderlo emplear en la fabricación de contactos eléctricos, como resistencia de contacto alta y estable, una gran resistencia al soldarse y adherirse, aunadas estas a las de la plata (conductividad eléctrica alta) los hacen favorables para la fabricación de dispositivos económicos con bajo grado de erosión eléctrica y permitir conducir altas corrientes eléctricas.

Se les usa extensamente como contactos eléctricos para marchas de uso automotriz, en arranadores de motores a tensión completa, en relevadores de avión, etc.

En la Tabla II-P se presentan las características principales de estas mezclas.

% Ag	% CdO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I.A.C.S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA A RUPTURA Kg/cm ²
98	2	88	10	1125-1758
95	5	83	11	1123-1756
90	10	75	9	1120

TABLA II-P CARACTERISTICAS DE ALGUNAS MEZCLAS DE PLATA-OXIDO DE CADMIO.

2.3.3.E Mezclas de plata y carbono

El usar carbono o grafito en este tipo de mezclas, es por la gran cualidad que posee éste, - el de proporcionar buena lubricación además posee gran resistencia a soldarse y adherirse y al combinarse con la plata forman mezclas propicias para fabricar contactos del tipo deslizante, escobillas y contactos para interrupción y cierre o en dados casos como uniones articuladas y anillos rozantes.

En la Tabla II-Q se indican las principales -- propiedades obtenibles con este tipo de mezclas.

% Ag	% C	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I.A.C.S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA A RUPTURA Kg/cm ²
99	1	103	10	1758-2601
98	2	102	10.5	1722-2566
97	3	100	10.2	1687-2516
96	4	99	9	1546-2355

TABLA II-Q CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE MEZCLAS PLATA-CARBONO (GRAFITO).

2.3.3.F Mezclas de plata y níquel.

Con estas mezclas, se logra fabricar contactos eléctricos de buena calidad y económicos. El uso del níquel en estas mezclas permite por su ductilidad y aplicando las técnicas de la pulv₁ metalurgia fabricar alambre y cintas que se -- pueden forjar en frío para hacer remaches, dis₂cos o botones sólidos que ensamblados debida₃mente constituyen los contactos usados extensa₄mente en aparatos eléctricos de uso doméstico-- en donde se requiere una muy alta resistencia-- al desgaste que no puede ser proporcionada por la plata sola.

Con estas mezclas es posible obtenerse resisten₅cias muy altas al desgaste mecánico, a la ero₆sión eléctrica, a la oxidación y buena resis₇tencia superficial; además de usárseles en apa₈ratos eléctricos de uso doméstico, se les en₉cuentra como parte de los contactos principa₀les de los interruptores de corriente y en dis₁positivos de conexión.

La Tabla II-R muestra algunas de las caracte₂rísticas principales de estas mezclas.

% Ag	% Ni	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (%) I.A.C.S.	DENSIDAD gr/cm ³	RESISTENCIA A RUPTURA Kg/cm ²
95	5	95	10.5	1687
90	10	87	10.2	1575
85	15	80	10	1989

TABLA II-R CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS
PLATA-NIQUEL.

De todo lo expuesto en este capítulo podemos conside-
rar que la mayor parte de las aplicaciones actuales de
la pulvimetalurgia en México han sido tratadas, además
existen una gran variedad de piezas elaboradas por es-
te método y que no se mencionan por ser de poca utili-
dad.

Debido a los grandes avances recientemente logrados --
por esta técnica, resulta muy interesante hacer un aná-
lisis de las posibilidades futuras de este proceso en-
nuestra industria. Para tal efecto en el siguiente ca-
pítulo se resumen algunas de las perspectivas de la me-
talurgia de polvos para los próximos años en la indus-
tria nacional.

CAPITULO III

POSIBILIDADES FUTURAS DE LA METALURGIA DE POLVOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

En los capítulos anteriores se trató lo que es la metalurgia de polvos, sus aplicaciones actuales dentro de la industria nacional y ahora se tratarán las aplicaciones futuras que puede tener esta técnica dentro de nuestra industria.

Haremos un bosquejo indicando las tendencias futuras de la metalurgia de polvos para cubrir las necesidades de los procesos modernos de fabricación. Debido a los adelantos tecnológicos logrados actualmente en este campo, estos podrían aplicarse a procesos como la forja en caliente de materiales metálicos, pudiendo obtener con ello, mayores ventajas a las obtenidas por el proceso clásico, como son: calidad, mejor acabado final del producto, mayor precisión, economía, etc.

El bosquejo lo podemos dividir de la siguiente forma:

3.1 Forja en caliente de polvos metálicos.

3.1.1 Propiedades mecánicas.

3.1.2 Aspectos prácticos en la producción de piezas con la forja de polvos metálicos.

3.1.3 Diseño de una matriz para forja de polvos metálicos.

3.1.4 Ventajas de la forja de polvos metálicos.

3.1.5 Piezas fabricadas por medio de la forja de polvos.

3.2 Posibles nuevos productos.

3.1 FORJA DE POLVOS METÁLICOS

La forja de polvos metálicos se empleó hace cientos de años como proceso de fabricación mucho antes que la fundición.

Actualmente a este proceso se le han aplicado las técnicas modernas desarrolladas por investigadores en el campo de la metalurgia de polvos y se conoce como forja de polvos metálicos; al tratar este nuevo proceso, es necesario hacer ciertas consideraciones que lo hacen diferente al método tradicional.

Como se sabe, los productos prensados y sinterizados que tienen forma y cavidades complicadas donde la porosidad residual puede dañar y reducir su resistencia, en ocasiones se reduce en parte aumentando la presión durante el prensado; pero esto en realidad es difícil de eliminar por muy alta que sea la presión aplicada.

En la figura 3.a se muestra la relación entre algunas propiedades mecánicas y la densidad; estas propiedades mecánicas son:

Resistencia a la tensión.

Elongación.

Resistencia al impacto.

Densidad.

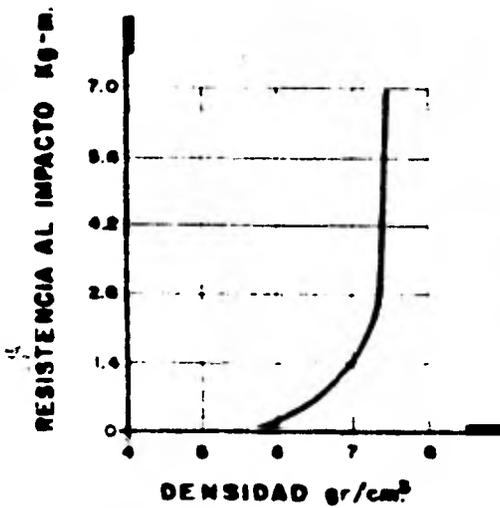
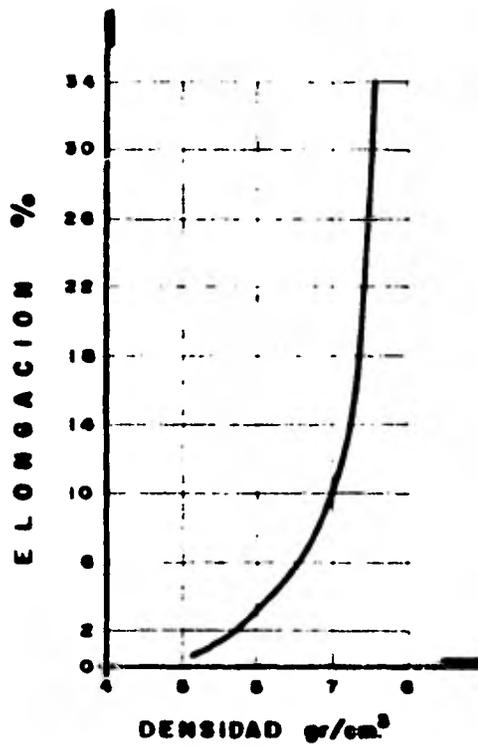
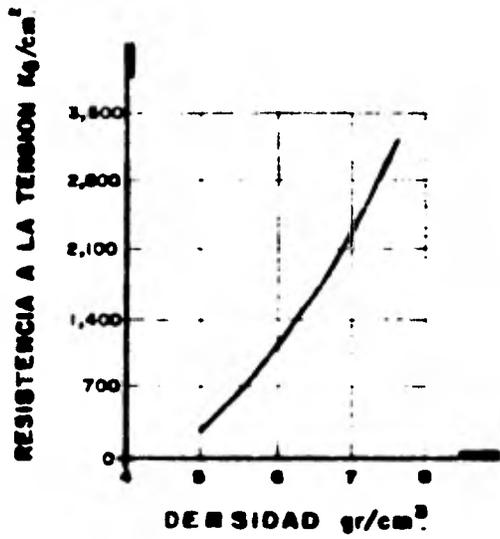


Fig. 3.a.- Relación entre algunas propiedades mecánicas y la densidad

De la figura anterior se concluye que la eliminación de la porosidad es necesaria para obtener una mayor fortaleza en el material base.

La eliminación de la porosidad, puede efectuarse satisfactoriamente si se combinan convenientemente el sinterizado después un prensado en caliente a una temperatura menor que la de fusión del material con que se está trabajando, a esto se le conoce como forja de polvos metálicos.

Con este nuevo proceso se tratan de vencer las desventajas de la forja tradicional y es un método en el cual se emplea el sinterizado combinado con la técnica de más alta precisión del forjado; en esencia el proceso de forjado de polvos consiste en lo siguiente:

1. Preparación de un preformado en verde por prensado en matriz convencional.
2. Sinterizado del preformado en horno con atmósfera controlada.
3. Extracción del preformado a máxima temperatura y completando su densificación por compactación en una matriz final.
4. Transferir el producto de la prensa de compactación

en atmósfera reductora para enfriarlo y evitar la oxidación superficial.

5. Maquinado convencional y/o tratamiento térmico si es necesario.

La figura 3.b muestra un diagrama de bloque del proceso básico de la forja de polvos.

Existen dos formas de efectuar la forja de polvos, - - ellas son:

- a) El preformado es transferido directamente del horno de sinterizado al prensado final, en un solo paso.
- b) Después de sinterizar, el preformado se enfría y de nuevo se recalienta, generalmente por medio de calor inducido y a continuación, se completa la densificación en un segundo prensado final.

El empleo de una u otra forma está determinado por disponibilidad y diseño del equipo existente y el plan de forjado. En términos económicos, esto es claramente determinante ya que algunas veces se reduce el costo al calentar una sola vez la pieza o las prensas son compatibles para uno y otro caso.

Son tres las variables principales que regulan a este proceso:

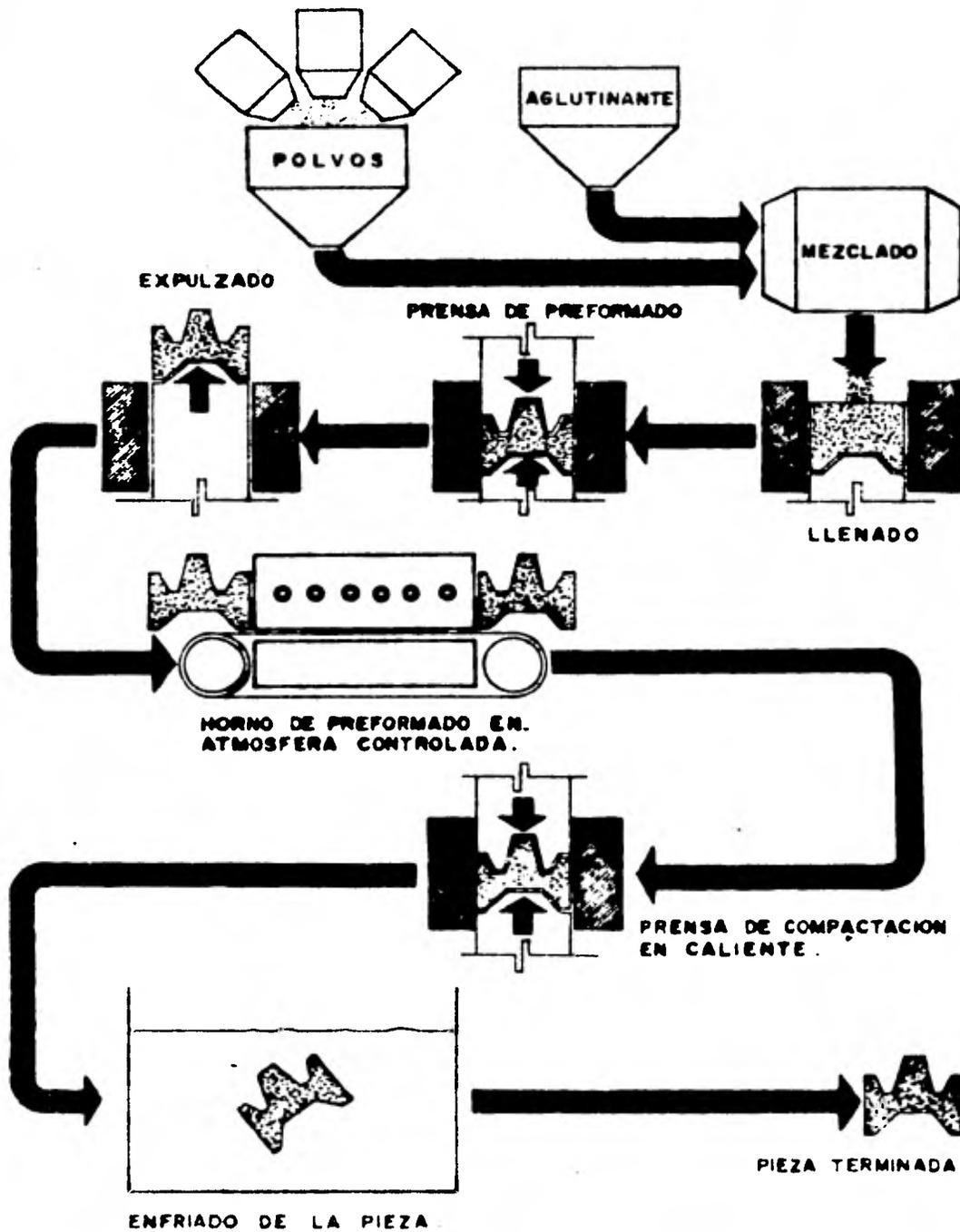


FIG- 3.b : DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO BASICO DE LA FORJA DE POLVOS.

1. Densidad del preformado.
2. Presión del forjado en caliente.
3. Temperatura del forjado en caliente.

La interacción de estas variables controlan el punto en que la porosidad es eliminada, cuando esto sucede se dice que es el punto crítico de operación, y como es de esperarse, a temperaturas altas la carga de compactación crítica decrece.

La fricción producida sobre las paredes de la matriz en la maniobra del preformado y compactación durante el forjado final, influyen de tal manera que se considera como una variable crítica mas, pudiendo reducirse con una lubricación adecuada.

La forma o figura del preformado es particularmente importante, en relación al perfil requerido por el producto terminado, debido a que el material fluye mejor en una pieza de forma sencilla que en una complicada; además en una pieza larga y delgada se requiere más presión que en una corta y ancha.

Cuando se hace la selección de un rango de temperaturas para el compactado en caliente, hay que considerar especialmente el desgaste en la matriz ya que éste es un factor muy importante que afecta la producción en cuan

-to a costo; así tenemos que para el límite inferior de dicho rango, la abración y presión en las paredes de la matriz pueden producir algunos agrietamientos y los problemas de enfriamiento aumentan.

Para obtener la densidad requerida, los rangos de temperaturas prácticos, están comprendidos entre 900 y 1,200°C, dependiendo de las variables ya mencionadas. Dentro de este rango de temperaturas las presiones normales de forjado son de 4 a 20 Ton/cm².

En la práctica lo anterior es básico para establecer las curvas Densidad - Presión - Temperatura del preformado para las piezas a probar, su aplicación en términos de los componentes del material es más difícil y las curvas pueden ser diferentes para cada componente considerado.

La figura 3.c muestra la curva crítica Presión - Densidad de un preformado de acero sometido a prueba.

En este proceso, las tolerancias dimensionales del preformado no son tan críticas como en el compactado y sinterizado convencional, sino que en su fase final o forjado éstas quedan totalmente determinadas; para lograr buenas tolerancias dimensionales finales, es necesario controlar el peso del preformado en su estado verde; el mantenimiento de dichas tolerancias en la pro-

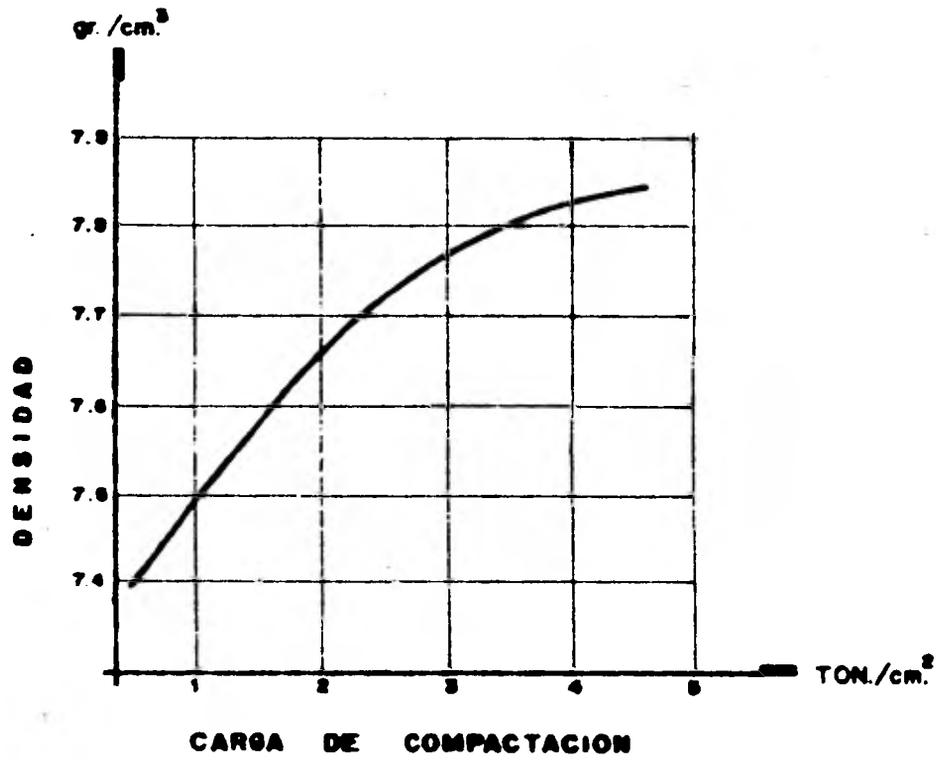


FIG. 3.c.-CURVA QUE RELACIONA LA CARGA DE COMPACTACION CON LA - DENSIDAD.

-ducción en serie es muy necesaria, para ello se requiere que la temperatura de la matriz de forjado, esté en equilibrio, además cuidar al máximo las fluctuaciones posibles para reducirlas al mínimo. Lo anterior se controla fácilmente cuando se trata de una producción en gran escala, que cuando se trata de un experimento.

La densidad del preformado es muy importante, ya que cuando el material es de baja densidad puede tener más movimiento dentro de la cavidad de la matriz que el de uno con material de alta densidad, además si se trata del primero es más factible que se produzcan agrietamientos durante el flujo plástico debido a la alta porosidad residual.

Si el forjado se hace demasiado rápido y la deformación es muy severa, el agrietamiento o fractura puede no ser aparente en el producto terminado y existir un plano de debilidad; el control de las fracturas posibles, es excesivamente importante aunque relativo ya que estas pueden reducirse por medio de una selección correcta de la densidad del preformado y la temperatura de la forja.

3.1.1 PROPIEDADES MECANICAS .

Bajo condiciones ideales, en las que la porosidad es eliminada totalmente, las propiedades mecánicas y de acabado obtenibles por este proceso, -- son similares a las obtenidas por la forja tradicional; como ejemplo, compararemos algunas propiedades mecánicas de un material hecho a base de forja de polvos de acero con un material fabricado mediante el método clásico de forja.

METODO	MATERIAL	E.U.T. Ton/cm2	E (%)	Dureza Rockwell (%)
Forja de polvos	Polvo de Acero (.45%C)	6.42	20.3	95.3
Forja - clásica	AISI 1045	6.47	22.0	96.0

Las propiedades de impacto, se determinan en función de la cantidad de carbono que contengan las mezclas para que les permitan ser dúctiles o frágiles: las temperaturas de prueba tienden a ser un poco bajas y esto reduce dichas propiedades, -- por ejemplo, una composición de acero con bajo contenido de carbono tiene una resistencia al impacto de 11 kg-m, pero esto se reduce a una fracción de Kg-m al agregársele a la mezcla una mayor cantidad de carbono.

En particular, el tamaño de las partículas del material reduce o aumenta las propiedades de resistencia a la fatiga, así unas partículas relativamente largas, reducen la resistencia; esto se conoce plenamente en la forja convencional del acero, quedando demostrado que la alta resistencia a la fatiga esta determinada por el tamaño de las partículas; esta resistencia puede ser controlada en la forja de polvos mediante la inclusión de partículas de materiales no-metálicos, lográndose gran ventaja sobre la forja tradicional del acero; además la ductilidad no es uniforme en todas las direcciones de las piezas forjadas convencionalmente, ya que en dirección transversal presentan resistencia al impacto con la consecuente reducción de ductilidad, esto se debe a la presencia de partículas de sulfatos y silicatos aleados. En una forja convencional de acero, la pieza presenta una elongación longitudinal del 25%, en tanto que su elongación transversal es sólo del 10% considerando la dirección de flujo del grano, esto contrasta con una pieza hecha por el proceso de forja con polvos de acero, donde la elongación es del 20% uniforme en todas las direcciones.

3.1.2 ASPECTOS PRACTICOS EN LA PRODUCCION DE PIEZAS CON LA FORJA DE POLVOS METALICOS.

Como se ha visto, este proceso puede competir -- con cualquier otro tipo de fabricación de piezas mecánicas con algunas ventajas. A continuación se muestra la comparación entre las etapas de fabricación con forja de polvos y forja convencional.

FORJA DE POLVOS

Polvo Metálico

Mezcla de polvos lubricantes, grafito, etc. (paso que puede eliminarse)

Prensado de preformado.

Calor

Prensado para forjar. (usualmente una operación).

Operación final. (Acabado, tratamiento térmico, etc.).

Una sola operación de maquinado. (de ser necesario).

FORJA CONVENCIONAL

Material en Barras

Corte o aserrado.

Calor

Forja (en 3 ó 4 operaciones con acarreo manual).

Operación final. (una gran cantidad de maquinado posterior).

En la forja de polvos metálicos, el aprovechamiento de la materia prima es de 95 a 98% muy superior.

-rior a lo que se aprovecha con el proceso convencional que sólo es de un 50 a 60%, ya que en la forja convencional la barra o lingote es calentado y sujeto a un número de golpes en una serie de matrices para lograr desarrollar la forma final, con transferencia manual del material de una a otra matriz; en el forjado de polvos, el material es formado totalmente en un solo paso y por un solo golpe de forjado colocando el material en una sola matriz, logrando reducir el costo actual de forjado y una mejor utilización de las prensas.

Hay tres razones interrelacionadas de lo anterior, y son:

- 1) El calor característico de forja usado en el forjado de polvos y en el proceso convencional, difieren mucho.
- 2) Los materiales componentes de la mezcla pueden ser mejor distribuidos en el preformado para lograr una mayor uniformidad en las propiedades mecánicas de la pieza.
- 3) La ausencia de rebabas en la forja de polvos, reducen la carga de forjado requerida.

En la condición de densidad relativamente baja a temperatura de forjado, la deformación plástica del preformado se inicia bajo cargas relativamente bajas de forja, a medida que la densidad se aproxima al 100% de su valor, la carga de forjado aumenta.

Una gran cantidad de las formas definitivas obtenidas en la forja, se desarrollan durante las primeras etapas de formado, cuando las cargas o presiones requeridas son relativamente bajas, pero los detalles de forma son realizados al final y el último paso o etapa del proceso, es simplemente un compactado en caliente involucrando un pequeño flujo plástico relativo, esto hace posible desarrollar muchos más detalles en la pieza que las logradas por las presiones aplicadas en la forma clásica.

Existen dos formas diferentes en que el preformado puede ser diseñado y posteriormente trabajado, así tenemos:

1. El preformado es la forma mas simple y sus detalles son desarrollados durante el forjado.- el trabajo pesado ocurre durante el forjado y

es para eliminar la porosidad logrando propiedades similares a las del acero forjado por métodos tradicionales.

2. El preformado tiene una forma que se asemeja mucho a la pieza terminada, en este caso, el trabajo en caliente es esencialmente un compactado simple involucrado con un pequeño flujo de metal.

3.1.3 DISEÑO DE UNA MATRIZ PARA FORJA DE POLVOS METÁLICOS.

Habiendo establecido las características del preformado diremos ahora algo referente al diseño de las matrices para el forjado de polvos en caliente, que es en sí, una operación compleja.

Los factores que las hacen necesariamente complejas, con las necesidades de emplearlas como dados huecos totalmente cerrados y lo cierto es -- que el preformado tiene un volumen mayor que la pieza terminada.

El control de los cambios de flujo y densidad, a través del ciclo de compactación es muy importante si el resultado deseado es una pieza con densidad uniforme.

En una pieza de forma sencilla, puede suceder -- que en la operación de forjado, haya formación - de grietas no aparentes, para evitar esto, es necesario diseñar una matriz de tal forma que se - atienda al flujo plástico en el esfuerzo de opo- ración y el aspecto económico.

Como estas matrices están sometidas a impactos, - esfuerzos y fricciones muy severas, propias de - la operación de forjado, se fabrican generalmen- te con carburo de tungsteno y aceros, que las -- hacen muy costosas.

3.1.4 VENTAJAS DE LA FORJA DE POLVOS METALICOS.

Como sabemos, la metalurgia de los polvos tiene - muchas ventajas en la producción de piezas que - por otros métodos resultan más caros; con la for- ja de polvos metálicos, dichas ventajas se basan en lo siguiente:

1. RUTAS DE FORJADO SIMPLIFICADAS. Los cuatro o más pasos empleados en la forja convencional - pueden ser eliminados o reemplazados por uno - sólo, que consiste en aplicar un solo golpe - de forjado; la utilización de las prensas es - mejorada, pudiendo ser prensas comunes, peque

-ñas y económicas.

2. AHORRO EN LOS MATERIALES USADOS. El empleo de los materiales en polvo, en este proceso, es casi de un 98%, proporcionando con ello un porcentaje muy bajo de material de desecho, y que es posible calcular la cantidad exacta de material a usar, además el maquinado posterior es reducido o eliminado.
3. MEJORES ACABADOS SUPERFICIALES. La precisión de la forja de polvos es mayor que la obtenida en piezas forjadas comúnmente; se obtiene además, buen acabado superficial y las tolerancias dimensionales son muy cerradas, evitando en la mayoría de los casos un maquinado posterior.
4. CONTROL DE PESO. Las cantidades de material en polvo usadas en el preformado, son suministradas en su peso exacto. Los componentes de las mezclas de polvos, pueden proporcionarse con exactitud y peso convenientes, permitiendo obtener piezas mejor balanceadas.
5. UNIFORMIDAD EN LAS PROPIEDADES. Las piezas fabricadas por este proceso, tiene propieda-

-des homogéneas en todas sus direcciones, tanto en la transversal como en la longitudinal.

6. PRODUCCION EN GRAN ESCALA. Por este proceso es posible obtener alta producción, ya que solo es empleado un sólo golpe de forjado y la ventaja de que muchos preformados tienen formas simétricas que permiten automatizar el paso final de producción, aumentando con ello la capacidad de producción, disminuyendo la mano de obra y los costos de fabricación.

La justificación económica de este proceso, se basa en las ventajas antes mencionadas, a las que se opone el alto costo de los polvos usados, en relación al material en barras o lingotes empleados en la forja convencional.

El precio, por ejemplo, de polvos de hierro es de un 200% más alto que el de acero en lingotes, pero como se ha dicho antes, se aprovecha casi el 100% del material en polvo, no así en su forma de barra o lingote, donde el aprovechamiento es muy inferior a este: aún con esa desventaja, el empleo de este proceso de fabricación cuando se trata de produc

-ciones en gran escala, es mas ventajoso y con ello, se piensa que en un futuro no muy lejano se aplique con mas frecuencia en la industria-nacional.

3.1.5 PIEZAS FABRICADAS POR MEDIO DE LA FORJA DE POLVOS.

Con los adelantos logrados en esta nueva técnica, es posible fabricar un gran número de piezas con diferentes formas simples o complicadas que por la forja convencional no es posible o son de baja calidad.

Actualmente en varios países la aplicación de este proceso ha permitido fabricar nuevos productos de uso muy extendido y de gran aceptación; entre ellos se pueden mencionar los engranes automotrices, bridas, engranes rectos, cónicos y helicoidales, bielas, etc.

A continuación se presentan algunas piezas fabricadas por este proceso, comparándoles con las elaboradas por el método clásico de forja.

La figura 3.d muestra un engrane recto de uso automotriz en las dos formas de fabricación empleadas: a la derecha se presenta la pieza fabricada por forja convencional, a la cual le falta el ma

-quinado de rectificación, afinado de superficies y el procesado de la máquina generadora de engranes (fresado); el engrane de la izquierda está fabricado por forja de polvos, en él se aprecia claramente el excelente acabado obtenido.

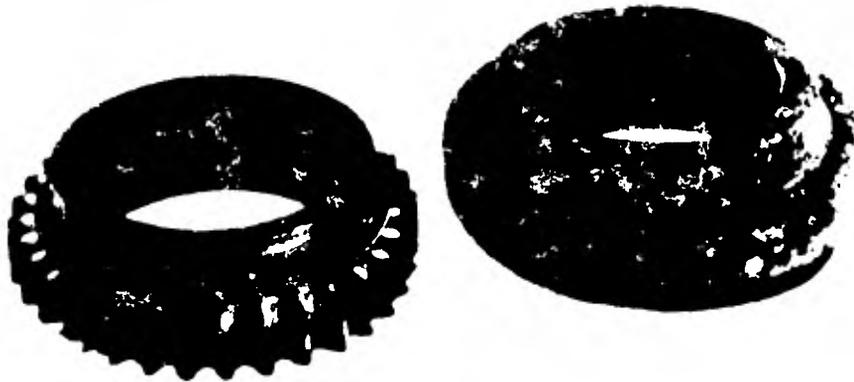


FIG. 3.8 ENGRANE RECTO DE USO AUTOMOTRIZ.

En la figura 3.e se observa una brida de flecha para transmisión por fricción, es de diseño un poco complejo; a la izquierda está la pieza fabricada de rolvos, donde se ha logrado a partir del preformado la parte estriada interior, a su derecha está la misma pieza sin concluir hecha por forja convencional.

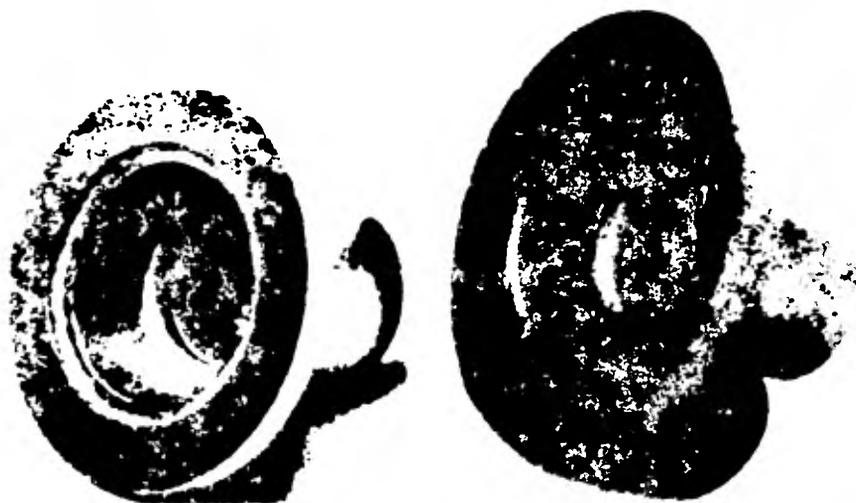


FIG. 3.e BRIDA DE FLECHA PARA TRANSMISION POR FRICCION.

En la figura 3.f tenemos otro ejemplo en el cual podemos observar claramente la diferencia que -- existe entre ambos procesos. La biela superior -- está fabricada por el proceso tradicional, con -- trastando con la biela inferior que fue hecha -- por forja de polvos y que carece de la protube -- rancia con que viene provista la biela superior; porque como se mencionó antes, se obtienen pie -- zas perfectamente balanceadas.



FIG. 3.f BIELAS FORJADAS CONVENCIONALMENTE Y POR METALURGIA DE POLVOS.

En la figura 3.g tenemos una pieza que es un - - ejemplo de estabilidad requerida por el preformado (pieza de la izquierda) en su forma más simple que al ser forjada obtiene la forma definitiva de la derecha y en la cual no debe de presentar re-babas por su configuración esférica.



FIG. 3.g COMPONENTE DE TRANSMISION, A LA IZQUIERDA EN ESTADO VERDE O PREFORMADO, A LA DERECHA TOTALMENTE TERMINADO POR FORJADE POLVOS.

3.2 POSIBLES NUEVOS PRODUCTOS.

Actualmente, la industria nacional requiere de un mayor número de piezas diferentes que constituyen las partes estructurales de máquinas y dispositivos de fabricación nacional, las que en muchos casos es necesario importarlas, con el consecuente encarecimiento.

Tomando en cuenta lo anterior, la rama de la industria dedicada a la metalurgia de polvos, apoyándose en la información que proporciona el resto de las industrias, ha sido posible que el mercado de este tipo de productos, se vaya expandiendo y obteniendo logros con los nuevos diseños o beneficiándose a los ya existentes.

En este subcapítulo se tratarán los posibles nuevos productos que pueden fabricarse aplicando las técnicas de la metalurgia de polvos, los cuales permiten obtener propiedades mecánicas satisfactorias, pudiendo substituir a las piezas fabricadas actualmente por métodos o procesos tradicionales agregando la reducción de costos y en muchos casos evitando la importación.

Más adelante mencionaremos algunos productos que se fabrican actualmente por métodos convencionales y que en lo futuro quizás sea posible elaborarlos aplicando las técnicas pulvimetalúrgicas, como lo serían las piezas para aparatos de uso doméstico: quemadores para estu-

-fas de gas; partes automotrices como bielas; para mo-tores de combustión interna; pistones, engranes, etc.

Así, a continuación se mencionarán algunos productos - con posibilidades de fabricarse con esta técnica, otros ya existentes.

ENGRANE HELICOIDAL PARA TRACTOR DE USO AGRICOLA.

Este engrane helicoidal, fue diseñado para usarse como piñón en el sistema de dirección de algunos modelos po-pulares de tractores agrícolas.

Dicho engrane, va colocado en la parte inferior termi-nal de la columna de dirección, que se acopla con un engrane de cremallera en forma de arco, este ensambla-je así constituido, activa directamente el brazo de di-rección y enlaza las varillas que controlan las ruedas delanteras. En la figura 3.h se muestra dicho engrane fabricado por metalurgia de polvos.

Los esfuerzos a que está sometido dicho engrane, son - muy grandes, ya que las ruedas que mueve son anchas -- que permiten controlar satisfactoriamente al vehículo - sobre cualquier terreno. Además, este engrane recibe - muchos golpes de carga, producidos por las irregulari- dades del terreno, rocas, bordes, etc.; todo lo ante- -rior influye para que esta pieza sea fabricada con pol

-vos de acero y níquel, obteniéndose con ello una densidad de 7.3 gr/cm³, la presión de compactado es de 7-ton. y se sinteriza a 1,000°C; las propiedades mecánicas que se obtienen son: un esfuerzo a la tensión de - 8,400 Kg/cm²; si se somete posteriormente a tratamientos térmicos y a templado, alcanza una dureza Rockwell de 35.

Este es un engrane helicoidal izquierdo, cuya hélice es de 23°15', 16 dientes y un diámetro exterior de - - 4.57 cm capaz de soportar un torque de 3.25 Kg-m, como maquinado final sólo se le hacen dos barrenos transversales que alojarán un perno que lo acoplará con la flecha de dirección.



FIG. 3.h ENGRANE HELICOIDAL USADO EN EL SISTEMA DE DIRECCION EN UN TRACTOR AGRICOLA.

LEVA Y ENGRANE DE FABRICACION INTEGRAL.

La fabricación de una pieza de este tipo, que combina dos partes leva-engrane, se ha diseñado y producido en otros países por medio de la pulvimetalurgia; dicha pieza se usa como engrane de control en la horquilla elevadora del control eléctrico de velocidad de carros montacargas; en la figura 3.1 se muestra esta pieza fabricada con polvos a base de hierro.



FIG. 3.1 LEVA-ENGRANE DE FABRICACION INTEGRAL.

Convencionalmente se fabrica haciendo por separado el segmento de engrane, posteriormente se ensambla el cilindro mediante soldadura, además se le agregan los 15 bulbos del cilindro, operación algo difícil ya que la -

relación engrane-lóbulos determina los puntos de arranque-velocidad-paro en la horquilla elevadora del vehículo; con la técnica de la metalurgia de polvos se fabrica usando polvos de hierro y compactándola en una sola pieza.

Se obtiene una densidad de 6.65 gr/cm³ a una presión de compactación de 7.75 ton/cm² y se sinteriza a 1,100°C, además se logran buena resistencia al desgaste y estabilidad dimensional. El cilindro con los lóbulos y los dientes del engrane son formados con una precisa relación, eliminando así cualquier problema de alineación. Después del sinterizado se barra y avellan un agujero transversal en el cilindro, para permitir insertar un perno. La forma de dientes envolventes del engrane son más precisos y reducen grandemente el desgaste, por tanto es más conveniente fabricarlo por medio de la pulvimetalurgia.

CAJA DE ENGRANES PARA UNIDAD DE VOLTEO USADA EN CAMIONES.

En el ensamblaje de esta unidad de volteo, se usan 6 engranes de alto rendimiento, que accionan al sistema-hidráulico empleado para elevar la plataforma de camiones de volteo. La figura 3.j muestra dicho ensamblaje.

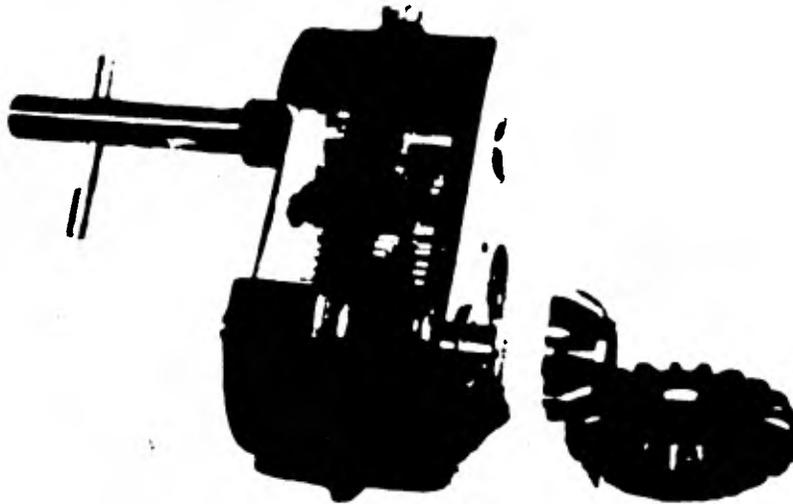


FIG. 3.j CAJA DE ENGRANES USADAS EN EL SISTEMA DE VOLTEO EN CAMIONES.

Esta caja de engranes debe ser capaz de operar rápidamente con esfuerzos mínimos, bajo las condiciones más variadas de carga y clima, proporcionar un funcionamiento libre de problemas durante un servicio prolongado y su fabricación debe ser económica; atendiendo a las necesidades antes descritas, se ha pensado en la metalurgia de polvos para fabricar los tres tipos de engranes que constituyen a dicha caja.

Los tipos de engranes empleados son: 3 rectos y 2 cónicos, hechos usando polvos a base de acero infiltrado

con cobre y obteniéndose una densidad de 7.1 gr/cm³; -
lleva un engrane intermedio que se fabrica con polvos-
de acero aleado con cobre, obteniéndose una densidad -
de 6.5 gr/cm³.

Los diámetros de estos engranes, están comprendidos en-
tre los 8.89 cm y los 10.8 cm; los pesos de cada uno -
de ellos varía de 0.339 kg a 1.415 Kg siendo el peso -
total de 4.758 Kg. Estos engranes así fabricados, de-
ben soportar cargas estáticas de 75 ton y levantar car-
gas hasta de 20 ton con un torque de entrada de 13 Kg-m,
en condiciones extremas se puede incrementar ese tor-
que hasta de 20 Kg-m, el torque de salida en esas con-
diciones podrá ser hasta de 135 Kg-m.

BISAGRA PARA PUERTA DE CAMION.

En la figura 3.k se muestra dicha bisagra que constitu-
ye una de las partes del ensamblaje que forma el meca-
nismo de soporte para puertas usadas en los diferentes
modelos de camiones pánel.

Para su fabricación se emplean polvos de acero con co-
bre infiltrado, se obtiene una densidad de 7.1 gr/cm³,
con una presión de compactación de 7.8 ton/cm², se sin-
teriza a 1,000°C y pesa aproximadamente 510 gr. Su es-
fuerzo de tensión es de 5,200 Kg/cm² y la resistencia-

a la ruptura es de 6,300 Kg/cm².

La infiltración de cobre, es especificada para obtener alta resistencia a la tensión, ductilidad y una mayor maquinabilidad ya que es necesario para su acabado practicarle el barrenado de los dos orificios para aceptar la flecha que sostendrá a la puerta y colocar 2 bujes autolubricados, así como poder rimar las otras perforaciones; para evitar cualquier porosidad residual se le proporciona un blindaje a base de cinc.



FIG. 3.k BISAGRA FABRICADA POR METALURGIA DE POLVOS, FORMA PARTE DEL MECANISMO DE SOPORTE PARA PUERTAS DE CAMIONES TIPO PANEL.

ENGRANE DE TRANSMISION USADO EN MAQUINARIA AGRICOLA.

En la figura 3.1 se muestra a este tipo de engrane impulsor usado generalmente en cajas para transmisión de maquinaria agrícola.



FIG. 3.1 ENGRANE RECTO USADO EN TRENES DE TRANSMISION PARA MAQUINARIA AGRICOLA.

Para su fabricación se usan polvos de acero y níquel, con los que se obtiene una densidad de 7.2 gr/cm^3 a -- una presión de compactación de 8 ton/cm^2 , los esfuerzos a la tensión y ruptura son de $9,000 \text{ Kg/cm}^2$ y $3,000 \text{ Kg/cm}^2$ respectivamente, con una dureza Rockwel de 37 a 50; para obtener todas esas propiedades, el engrane se prensa en máquinas hidráulicas, se presinteriza, forja y finalmente se sinteriza.

ABRAZADERAS PARA SUJETAR AROS EN RINES DE CAMIONES.

Los rines usados por varios tipos de camiones de servicio pesado, usan un aro que detiene a la llanta de hule en su posición cuando ésta queda montada, para evitar que se salga dicho aro, se sujeta mediante abrazaderas. Estas abrazaderas se fabrican actualmente por fundición y se ha pensado que mediante la pulvimetalurgia es posible producirlas en forma más económica y -- con mejores propiedades mecánicas; para ello se utilizan polvos de hierro y carbono ya que dichas piezas están sujetas a esfuerzos cortantes; pudiendo obtener -- densidades hasta de 7.5 gr/cm³ con presión de compactación de 7.5 ton/cm², sinterizado a 1,100°C, proporcionándole una resistencia de 6.5 ton/cm².

BORNES TERMINALES PARA MAQUINA DE SOLDADURA ELECTRICA.

Estos bornes se fabrican por fundición, su uso es como terminales del transformador de una máquina de soldar, con capacidad hasta de 300 amperes, a dichos bornes se les conectan los cables de las pinzas que sujetan al electrodo.

Aplicando la técnica de la pulvimetalurgia, usando una mezcla de carburo de tungsteno y cobre (en relación de 64% de WC y 36% de Cu) se obtiene una densidad de 7 -- gr/cm³ a una presión de compactación de 7 ton/cm², sin

-terizado a 1,000°C, obteniendo una dureza Brinell de 225 y una resistencia a la tensión de 400 Kg/cm². Con dicha mezcla se obtiene buena conductividad eléctrica, así como capacidad para evitar la corrosión por la in-temperie.

QUEMADORES PARA ESTUFAS DE GAS DE USO DOMESTICO.

Estos quemadores se fabrican actualmente por medio de la fundición y después se maquinan, pero con la meta-lurgia de polvos es posible producirlos en forma más económica y con mejor acabado.

Para ello se utilizaría una mezcla de polvos a base de aluminio y magnesio, aplicándoles una presión de 3,150 Kg/cm² al prensarlos, logrando obtener una densidad de 3 gr/cm³, sinterizando a 430°C de temperatura y dando una resistencia a la tensión de 4 Kg/cm², necesaria para este tipo de piezas, las cuales no realizan esfuer-zos y su peso sería de 200 a 250 gr, necesitando un ma-quinado posterior para hacer las cuerdas y pequeños -- orificios.

BIELAS Y PISTONES PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

Actualmente estas piezas se fabrican mediante la pulvi metalurgia en otros países con buenas características y se ha pen-sado que en México también se hagan, ya -- que tienen mucha demanda en la fabricación de pequeños

motores de combustión interna, como lo son para motocicletas y autos pequeños.

Empleando la metalurgia de los polvos para la fabricación de ambas piezas, se ha pensado usar una mezcla -- con polvos de aluminio, cinc y magnesio en relaciones de 90% Al, 7% Zn y 3% Mg, obteniendo densidades de 2.6 gr/cm³ para la biela y 2.5 gr/cm³ para el pistón a presiones de 6.5 Ton/cm² y 6.3 Ton/cm² respectivamente, - sinterizado a 510°C de temperatura, dando una resistencia a la tensión para la biela de 28.1 Kg/cm², 7.81 -- Kg/cm² para el pistón.

En el caso de la biela, se fabrica en dos partes, en la más larga o sea donde se ensambla el pistón, se le inserta un buje autolubricado en el agujero que acepta - un perno para efectuar dicho ensamble; se requiere de un maquinado posterior para hacer los barrenos que permiten introducir un par de tornillos que sujetarán la otra parte pequeña que irá ensamblada al cigüeñal.

POLEA EN "V".

Este tipo de poleas, se usan comúnmente en sistemas de transmisión de movimiento angular por bandas y pueden transmitir una potencia máxima de 5 H.P.

Tradicionalmente se hacen de acero colado con la des-

-ventaja de que es necesario balancearlas perfectamente para evitar que las vibraciones lleguen al punto de resonancia; esto se evita cuando se producen mediante la metalurgia de polvos y se logran propiedades mecánicas satisfactorias.

Para su fabricación se usan mezclas de polvos a base de aluminio y cinc obteniendo una densidad de 2.5 -- gr/cm³ a una presión de compactado de 6,300 Kg/cm², se sinteriza a una temperatura de 510°C. Se obtiene una resistencia a la tracción de 10.9 Kg/cm², si se requiere puede dárseles tratamiento térmico posterior para proporcionarles una dureza Rockwell hasta de 100, finalmente se les inserta un buje autolubricado en el -- orificio que acepta a la flecha, para evitar el desgaste.

SEGURO PARA CABLES DE ACERO.

Por último se mencionará este ejemplo como posibilidad de fabricarlos empleando la metalurgia de los polvos. - Estos seguros en realidad son un ensamble que consta de tres partes: 1 horquilla con sus extremos roscados, 2 tuercas y la que se puede llamar base del seguro, como se muestra en la figura 3.m.



FIG. 3.m SEGURO PARA CABLES CON SUS PARTES, PRESENTAN-
DO LA BASE QUE SE FABRICA POR MEDIO DE LA --
PULVIMETALURGIA.

Esta base, se fabrica actualmente de acero al carbono-
mediante la fundición, pero se ha visto la posibilidad
de producirla empleando la pulvimetalurgia, usando pa-
ra ello polvos de hierro mezclados con polvos de níquel,
cromo y carbono, logrando darles una densidad de 7.2 -
gr/cm³ mediante una presión de 7,000 kg/cm² al presag-
los. Además, con esos materiales es posible obtener -
una gran resistencia a la corrosión y al desgaste así-

como proporcionar una resistencia a la tensión de - -
2,700 Kg/cm².

Este tipo de pieza permite que se fabriquen seguros de
varios tamaños para aceptar cables de acero con diáme-
tro desde 6.3 mm hasta 19 mm.

Existen otras piezas que pueden obtenerse por medio de
la metalurgia de los polvos, enumerarlas sería demasia-
do largo y se considera que con los ejemplos expues-
tos quedan demostradas las múltiples aplicaciones que
podría tener este proceso dentro de la industria nacio-
nal, con lo cual podemos dar por concluido este capítu-
lo.

C O N C L U S I O N .

Por lo expuesto a lo largo de todo este trabajo, se puede advertir fácilmente, las grandes ventajas de la metalurgia de los polvos sobre los métodos clásicos de fabricación de piezas metálicas, aunque es necesario recalcar, que éstas serán mayores cuando la fabricación sea de series en gran escala, en estas condiciones ningún otro proceso de elaboración podrá competir con la pulvimetalurgia en lo referente a economía, aprovechamiento de materia prima, rapidez, precisión y propiedades mecánicas del producto terminado.

Por lo tanto como puede notarse la metalurgia de los polvos actualmente tiene una infinidad de aplicaciones y con grandes perspectivas para el futuro, en cuanto a la elaboración de nuevos productos y también la posibilidad de fabricar -- los polvos metálicos en nuestro país, con la intención de reducir sus costos, ampliar las fuentes de trabajo y contribuir con otros países en la investigación de las características que pueden proporcionar la infinidad de mezclas que pueden realizarse con este proceso moderno, el cual aún lo podemos considerar poco conocido en la industria nacional.

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

1. CERAMICA DE LOS METALES
F. Skaupy
1949 E. Reverté, S.A.
2. FABRICACION DE PRODUCTOS
SINTERIZADOS A BASE DE -
POLVOS METALICOS.
Pablo Enrique Aranaide
1969 (Tesis Profesional)
3. PROCESOS DE FABRICACION.
Mayron L. Segeman
1971 Cia. Editorial Con-
tinental, S.A.
4. HOGANAS IRON POWDER
HAND BOOK
Publicado por Högans
Billesholms A.S.,
Högans, Suecia.
5. FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF
POWDER METALURGY
W.D. Jones
E.A.L.T.D. London 1960
6. INTRODUCTION TO PHYSICAL
METALLURGY
AYMER SIDNEY
7. PREATISE ON POWDER METALLURGY
GGETZEL
8. METALURGIA DE POLVOS
Monclus Vale
España
9. INTERNATIONAL JOURNAL OF
POWDER METALLURGY.
American Powder Metallur-
gy Institute, 1970.

