

55,
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCESO DE FUNDICION
PRENSADA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

(EN EL AREA DE INGENIERIA MECANICA)

P R E S E N T A :

OSCAR ESPINOZA RANGEL

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Armando Ortiz Prado



México, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

PROLOGO

El método que se presenta es básicamente una combinación del proceso de forja y del de colada en matriz por gravedad, este proceso se ha denominado fundición prensada. En él se mezclan las características esenciales de los procesos mencionados, dando como resultado un proceso más completo.

El proceso consiste a grandes rasgos, en comprimir un metal en estado líquido (rápidamente y aplicando una alta presión), dentro de un molde, en el cual previamente se ha maquinado el contorno específico de una pieza. Una vez que se ha vaciado el metal líquido, se comienza a comprimir hasta que se solidifica, mejorando con esto las propiedades mecánicas. El proceso se efectúa en intervalos de tiempo moderados, obteniéndose una estricta tolerancia dimensional.

Los fundamentos del proceso no se encuentran en la fabricación de piezas mecánicas, sino sus orígenes se remontan a la elaboración de elementos decorativos, en donde las pequeñas presiones solo favorecen la producción de piezas con geometrías externas complejas, pero no son de gran importancia las propiedades mecánicas.

Hoy en día, se busca aplicarlo ampliamente en la producción de elementos mecánicos, ya que utilizando este proceso, se logran aumentar considerablemente las propiedades de resistencia y tenacidad, y se espera que entre más se conozca, las piezas que por sus características es necesario forjarlas o aplicarles un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas, puedan ser ahora fabricadas mediante el proceso de fundición prensada.

Actualmente, una gran cantidad de piezas, sean para decoración o no, se fabrican con espesores y pesos considerablemente mayores de lo necesario, este hecho aunado a los altos costos de las aleaciones y del posterior maquinado, ha motivado diseñadores e investigadores buscar nuevos procesos.

INDICE

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1	Introducción.	1
-----	---------------	---

CAPITULO II PROCESO DE FUNDICION PRENSADA

2.1.	Antecedentes.	4
2.1.1.	Proceso de Fundición Cortias.	5
2.1.2.	Proceso de Estampado de Aleaciones Líquidas.	6
2.2.	Proceso de Fundición Prensada.	10
2.2.1.	Alimentación del Sistema.	11
2.2.2.	Alineación del Sistema.	12
2.2.3.	Ajuste en el Sistema de Compresión.	13
2.2.4.	Compresión del Metal.	14
2.2.5.	Características el Sistema de Fundición Prensada.	15
2.2.6.	Otras Configuraciones del Sistema	16
2.2.6.1.	Sistema de Compresión Vertical-Vertical.	16
2.2.6.2.	Sistema de Compresión Horizontal -- Vertical.	17
2.2.7.	Aplicaciones.	18
2.3.	El Proceso de Fundición Prensada Versus otros Procesos.	18
2.3.1.	El Proceso de Fundición en Arena.	20
2.3.2.	Colada en Matriz por Gravedad.	22
2.3.3.	El Proceso de Laminación.	23

CAPITULO III DISEÑO DEL HERRAMENTAL

3.1.	Requerimientos del Sistema de Fundición Prensada.	25
3.2.	Moldes para Fundición Prensada.	26
3.3.	Sistema de Precalentamiento.	29
3.3.1.	Medición y Control de Temperatura.	30
3.4.	Diseño del Equipo.	32
3.4.1.	Diseño de la Matriz.	33
3.4.1.1.	Base de la Matriz.	34
3.4.2.	Diseño del Punzón.	35
3.4.3.	Diseño de los Accesorios para la Prensa.	40
3.4.3.1.	Soporte Superior.	40
3.4.3.2.	Soporte Inferior.	40
3.4.4.	Diseño de la Carcaza.	43
3.4.5.	Sistema de Alimentación.	44
3.4.6.	Ensamble del Equipo.	45

CAPITULO IV PROCESO EXPERIMENTAL

4.1.	Planteamiento del Proceso.	46
4.2.	Etapas del Proceso.	48
4.3.	Fabricación de Probetas Mediante otros Procesos.	55

CAPITULO V ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.	Ensayos de Tracción.	57
5.1.1.	Fundición en Arena.	58
5.1.2.	Colada en Matriz por Gravedad.	59
5.1.3.	Fundición Prensada.	60
5.1.4.	Proceso de Laminación.	61
5.2.	Análisis de la Microestructura.	62
5.3.	Resistencia Mecánica y Elongación.	64

CAPITULO VI CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones.

66

APENDICE A

69

APENDICE B

71

BIBLIOGRAFIA

74

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION.

En el año de 1976 se dió a conocer un nuevo proceso de fundición, consistía básicamente en un sistema que comprimía el metal en estado líquido dentro de una cavidad. Este sistema se aplicó por primera vez en la fabricación de ruedas de aluminio, obteniéndose resultados muy prometedores, presentando además un gran versatilidad en la fabricación de piezas con contornos complejos y lográndose también, buenas propiedades mecánicas. Este proceso abrió nuevas perspectivas en la fabricación de

elementos mecánicos, con miras de poderse aplicar en corto tiempo en la rama industria.

La conceptualización del sistema de fundición prensada se inicia en una empresa automotriz, para dar solución al problema que presentaban las ruedas de aluminio al deformarse durante la fase de solidificación. La empresa Toyota Motors presentó su caso en el año de 1975 a las industrias Ube para que idearan un sistema que evitara estos problemas. Como resultado de varios experimentos, ambas empresas desarrollaron un sistema que preveía esas deformaciones, llegando así a la elaboración de la máquina de fundición prensada, con la cual se obtenía una estricta tolerancia dimensional y se evitaban las deformaciones durante la solidificación.

En el año de 1987, estas industrias establecieron una compañía subsidiaria en el Japón, la empresa U-Molde, para fabricar ruedas de aluminio para vehículos, utilizando una placa rotatoria de tres estaciones y un sistema de compresión del metal, logrando con ésto producir ruedas para automóviles marca Cádillac y Pontiac. Demostrando así la versatilidad y confiabilidad de este sistema. Actualmente este equipo se encuentra operando en el Japón.

A pesar de su gran similitud con otros procesos de fundición, el sistema de fundición prensada consiste en depositar un metal en estado líquido dentro de una matriz precalentada, la cual se encuentra sujeta a la base de una prensa hidráulica, y mediante un punzón colocado en la parte superior, se comprime el metal dentro de la cavidad. La presión de operación fluctúa alrededor de 10,000 psi. (1.2 ton/cm²) y se mantiene aplicada hasta que se llevan a cabo las fases de solidificación y enfriamiento. El tiempo que se mantiene aplicada la presión, es proporcional a la temperatura de vaciado del metal y a la temperatura de precalentamiento del molde. La

pieza una vez en estado sólido es sacada de la matriz, y según los requerimientos, se le aplica un ligero acabado superficial.

Al igual que los otros procesos de fundición, en este proceso se pueden utilizar un amplio número de aleaciones de aluminio y metales suaves, además puede emplearse para unir satisfactoriamente fibras de refuerzos cerámicos dentro de una matriz de aluminio fundido, dando como resultado una alta resistencia y facilidad de operación.

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede inducir que los fines específicos de este trabajo, es dar a conocer los principios generales del proceso de fundición prensada, así como, los beneficios técnicos que se pueden obtener al sustituir este proceso por otros procesos de conformado. Además se tiene el firme propósito de que pueda llegar a ser utilizado próximamente en la industria como un nueva Tecnología de la Fundición, procurando con ésto, se produzcan piezas que logren una posición competitiva con respecto a otros procesos de conformado.

CAPITULO II

PROCESO DE FUNDICION PRENSADA

2.1 ANTECEDENTES.

Como ya se mencionó, el proceso de fundición prensada tiene sus orígenes en la fabricación de piezas para decoración, donde los requerimientos de aplicar altas presiones no son necesarios, pero sí el de manejar altas temperaturas.

Recientemente, este proceso se ha encaminado a la fabricación de piezas mecánicas, con el propósito de obtener buenos acabados superficiales y buenas propiedades mecánicas en

un solo ciclo, sin tener que aplicar otros tratamientos. Los antecedentes de este proceso para fabricar elementos mecánicos, se encuentran en los siguientes dos métodos:

2.1.1. PROCESO DE FUNDICIÓN CORTHIAS.

Este proceso fue ideado por un investigador llamado Corthias. Mediante éste es posible obtener piezas de paredes muy delgadas, y tiene su principal aplicación en la elaboración de utensilios ornamentales.

Este método, surge de amalgamar los procesos de colada en matriz por gravedad y el de matriz fija, pero se diferencia primordialmente porque una vez vaciado el metal, se introduce un corazón para compactarlo. El método es muy simple, y consiste en depositar una cantidad de metal fundido dentro de la cavidad del molde, de manera tal, que ésta sea llenada casi en su totalidad. Dicho molde, debe tener un extremo abierto para introducir el corazón de una manera muy justa, y aplicando una presión moderada, se logra forzar al metal hacia el interior, llenando los huecos del molde, como se muestra en la figura 2.1. Cuando el metal fundido ha llenado toda la cavidad del molde, se retira el corazón dejando la figura que contiene la matriz.

Cuando el molde se fabrica con un material no metálico, se pueden emplear aleaciones que presentan un amplio intervalo de solidificación, sin embargo, está limitado por la presión de operación, que no puede ser muy alta porque dañaría al molde, y por otro lado, si el molde es fabricado con un material metálico, entonces es posible aplicar altas presiones, pero se tiene el inconveniente de que el rango de aleaciones que pueden ser trabajadas, dependerán del material con el cual fue fabricada la matriz.

Cuando se emplea un molde no metálico, las piezas que se obtienen poseen una baja resistencia mecánica, por lo que sólo se les da una aplicación decorativa, aunque se logra obtener una buena precisión dimensional y un buen acabado superficial.

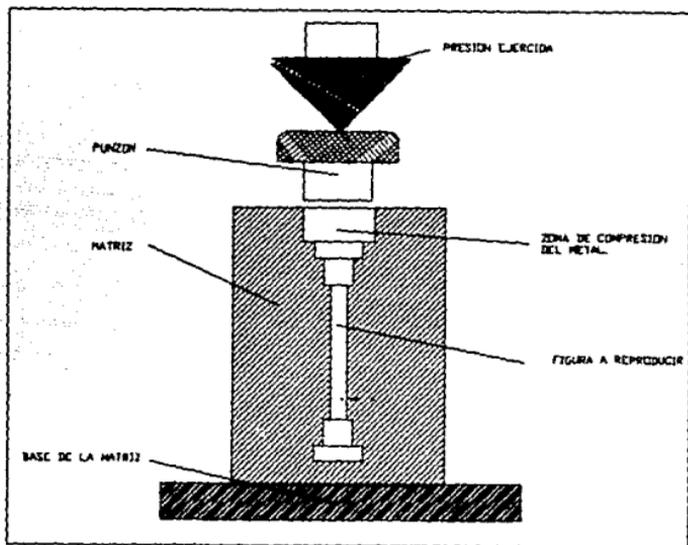


Figura 2.1. Elaboración de una probeta de tracción utilizando el sistema de compresión Corthias.

2.1.2. PROCESO DE ESTAMPADO DE ALEACIONES LÍQUIDAS.

El estampado de aleaciones líquidas, es otro proceso de fundición por compresión de metales blandos y sus aleaciones, bajo la presión de un émbolo, como se muestra en la figura 2.2. Al aplicar elevadas presiones, aproximadamente 49-147 Mpa ($500-1500 \text{ Kgr/cm}^2$), a cuenta de las deformaciones plásticas que

se presentan en la pieza al momento de solidificarse, tiene lugar la eliminación de los poros o defectos superficiales y la compresión de los poros de gas y aire, (sin dejar de considerar que estos gases disueltos en el metal prácticamente no se desprenden durante la solidificación), todo ésto da como resultado una pieza más compacta y resistente. Las elevadas velocidades de solidificación, contribuyen para lograr una microestructura granular más fina. Las mejoras en las propiedades mecánicas de la pieza son: la resistencia aumenta en 1.2 - 1.5 veces, y el alargamiento relativo y la resiliencia aumenta de 2 - 4 veces. Por sus propiedades las piezas se aproximan a las obtenidas por el proceso de forja.

La solidificación bajo la presión de un émbolo, es utilizada en la elaboración de lingotes y piezas perfiladas de paredes gruesas, haciéndose uso de diversas aleaciones ferrosas y no ferrosas.

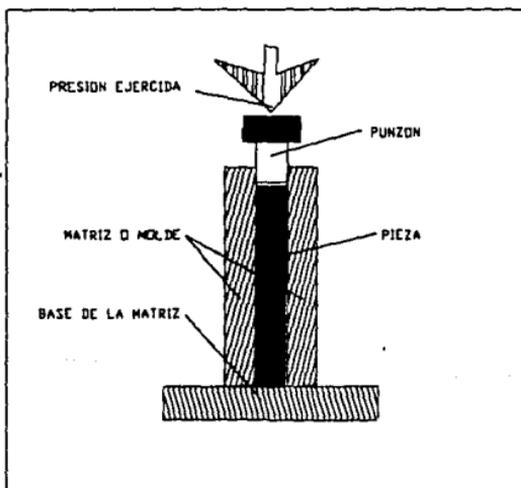


Figura 2.2. Elaboración de un cilindro mediante el proceso de estampado de metales líquidos.

Para el estampado de metales líquidos se emplean moldes metálicos desmontables y enterizos. El estampado de metales líquidos puede ser cerrado, como se observa en la figura 2.3., y abierto, como se ve en la figura 2.4. La masa fundida se vierte en el molde metálico bipartido o enterizo hasta un nivel determinado, y luego con un punzón a una velocidad de aproximadamente de 0.1 - 0.5 (m/s) se comprime en la cavidad del molde.

Los regimenes tecnológicos del estampado de metales líquidos, dependen de las propiedades de la aleación, de las dimensiones y del contorno de la pieza.

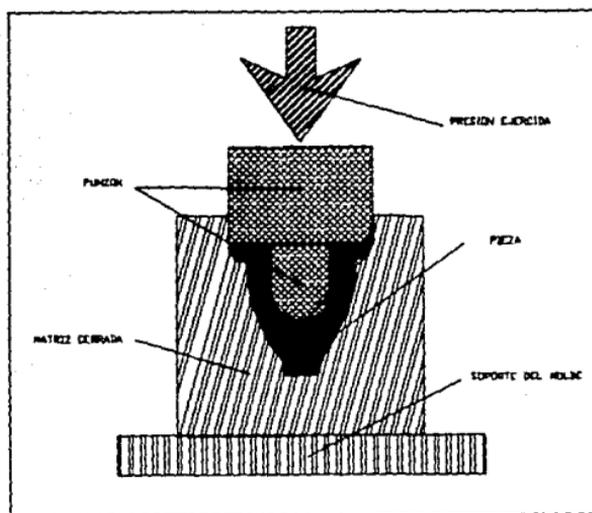


Figura 2.3. Elaboración de una vasija mediante el proceso de estampado de metales líquidos en una matriz cerrada.

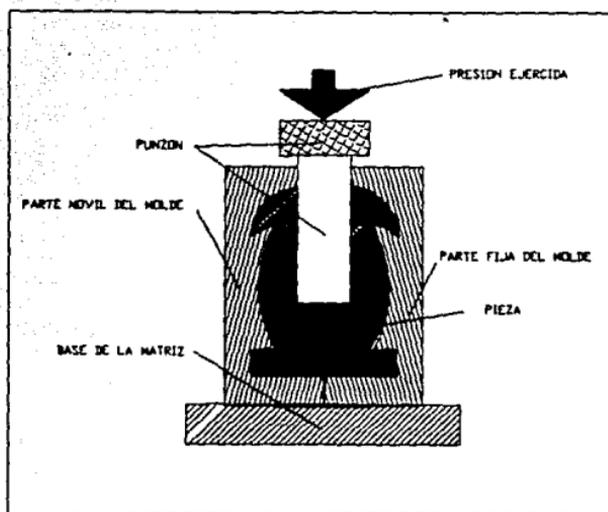


Figura 2.4. Elaboración de una manija mediante el proceso de estampado de aleaciones líquidas en una matriz bipartida.

Cuando una aleación presentan un amplio intervalo de solidificación, la presión que se requiere aplicar es generalmente mayor que cuando las aleaciones presentan un estrecho intervalo de solidificación. Cuanto más tiempo se mantenga el metal fundido en el molde antes de aplicar la carga y mientras más delgadas sean las paredes de las piezas, tanto mayores serán las presiones que se requieren para realizar un mejor prensado. La masa fundida en el molde debe estar aproximadamente de unos 50 a 100 °C más que la temperatura del líquidus de la aleación.

La elevación de la temperatura de vaciado provoca una

diferencia de temperaturas mayores, ocasionando un choque térmico, que a su vez ocasiona, porosidades o contracciones, al momento de solidificar la pieza, asimismo una reducción en la temperatura de vaciado, implica la necesidad de aplicar mayores presiones. Para evitar esto, se debe tener el punzón y la matriz precalentados a una temperatura de 180 - 240 °C antes de realizar el prensado del metal.

Debido a los elevados costos de fabricación de las matrices, y el gran consumo de energía para la fabricación las piezas, el proceso de estampado del metal líquido es utilizado solamente en la producción a gran escala.

2.2. PROCESO DE FUNDICION PRENSADA.

La configuración del diseño de la máquina del proceso de fundición prensada, que se emplea para la elaboración de elementos mecánicos, puede llegar a ser tan compleja como se desee. En las secciones siguientes mostraremos las configuraciones VSC y la HVSC diseñadas por las industrias Ube.

Ensiguida se detallan las etapas que componen el sistema de fundición prensada, desde la alimentación del metal líquido hasta la compresión.

Además, este proceso presenta una serie de características que lo hacen exclusivo para la fabricación de piezas que requieren tener: baja porosidad, bajo contenido de aire, buenas propiedades mecánicas y además buenos acabados superficiales.

El desarrollo del proceso, se basa principalmente en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación.

2.2.1. ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Para efectuar el llenado de la cavidad, se procede a inclinar el sistema unos 15° de la vertical, como se muestra en la figura 2.5., y mediante un pequeño crisol se vierte la cantidad necesaria del metal líquido, sin que se llene

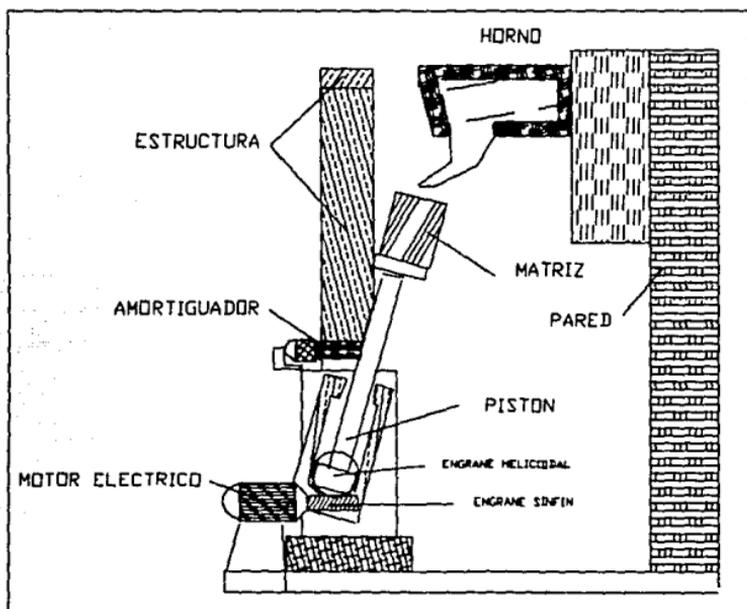


Figura 2.5. Sistema de alimentación del metal inclinandolo 15° para efectuar el llenado de la cavidad fuera de la línea de operación.

totalmente la cavidad, con la finalidad de permitir al punzón entrar ligeramente a la cavidad.

La inclinación de la matriz ayuda a evitar turbulencias en el metal líquido, al momento de depositarlo con el crisol,

disminuyendo así la cantidad de burbujas de aire en el metal.

2.2.2. ALINEACIÓN DEL SISTEMA

Depositado el metal en la cavidad del molde, se procede a realinear el sistema con la línea de compresión, como se muestra en la figura 2.6., en donde se localiza el punzón, y con el cual se efectuará el prensado del metal.

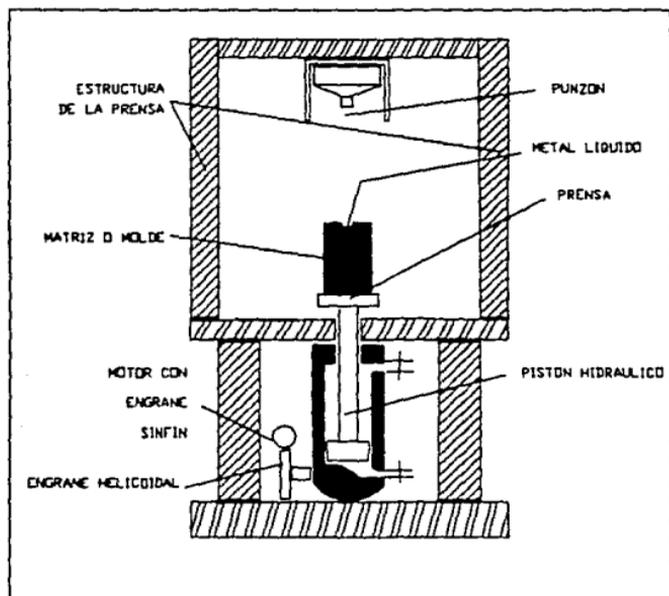


Figura 2.6. Realineación de la matriz con el sistema de compresión.

Esta etapa debe realizarse con suficiente cuidado, ya que la alineación de la cavidad con el punzón debe ser lo más justa posible, de lo contrario, cualquier desajuste podrá dañar

la punta del punzón o la superficie de la matriz al momento de llevarse a cabo el prensado.

2.2.3. AJUSTE EN EL SISTEMA DE COMPRESIÓN

Ya ajustado perfectamente el sistema de compresión con la cavidad, se procede a aproximar el punzón hacia la matriz, penetrando ligeramente en ésta, sin entrar todavía en contacto con el metal, como se muestra en la figura 2.7., la razón de esta aproximación es para precalentar ligeramente al punzón.

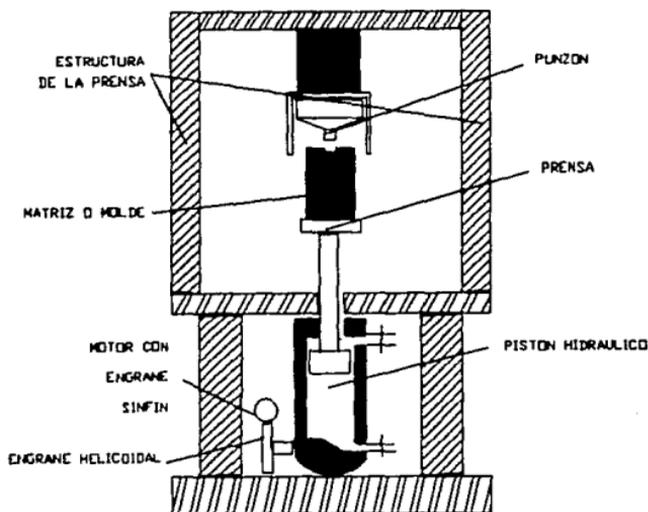


Figura 2.7. Preparación y ajuste de la cavidad y el punzón para efectuarse la compresión del metal líquido.

Al entrar en contacto físico al punzón con el molde, (el punzón queda justo en la cavidad del molde), se evita con ello

un severo choque térmico entre ellos.

2.2.4. COMPRESIÓN DEL METAL LÍQUIDO.

Después de que el punzón ha sido introducido en la matriz, y su temperatura se ha incrementado a la temperatura del molde, se procede a comprimir el metal en la cavidad, llenando todos los espacios y cavidades interiores del molde, como se muestra en la figura 2.8.

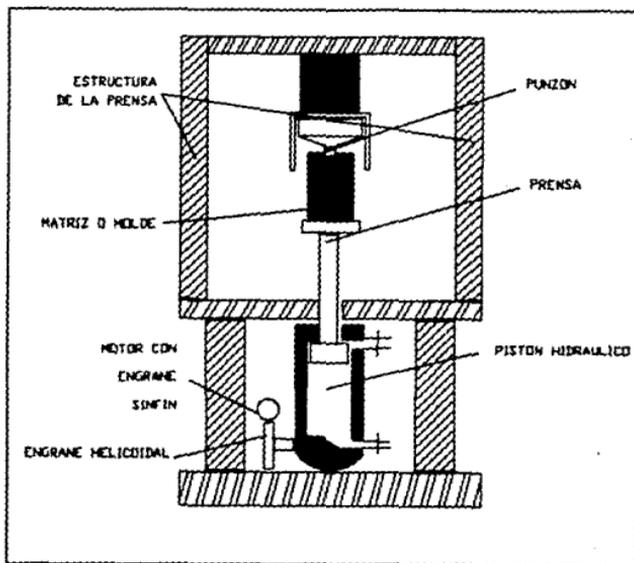


Figura 2.8. Se comprime el metal líquido hasta que se solidifica y se enfría.

En esta etapa el metal se encuentra en un estado de

transición de líquido a sólido, y dependerá por tanto de la temperatura de vaciado y de la temperatura de precalentado del molde, para determinar la presión que se va aplicar y por cuanto tiempo se mantendrá prensado el metal, reiterando que la presión se mantendrá aún después de que ha solidificado completamente, con la finalidad de garantizar una mejor microestructura.

2.2.5. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN PENSADA.

Cada una de estas etapas, proporcionan una serie de cualidades al proceso que contribuyen a mejorar la calidad de la pieza terminada. Entre dichas características podemos mencionar: buenos acabados superficiales; una microestructura granular más finas; además de poseer un reducido porcentaje de gases atrapados y, por último se logra obtener una excelente respuesta a cualquier tratamiento que requiera la pieza.

Como se ha descrito en hojas anteriores, este sistema de fundición consiste de cuatro etapas para cerrar el ciclo, agregando una quinta etapa como el acabado que la pieza requiera, debido a esto se estima que el tiempo de operación del sistema por las cuatro etapas primeras puede tener una duración entre 4 a 8 segundos, sin olvidar que esto depende de la configuración que se halla diseñado, esto puede llegar a ser una de las ventajas importantes para la producción a gran escala, lo cual en comparación con otros procesos de conformado de materiales, tales como la forja, colada en matriz por gravedad, la fundición en arena, etc., no es tan factible realizarlas.

Una segunda característica, es la posibilidad de poder automatizar el proceso, sin dejar de considerar que existen etapas que son muy costosa para automatizarlas, entre las que se puede mencionar: el llenado de la cavidad, la extracción de las piezas del molde, el terminado de la pieza, etc. Por otra parte

es fácil automatizar las operaciones de inclinación de la matriz, alineación del sistema y el prensado del metal que constituyen más de la mitad de las etapas de todo el proceso.

Una tercer característica, se encuentra en el sistema de inclinación, que utiliza una conexión mecánica para poder ofrecer un mantenimiento mínimo, y con ello permitir un movimiento rápido y suave. El movimiento se efectúa hidráulicamente, desde la posición final del eje, hasta la alineación con la línea de operación del sistema.

Una cuarta y última característica, es el vertido del metal en estado líquido cuando el mecanismo se encuentra inclinado fuera de la línea de operación, ya que con esto se evita cualquier daño a la prensa, como también, se minimizan turbulencias durante el llenado de la cavidad, de la misma manera, se logra desplazar gradualmente el aire que existe en la cavidad conforme se va llenando. Notemos que los gases atrapados tienen oportunidad de escapar por unos orificios de salida que previamente se fabricaron en el molde.

Entre las grandes limitantes que presenta el proceso de fundición prensada, es que sólo tiene capacidad para la elaboración de piezas que se realizan bajo una lenta alimentación, es decir, el tiempo que toma el vaciado del metal con el crisol, es aplicable solo en la fabricación de piezas de paredes gruesas y simétricas y; piezas relativamente pequeñas.

2.2.6. OTRAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA¹

2.2.6.1. SISTEMA DE COMPRESIÓN VERTICAL-VERTICAL (VSC).

Una de las máquinas diseñadas por la empresas Motors Toyota y las industrias Ube, es el Sistema Vertical-Vertical de

Compresión, en la cual utiliza una unidad de sujeción vertical y un sistema de alimentación también vertical. Esta máquina, fue diseñada originalmente para la fabricación de rines de aluminio, actualmente su campo de aplicación se ha extendido a la fabricación de accesorios automotrices. Este equipo, tiene solamente capacidad para fabricar piezas que se realizan bajo una lenta alimentación, tiene la finalidad de producir pieza de paredes gruesas y simétricas, además brinda la posibilidad de utilizar un sistema multi-molde.

2.2.6.2. SISTEMA DE COMPRESIÓN HORIZONTAL-VERTICAL (HVSC).

El Sistema de Compresión Horizontal-Vertical, utiliza una unidad de sujeción horizontal con un sistema de alimentación vertical, este método fué desarrollado para suplir las desventajas que presentaba la máquina anterior, es decir, la elaboración de piezas con paredes delgadas. El sistema de esta máquina consiste en acumular una gran cantidad de metal fundido en un depósito, para poder efectuar una rápida alimentación dentro de la cavidad, haciendo posible la elaboración de piezas automotrices más específicas.

Existe un factor importante para la reducción de aire en los productos fabricados con el sistema de fundición, el cual consiste en controlar el límite de velocidad durante el llenado del molde. No todos los productos pueden ser fabricados mediante este proceso, ya que su llenado es lento comparado con el de fundición a presión, y cuando las secciones son delgadas, se hace necesario aplicar un llenado rápido de la cavidad provocando en este caso, que el límite de velocidad de llenado

¹ Para mayor información consulte a CANACINTRA en la Sociedad Mexicana de Fundidores y a la Empresa Motors Toyota.

se aproxime al empleado en un sistema de fundición a presión. Sin embargo, la alimentación rápida causa problemas en el llenado de la cavidad, ya que aumenta la probabilidad de que quede aire atrapado.

2.2.7. APLICACIONES.

La aplicación de esta reciente tecnología, como ya se ha mencionado, se encuentra en su mayoría en la fabricación de piezas para automóviles tales como pistones, discos, varillas de conexión, múltiples, y en general piezas de espesor medio ($e > 4$ milímetros).

Las aplicaciones actuales y las que se logren desarrollar de este proceso, serán gracias al diseño realizado para fabricar de ruedas para automóviles, abriendo un nuevo camino para la producción de otro tipo de piezas.

Hay que considerar también la gran versatilidad y variedad de aleaciones de aluminio, incluyendo las serie 319, 256, 390, 2000, 7000 y otras que se pueden trabajar. En algunos casos ha sido posible utilizar la aleación de magnesio AZ91 en lugar de aleaciones de aluminio.

2.3 EL PROCESO DE FUNDICION PRENSADA VERSUS OTROS PROCESOS.

El sistema se está situando entre los procesos más prometedores, agrupándose como se muestra en la figura 2.9., sin embargo, no hay que olvidar que el sitio preciso aún no ha sido determinado, ya que es difícil discernir en que sitio termina un proceso y en donde comienza el otro.

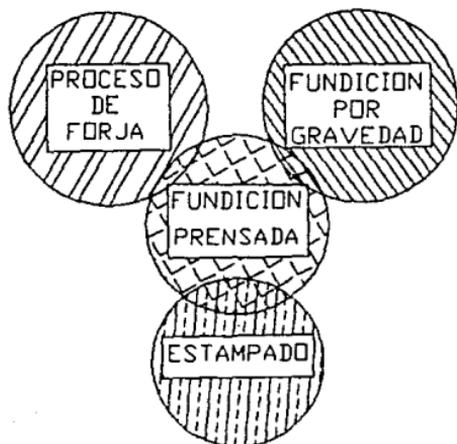


Figura 2.9. Ubicación técnica del proceso de fundición prensada respecto a otros procesos de fundición y estampado de aleaciones líquidas.

Independientemente de como se le clasifique, uno de los objetivos importantes de este trabajo es comparar sus características y alcances con respecto a otros procesos, de la misma manera se tratan de mostrar sus ventajas y desventajas tanto físicas, técnicas y económicas.

2.3.1. EL PROCESO DE FUNDICIÓN EN ARENA

La fundición en arena de materiales tales como el hierro colado, acero y metales blandos, se usa frecuentemente en la industria. Daremos una ligera descripción de los materiales de moldeo, y la fabricación del molde, comparándolo con el proceso de fundición prensada.

Los requerimientos fundamentales de la arena de moldeo

son: resistencia a las altas temperaturas, capacidad para conservar un perfil determinado y para soportar la carga mecánica impuesta por el metal líquido, permeabilidad (para permitir el escape de los gases) y compresibilidad (para permitir la contracción). Los ingredientes fundamentales de la arena de moldeo son: resistencia a las altas temperaturas, capacidad para conservar un perfil determinado y para soportar la carga mecánica impuesta por el metal líquido, permeabilidad (para permitir el escape de los gases) y compresibilidad (para permitir la contracción). Los ingredientes que aparecen a continuación ayudan a satisfacer estos requerimientos:

- La arena (que proporcione resistencia a las altas temperaturas y permeabilidad);
- El aglomerante (que proporcione rigidez);
- Aditivos (que proporcionen compresibilidad) y;
- Agua (para activar al aglomerante).

El tipo de arena de uso más extendido en las fundiciones es el sílice (SiO_2) o arena cuarzosa, la cual es abundante y barata. Sin embargo, debido a sus efectos perjudiciales sobre los pulmones, está siendo remplazada hasta cierto punto, por la arena olivínica, (especialmente para la fundición en acero). También se puede usar arena circónica, pero es más costosa. En la mayoría de los países, la arena natural esta siendo remplazada por arena sintética, la cual tiene un tipo específico de grano y una distribución granulométrica precisa. Los elementos del compuesto se añaden a las fundiciones. El aglomerante, que junto con el agua proporciona resistencia y conformabilidad, puede constituirse en: arcilla; silicato de sodio (proceso CO_2); aceites; resinas, etc.

En la arena de molde, generalmente se usa arcilla como aglomerante primario. Los tipos de arcilla son bentonita, caolinita, caolinita o ilita. Las cantidades varían de entre 5 y

20 % de la arena. El silicato de sodio y los aceites, se usan primordialmente para producir machos. Estos materiales, junto con los aditivos imparten alta resistencia. Las resinas se usan como aglomerantes primarios, tanto en moldes (para moldeo en coquilla o concha) como en hoyos o machos. El cereal (harina, almidón, destrina, etc.), el aserrín y el "Carbón de mar" se usan como aditivos para incrementar la resistencia, la permeabilidad, la calidad superficial y otras características, pero no se estudiarán en el presente contexto.

El contenido de agua en la arena de moldeo, generalmente es de 4 a 8 % cuando se usa arcilla como aglomerante primario. La arena de moldeo a base de arena, arcilla y agua, quizá con algunos aditivos, se llama arena verde.

Si se hornea un molde de arena a 100 - 300 ° C durante varias horas, se obtiene un molde seco. Cuando se utilizan moldes secos de arena, normalmente se añade el 1 - 2 % de harina de cereales y 1 - 2 % de brea. Los moldes de arena seca, ayudan a reducir las burbujas o porosidad de la fundición.

La arena de moldeo, debe recibir un mantenimiento muy esmerado y debe inspeccionarse frecuentemente para controlar sus propiedades.

La producción de moldes de arena se puede utilizar usando el enfoque morfológico, de tal manera que los procesos de moldeo se deben considerar en la misma categoría que los otros procesos de conformación. La forma del molde está determinada por la herramienta y por el patrón de movimiento. El principio de creación de superficies generalmente es la conformación total. La herramienta, que determina la forma de la cavidad, se llama modelo.

Para fabricar el molde, primero es elaborado el moldeo

para después producir el molde. Los moldes se producen en cajas de moldeo (armazones metálicos de 4 lados) que generalmente consisten en una semicaja superior y otra inferior. Las cajas de moldeo cuentan con manijas y pernos de guía para situar con precisión los semimoldes. Para facilitar la producción de moldes se han desarrollado muchas máquinas moldeadoras que aprisionan la arena de moldeo a gran velocidad hasta que alcanza una resistencia adecuada. Estas máquinas emplean, por ejemplo, un troquel de compresión combinado con un movimiento de sacudimiento o vibración para lograr una resistencia uniforme. La arena también puede ser arrojada a la caja mediante lanzadoras de arena obteniéndose una gran rapidez de producción.

Se ha hecho mucho esfuerzo por desarrollar métodos de fabricación de moldes que no requieren caja de moldeo.

Una vez descrito en breves líneas en que consiste el proceso de fundición de arena, procederemos a distinguir las diferencias entre ambos procesos. Como se puede comprender el proceso de fundición prensada tiene las siguientes ventajas sobre el de fundición en arena: el proceso es automatizable; la producción de piezas en un mismo molde es considerablemente mayor; es posible cronometrar su tiempo de duración; la relación beneficio-costos aumenta considerablemente; no se tiene necesidad de almacenar arena en bodega. Y entre las desventajas que ha primera vista resaltan son: no es posible fabricar piezas de gran tamaño; el costo inicial del equipo es considerablemente alto; es necesario tener equipo auxiliar de más alto costo (equipo de protección, etc.).

2.3.2. COLADA EN MATRIZ POR GRAVEDAD.

En el proceso de fundición por gravedad o molde permanente, la matriz se fabrica de metal o grafito, quizá revestido con un metal refractario. La colada por gravedad es un

proceso similar al de fundición en arena, pero se distingue de éste al ser remplazado por un molde metálico, a menudo fabricado de hierro colado.

Este proceso proporciona buenos acabados superficiales en los que pueden obtener tolerancias cercanas a 0.02 (cm/cm), se emplea sobre todo para aluminio, aleaciones de aluminio, zinc y aleaciones de zinc. Dependiendo de los requerimientos, el molde permanente se puede manejar manual o mecánicamente. La producción de piezas puede variar entre 500 a 40,000 fundiciones, distinguiéndose una buena relación económica entre el costo del equipo y la cantidad de piezas producidas. Este tipo de moldes es enfriado con agua en lugares críticos.

Ya descrito brevemente en que consiste el proceso, analizaremos las posibles ventajas y desventajas que tiene con respecto al de fundición prensada. El proceso de fundición prensada en sus primeras etapas, es similar al de colada en matriz, obteniendo de éste sus principales propiedades técnicas y económicas, pero se diferencia primordialmente por su siguiente etapa en la que se efectúa el prensado del metal adquiriendo con ello sus mayores propiedades físicas.

2.3.3. PROCESO DE LAMINACIÓN.

La laminación puede caracterizarse como: Un proceso de conformado mecánico, en el cual la deformación plástica es efectuada por rodillos, reduciendo su sección transversal e incrementando su longitud. La laminación se utiliza ampliamente en la manufactura de placas, perfiles estructurales, láminas, etc.

Para nuestro caso, lo utilizaremos en la fabricación de barras de sección circular en aluminio para hacer probetas de

tracción. Se produce un lingote por moldeo y a continuación se reduce su espesor en varias etapas, generalmente mientras está al rojo vivo. Puesto que la anchura del material de trabajo se mantiene constante, su longitud se incrementa de acuerdo con la reducción de espesor. Después de la última etapa de laminación en caliente se efectúa una etapa final en frío, para mejorar la calidad de la superficie, ajustarse a las tolerancias e incrementar la resistencia.

Los requerimientos del material (metales ferrosos o no ferrosos), deben poseer suficiente maleabilidad a la temperatura de conformado. La laminación en caliente, produce superficies ligeramente rugosas y tolerancias en el intervalo de 2 - 5 %. La laminación en frío, produce superficies muy lisas y tolerancias en el intervalo de 0.5 - 1 %.

Aunque es prácticamente imposible comparar las cualidades de dos procesos diferentes bajo un mismo patrón de referencia, haremos lo posible por analizarlo y diferenciarlos hasta quedar convencidos de sus cualidades.

Entre el proceso de fundición prensada y el proceso de laminación existen una serie de diferencias tan notorias, desde la manera en que se efectúa el proceso hasta los equipos utilizados en cada uno. Las ventajas tanto técnicas como económicas que presenta el proceso de fundición prensada, con respecto al de laminación son las siguientes: Se pueden obtener cientos de piezas con la misma calidad; en términos generales la elaboración de elementos son menos laboriosos; el consumo de energía es considerablemente menor; se pueden obtener las piezas con la figura deseada en una sola operación. Entre las ventajas más notorias del proceso de laminación podemos mencionar: su alta productividad, aunque hay que considerar que en la laminación solo se producen perfiles de sección transversal constante.

CAPITULO III

DISEÑO DEL HERRAMENTAL

3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA FUNDICION PENSADA.

Con el fin de poder producir piezas con las características tanto físicas como técnicas y además una buena calidad, el sistema de fundición pensada debe contar con las siguientes requisitos:

1. La cantidad de metal líquido, debe ser el suficiente para llenar por completo la cavidad del molde.
- 2.-El sistema completo debe diseñarse de manera tal, que el

llenado de la cavidad sea rápido y uniforme, con la finalidad de que todo el metal comience a solidificar al mismo tiempo.

3.-El diseño del sistema debe facilitar en lo posible la salida de aire y gases disueltos.

4.-Debe controlarse la temperatura del molde para:

-Evitar porosidades.

-Ayudar a que ninguna porción del metal solidifique antes que el flujo del mismo concluya.

-Enfriar la pieza rápidamente, con lo cual se garantizará una productividad elevada, y un mejor resultado en las propiedades de las piezas a fabricar.

5.-Y por último, la máquina tiene que mantener la presión el tiempo suficiente hasta que se lleve a cabo la solidificación de la piezas, y durante la etapa de enfriamiento.

3.2. MOLDES PARA FUNDICION PRENSADA.

Los moldes utilizados en la fundición prensada, se componen de una matriz bipartida, un punzón para efectuar la compresión del metal líquido, y una serie de accesorios de protección y sujeción para la prensa, además cuenta con un sistema de control y medición de temperatura.

Existen varias formas de fabricar las matrices para un proceso de fundición, enseguida detallaremos solo dos de ellos.

El primer método consiste en diseñar una de las partes del molde fija a la prensa y la otra móvil, para facilitar el

desarrollo del proceso, sin embargo, este método tiene el inconveniente de que un error cometido durante el maquinado en cualquiera de las partes de la matriz, causará problemas al momento de efectuar los experimentos o puede darse el caso de la pérdida total de la matriz.

El otro método, es utilizar un proceso de fundición por gravedad, y haciendo uso de cualquier material de fácil moldeado como la madera, el yeso, plástico, etc, se elabora el modelo, y posteriormente se fabrica con una fundición de alta resistencia. Una vez obtenido éste, se le aplica un tratamiento al cromo para darle un mejor acabado y obtener una mayor resistencia.

Basado en los métodos anteriores, se ha diseñado una matriz semifija, es decir, una de las partes esta simplemente atornillada a una base, que se encuentra sujeta a la prensa, dicha base tiene la facultad de desplazarse de un lado para el otro, corrigiendo con ello cualquier error de maquinado, es decir, se ajusta el equipo durante los experimentos.

La cavidad del molde que contiene el perfil de la pieza que se va a reproducir, se obtiene maquinando directamente las dos mitades que van a constituir la matriz.

Ambas partes de la matriz deben contar con un sistema de guías para asegurar una alineación perfecta al momento de unir las, logrando además, evitar cualquier fuga de metal fundido.

Se ha diseñado el sistema de tal manera, que la pieza obtenida una vez solidificada, permanezca en cualquiera de las caras del molde, y sacarla en forma manual, o como caso alternativo, diseñar un mecanismo de expulsión para separarla del molde.

Para la fabricación del molde se utilizó el acero H-12,

el cual tiene la siguiente composición: carbono (0.30--0.40); silicio (0.90--1.10); manganeso (0.10--0.40); cromo (5.00--5.50); molibdeno (1.25--1.75); vanadio (0.20--0.50) y tungsteno (1.00--1.55).

Este tipo de material es utilizado en la fabricación de moldes de fundición a presión, en él se pueden elaborar piezas de aluminio, cobre, aleaciones como zamak, latón, y otros, asimismo este material se utiliza en la fabricación de herramientas para forjado, estampado y en la elaboración de tornillos, tuercas y remaches en caliente.

Las matrices elaboradas con este material, poseen una dureza al rojo, y una resistencia considerable al desgaste y a altas temperaturas de trabajo, además, pueden resistir severos choques térmicos sin agrietarse por el calor, aún si se les calienta y enfría rápidamente, de igual manera resiste impactos y altas tensiones mecánicas. Este acero posee una alta resistencia al baño, y a la acción corrosiva de materiales fundidos.

El acero H-12 es recomendable para fabricar moldes en los cuales se van a fundir metales no ferrosos y aleaciones de metales blandos; así como para estampar en caliente tales metales; para dados de forja e insertos en los mismos; para cabezadoras y mordazas enfriados por agua en la fabricación de tornillos; herramientas para rebarbear y, trabajos en caliente. También se usa en herramientas para la extrusión de metales ligeros, como son dados, mandriles, placas de prensa y camisas. En la extrusión de aleaciones de cobre, el H-12 se recomienda para émbolos de presión, camisas y mandriles.

El acero H-12 se suministra en barras forjadas o laminadas, en tejos forjados, recocidos a una dureza brinell 180 - 210, y en bloques para dados, ya tratados, que no

requieren más tratamientos térmicos.

3.3. SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE LA MATRIZ

El sistema de precalentamiento de la matriz va unido biunívocamente con los elementos de regulación de temperatura (medición y control) que permiten mantener al molde a la temperatura de operación. Constituye uno de los aspectos más importantes dentro del proceso de formación de piezas, ya que mediante éste se evitan choques térmicos severos, se minimizan los defectos superficiales y se aumentan las propiedades mecánicas.

Es posible comprobar experimentalmente que las propiedades mecánicas de las piezas presentan variaciones que dependen directamente de la temperatura de precalentamiento del molde y así como de la temperatura de vaciado, ya que una gran diferencia entre estas temperaturas constituye una de las causas principales para la formación de defectos superficiales.

En nuestro caso en particular, se ha diseñado el sistema de precalentamiento colocando un resistencia eléctrica en cada una de las partes del molde, como se puede ver en la figura 3.1. El rango de temperatura que podemos obtener mediante este par de resistencias es de aproximadamente 0 a 240 °C, siendo lo suficiente para minimizar el choque térmico entre el metal fundido y la matriz.

Con el diseño propuesto de precalentamiento del molde, mediante un par de resistencias eléctricas, se logra tener una mejor distribución de la temperatura a lo largo y ancho de la matriz, además se han introducido por la parte inferior para evitar un contacto físico con metal líquido y procurar un corto circuito.



Figura 3.1 Muestra la ubicación de las resistencias eléctricas para el precalentado de la matriz.

3.3.1. MEDICIÓN Y CONTROL DE TEMPERATURA.

Como ya se mencionó en el capítulo 2, la necesidad de precalentar la matriz, así como variar esta temperatura de precalentado para conocer los efectos que se tienen sobre las propiedades mecánicas en la pieza.

Para regular la temperatura de precalentamiento se ha instalado un dispositivo, el cual está conectado directamente la

la matriz, y mediante él se registra en un pirómetro la temperatura a la que se encuentra el molde.

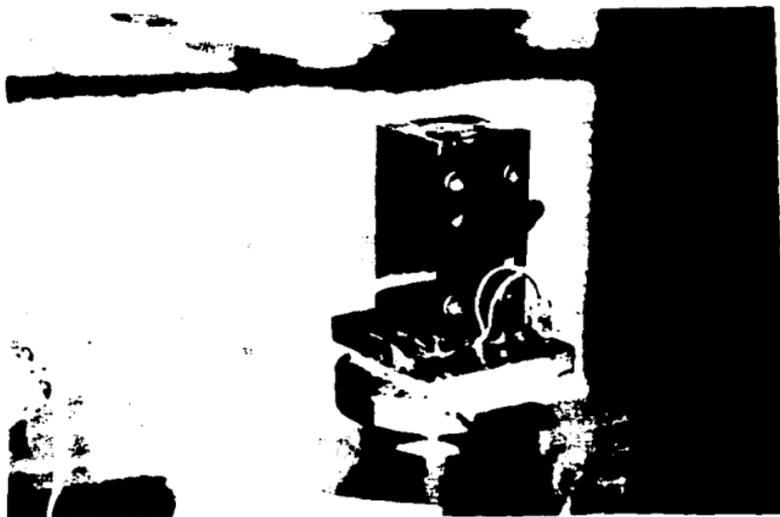


Figura 3.2. Colocación del termopar en la matriz para registrar la temperatura de precalentamiento.

Por otro lado, la temperatura se controla con un termostato instalado en la parte fija de la matriz, con el cual se selecciona la temperatura de operación. Este dispositivo está conectado directamente con las resistencias eléctricas. El termostato y el termopar actúan conjuntamente para establecer la temperatura de operación del sistema.

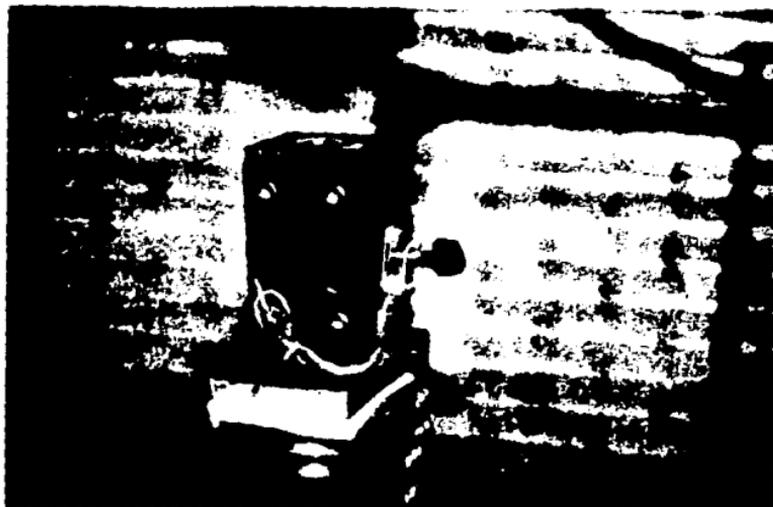


Figura 3.3. Muestra la colocación del termostato a un costado de la matriz para regular la temperatura de precalentamiento

3.4. DISEÑO DEL EQUIPO.

Conociendo el principio de operación del sistema de fundición prensada y sus etapas podemos intuir que la fabricación del equipo es bastante costosa. Esto nos orilló a realizar un diseño lo más simple posible, y poder utilizar la máquina INSTRON que se localiza en el Laboratorio de Pruebas Mecánicas de la Facultad de Ingeniería.

La máquina INSTRON que se utilizó para efectuar la compresión del metal cuenta con las características necesarias para llevar a cabo el proceso, y cumple con los requisitos que

proceso de fundición prensada demanda: buen control de velocidad de compresión, alcanzar altas presiones y posibilidad de mantenerla aplicada el tiempo suficiente hasta que la pieza solidifica completamente.

Para utilizar esta prensa fue necesario fabricar una serie de accesorios de protección, los cuales serán detallados en la secciones siguientes.

3.4.1. DISEÑO DE LA MATRIZ O MOLDE.

El objetivo que se busca al utilizar el proceso de fundición prensada, es obtener piezas que logren casi un acabado final en un solo ciclo, es decir, después de sacada la pieza del molde, se le aplique un acabado sencillo para darle una mejor presentación, si lo requiere, para ello es necesario que el molde tenga la figura a reproducir con el mejor acabado posible.

El diseño de la matriz debe ser de forma tal que permita ser desmontable, y que brinde una fácil operación durante el desarrollo experimental. Para ello una parte se diseño para que se encuentre sujeta al soporte del molde, mientras que otra sea móvil, facilitando la extracción de la pieza una vez terminado el ciclo, sin necesidad de desmontar completamente la matriz.

El modo de sujeción entre ambas cara debe ser lo más hermético posible, esto se consigue perforando con cuatro agujeros una de las partes del molde y machueleando en la contraparte respectiva de la otra pieza. En dichos orificios se introducen tornillos allen de 3/8 [pul] (ver el plano uno).

Como el diseño de nuestra matriz es semifija, es necesario sujetarla primero a una base y ésta a su vez al soporte de la prensa.

Para sujetar firmemente la matriz a la prensa, se machuelean dos orificios en la parte fija del molde, y se introducen dos tornillos allen de 3/16 [pul], (ver el plano uno).

Por otro lado, cuando se realiza la alimentación del metal, existe una gran posibilidad de que se formen burbujas de aire, por lo que se diseña un conducto en la parte inferior de la matriz que permita la salida del aire. (ver el plano dos).

Además en la parte inferior de cada una de las partes de la matriz se tienen dos cavidades por las cuales se introduce las resistencias eléctricas, también con el fin de que al momento de realizar el vaciado del metal no se quemen los cables de las resistencias y se produzca algún corto circuito.

Para instalar el termopar y termostato, se elaboraron dos orificios, uno del lado izquierdo donde se introducirá el termopar y el otro del lado derecho en el cual se ha machuelado el centro a 1/4 para sujetar el termostato, (ver el plano dos).

3.4.1.1. BASE DE LA MATRIZ.

Esta pieza se diseña como un sistema de ajuste entre el molde y el punzón (ver plano tres), permite corregir cualquier error de maquinado en la matriz o algún desajuste al momento de aplicar la presión, brindando la posibilidad de realizar el prensado uniformemente sobre el metal.

Además, se utiliza como aislante térmico entre la matriz precalentada y la prensa, ofreciendo la posibilidad de colocar una placa de fibra de asbesto entre estas piezas y brindar un mejor aislamiento.

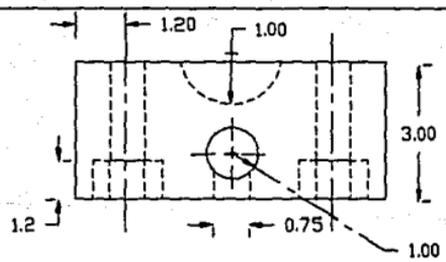
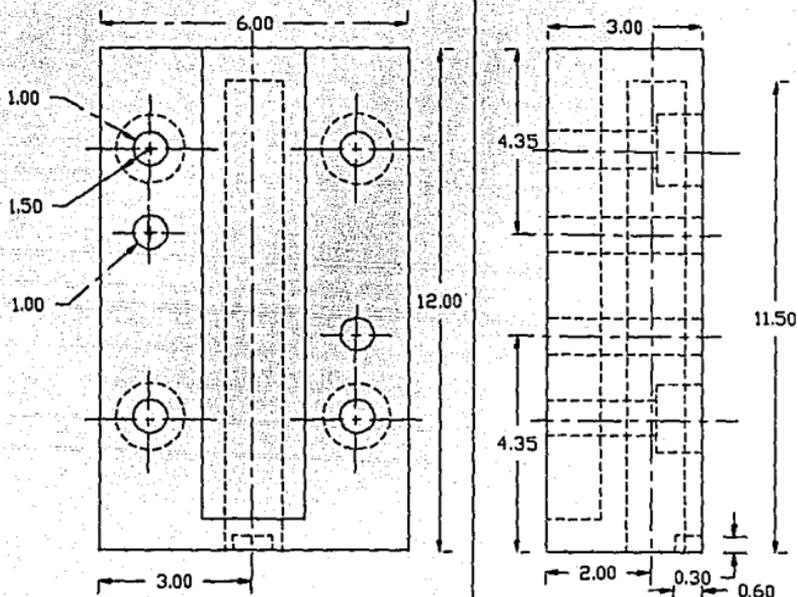
El material con el cual se fabrica esta pieza es de un acero 1018 laminado en frío, ya que sus funciones no ameritan que sea un material especial por estar solamente sujeto a cambios de temperatura y a compresión, sin que con ello se afecten las propiedades de nuestras piezas. Por lo anterior es también innecesaria la aplicación de un tratamiento.

3.4.2. DISEÑO DEL PUNZÓN.

De las etapas importantes del proceso es la compresión del metal, por lo tanto, para no incurrir en fallas durante la operación, esta pieza debe cumplir con los siguientes requisitos: elevada resistencia mecánica a altas temperaturas, deformación elástica al momento de aplicar la carga se prácticamente nula, etc.

En Base a las características anteriores se decidió fabricar el punzón con el mismo material con el cual se fabricó la matriz, (ver el plano cuatro), el acero especial H - 12, garantizando los requerimientos necesarios que el proceso demanda.

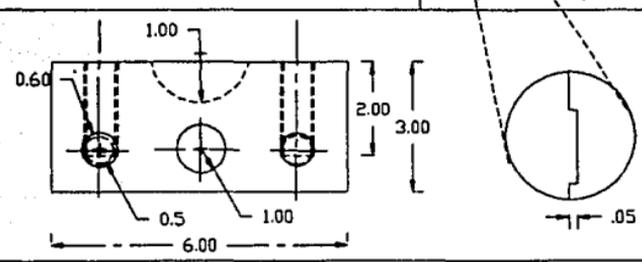
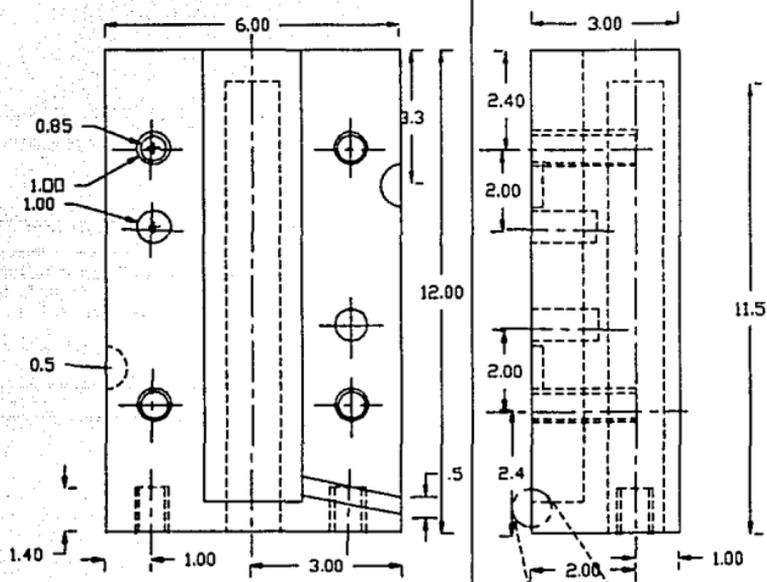
Esta pieza fue sometida a un tratamiento térmico de templeado (ver apéndice A) para asegurar su efectividad durante la etapa de compresión del metal.



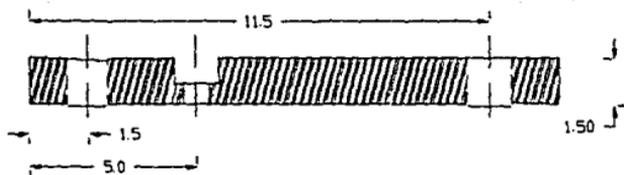
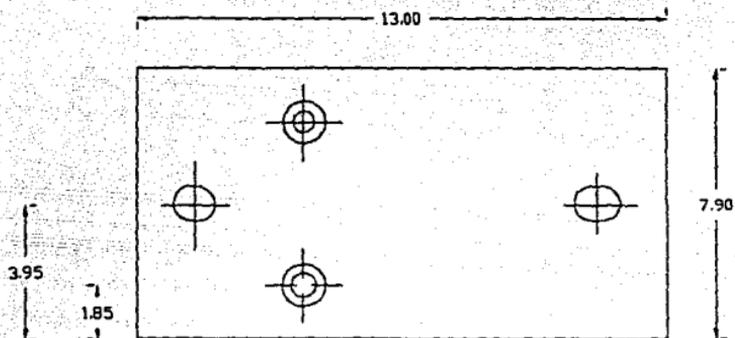
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.	OSCAR ESPINOZA RANGEL
---------------------------------	-----------------------

TESIS: FUNDICION PRENSADA	PARTE MOVIL DE LA MATRIZ
---------------------------	--------------------------

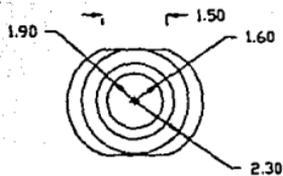
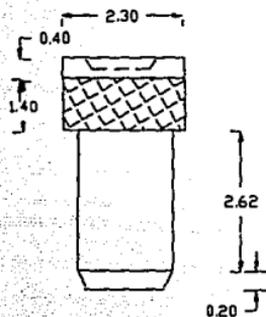
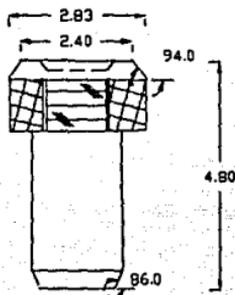
MAT: ACERO H-12	ACOTACION EN [CM] ± 0.05	PIEZA No 1
-----------------	--------------------------------	------------



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.	OSCAR ESPINOZA RANGEL
TESIS: FUNDICION PRENSADA	PARTE FIJA DE LA MATRIZ
MAT: ACERO H-12	ACOTACION EN [CM] ± 0.05 PIEZA No. 2



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.	OSCAR ESPINOZA RANGEL	
TESIS: FUNDICION PENSADA	SOPORTE DEL MOLDE	
MAT: ACERO 1018	ACOTACION [CM] ± 0.05	PIEZA No.3



TESIS: FUNDICION PRENSADA

OSCAR ESPINOZA RANGEL

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PLANO CUATRO: PUNZON

ACOTACION [CM]

TRATAMIENTO: TEMPLADO

MATERIAL: ACERO H - 12

3.4.3. DISEÑO DE LOS ACCESORIOS PARA LA PRENSA.

A continuación se detalla cada una de las partes.

3.4.3.1. SOPORTE INFERIOR.

Este accesorio se diseñó con el propósito de fijar firmemente el molde a la prensa, ésto se logra mediante 6 tornillos allen de 5/16 [pul], (ver el plano cinco), además sirve como aislante térmico y protección de la prensa.

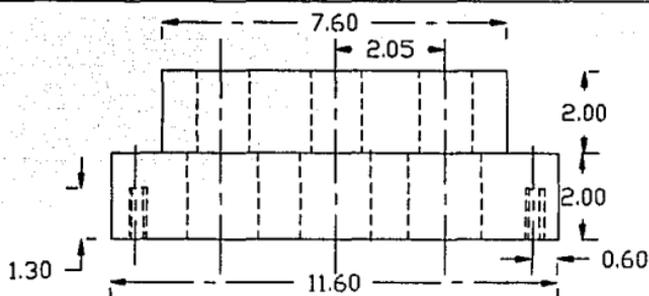
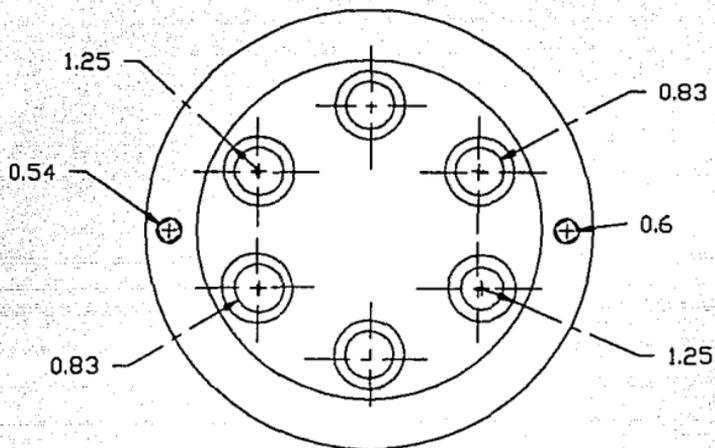
Esta pieza se fabrica con un acero 1018, ya que la función que realiza no implica el utilizar un acero especial o la necesidad de aplicar un tratamiento.

3.4.3.2. SOPORTE SUPERIOR.

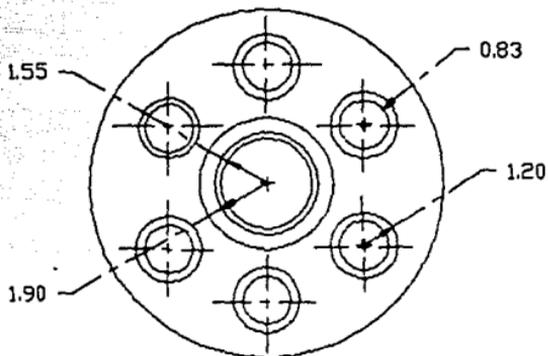
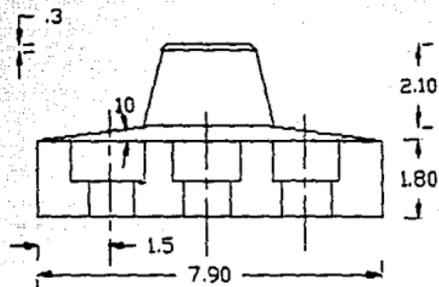
Este accesorio esta diseñado con dos fines, el primero, aplicar la presión uniforme sobre la cavidad, y el segundo, centrar el punzón con la cavidad cuando se aplica la carga, es decir, ayuda ajustar el molde a la prensa por cualquier error cometido durante el maquinado. De la misma manera, nos da la oportunidad de sustituir el punzón si por alguna razón resultara dañado durante el proceso.

Esta pieza se encuentra sujeta a la parte superior de la prensa mediante 6 tornillos allen de 5/16 [pul], (ver plano seis). De la misma manera que el soporte inferior es utilizado como aislante y protección de la prensa.

El material con el que es fabricada esta pieza es un acero 1018, debido a que las operaciones que realiza no involucran ningún tipo de trabajo especial, excepto el de compresión, protección y ajuste con la matriz.



TESIS: FUNDICION PRENSADA		OSCAR ESPINOZA RANGEL	
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.		PLANO CINCO: SOPORTE INFERIOR	
ACOTACION [CM]	SIN TRATAMIENTO	MATERIAL: ACERO 1018	



FACULTAD DE INGENIERIA UN.AM.	OSCAR ESPINOZA RANGEL
-------------------------------	-----------------------

TESIS: FUNDICION PRENSADA	SOPORTE SUPERIOR DE LA PRENSA
---------------------------	-------------------------------

MAT: ACERO 1018	ACOTACION [CM] ±.05	PIEZA NO. 6
-----------------	---------------------	-------------

3.4.4. DISEÑO DE LA CARCAZA.

Una de las preocupaciones más importantes dentro del desarrollo experimental, es proteger el equipo y al personal que realizan los experimentos, motivo por el cual se fabrica una carcaza que cumpla con los siguientes requisitos: primero, aislar al equipo y al personal que realiza los experimentos y segundo, utilizarlo como recipiente para colocar internamente un aislante térmico, como se muestra en la figura 3.4., con la finalidad de mantener la temperatura más estable durante los experimentos.



Figura 3.4. Muestra la forma en la que protege a la matriz para evitar cualquier tipo de daño tanto al equipo como al personal.

El Material con el que se fabricó esta coraza es lámina calibre 14, la cual consiste de las siguientes partes: una caja, una puerta y dos cubre techos perforados por donde se vierte el

metal. Esta pieza se sujeta al molde presionándola contra la base de la matriz.

3.4.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

El sistema diseñado es manual, y su funcionamiento es muy sencillo, básicamente consiste en una serie de embudos unidos, como se muestra en la figura 3.5., en forma tal, que el



Figura 3.5. La pieza muestra la forma más sencilla de realizar la alimentación del metal líquido sin riesgo de dañar la máquina.

suministro de metal líquido, se efectúa totalmente afuera de la línea de operación, protegiéndose así la máquina y el operador que realiza la alimentación. El material con el cual se fabricó esta pieza es de lámina calibre 14.

3.4.6. ENSAMBLE DEL EQUIPO.

Como última parte del proceso, y quizá tan importante como la descripción de cada una de las piezas que conforman el equipo, es el ensamble del mismo, en él se pueden visualizar claramente las pros o contras del sistema diseñado. La figura 3.6., muestra el sistema ensamblado.

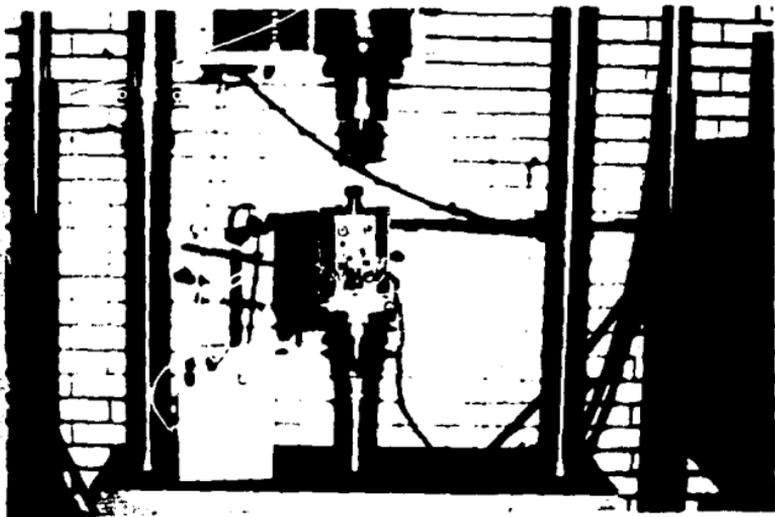


Figura 3.6. Se muestra la configuración final del diseño empleado para comprobar la efectividad del proceso.

CAPITULO IV

PROCESO EXPERIMENTAL

4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROCESO

El objetivo de este trabajo, es comparar las propiedades mecánicas del proceso de fundición prensada con otros procesos de conformado, ésto se realizará mediante la elaboración de probetas de tracción para cada uno de los siguientes procesos: fundición prensada, colada en matriz por gravedad, fundición en arena y laminación, y posteriormente, y en base a los resultados de los ensayos de tracción, y al análisis de la microestructura, demostrar las ventajas y desventajas que nos ofrece el proceso de fundición prensada.

El material que se ha escogido para la elaboración de las probetas es aluminio, por sus propiedades físicas y por ser un metal blando de fácil manejo, además es relativamente barato. Por otro lado sabemos que su punto de fusión fluctúa alrededor de los 670 °C, lo cual nos brinda la posibilidad de fundirlo en un horno moderadamente pequeño.

Para la fusión del aluminio se utilizó un horno eléctrico, el cual se colocó lo más próximo posible a la prensa, como se muestra en la figura 4.1., con el propósito de poder efectuar la alimentación manualmente y con rapidez.

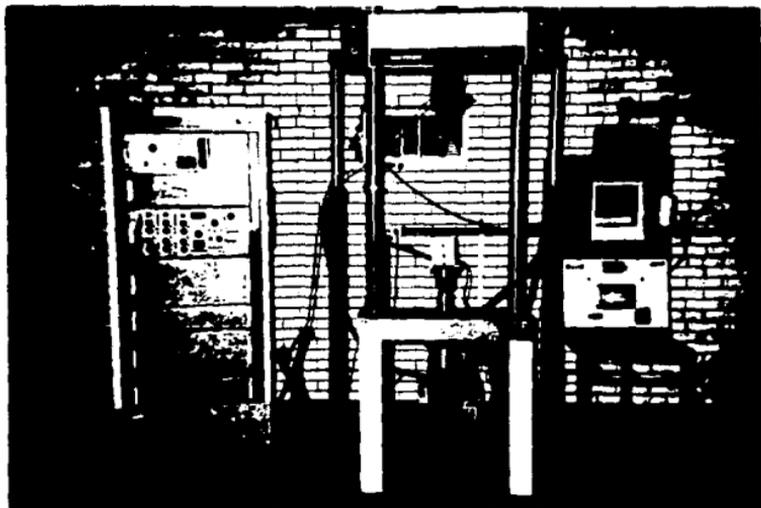


Figura 4.1. Muestra la colocación del horno eléctrico con el propósito de poder efectuar la alimentación manualmente.

Para facilitar la elaboración de las probetas de

tracción, se decidió fabricar cilindros sólidos, y posteriormente maquinarlos hasta darles la forma de probetas para tracción, resultando más económico y sencillo, que si se hubieran fabricado directamente para cada uno de los procesos.

El maquinado de estos cilindros se realiza sobre un torno de control numérico, haciéndose uso de un programa prediseñado (apéndice B), con el cual obtenemos la forma de las probetas de tracción.

4.2. ETAPAS DEL PROCESO.

En el capítulo 2 se dieron los fundamentos básicos del sistema de fundición para llevar a cabo el proceso. En esta sección, nos ocuparemos de dar un seguimiento a cada una de las etapas, en base a nuestra configuración, considerando el análisis desde la instalación del sistema, hasta la obtención de las probetas.

Con el equipo descrito en el capítulo 3, podemos obtener las características mínimo necesarias para cumplir con los requerimientos principales del sistema de fundición prensada.

A continuación se describen los pasos a seguir, para efectuar el proceso, realizando un análisis a detalle de las condiciones de operación en cada una de ellas:

PREPARACIÓN DEL SISTEMA .- Esta primera etapa se puede subdividir en una serie de fases, entre ellas están: fundición del aluminio dentro de un horno eléctrico a la temperatura de operación; instalación del sistema en la prensa hidráulica; precalentamiento de la matriz y; preparación del sistema de

alimentación del metal. Enseguida se describe cada una de estas operaciones:

Lo primero es colocar la cantidad necesaria de aluminio comercial dentro de un pequeño crisol e introducirlo en el interior del horno eléctrico, posteriormente se pone a calentar hasta la temperatura de operación, esta temperatura puede variar en el intervalo de 750 C a 850 C (es necesario considerar que la temperatura del metal es menor que la registrada por el horno), con lo que se logra fundir completamente el aluminio hasta su estado líquido. El tiempo que toma el horno en alcanzar la temperatura es de aproximadamente una hora.

Mientras el horno se aproxima a la temperatura de operación, se procede a instalar el sistema diseñado en la prensa hidráulica, considerando todos los accesorios de protección, como se muestra en la figura 4.2. También durante esta etapa se colocan capas de fibra de asbesto entre la carcasa y el molde, con el fin de evitar al menor grado las pérdidas de energía, es decir, que el flujo de energía hacia el exterior se minimice en lo posible; de igual forma se coloca una placa de fibra de asbesto entre el soporte inferior de la prensa y la base de la matriz, evitando con ello el flujo de calor hacia el cilindro maestro de la prensa.

Una vez que se ha terminado de instalar el equipo, se procede a precalentar la matriz a una temperatura de operación entre 180 C y 240 C variándose de acuerdo con los experimentos, ésto se logra mediante dos resistencias eléctricas colocadas internamente en cada una de las partes del molde.

La temperatura se regula mediante el termostato y se registra en el termopar, la temperatura es medida mediante un pirómetro.

La última fase de esta etapa es el precalentado del embudo de alimentación, basándonos en el hecho de que se facilitará la fluencia del metal líquido y evitará una prematura solidificación cuando se está llenando la cavidad.

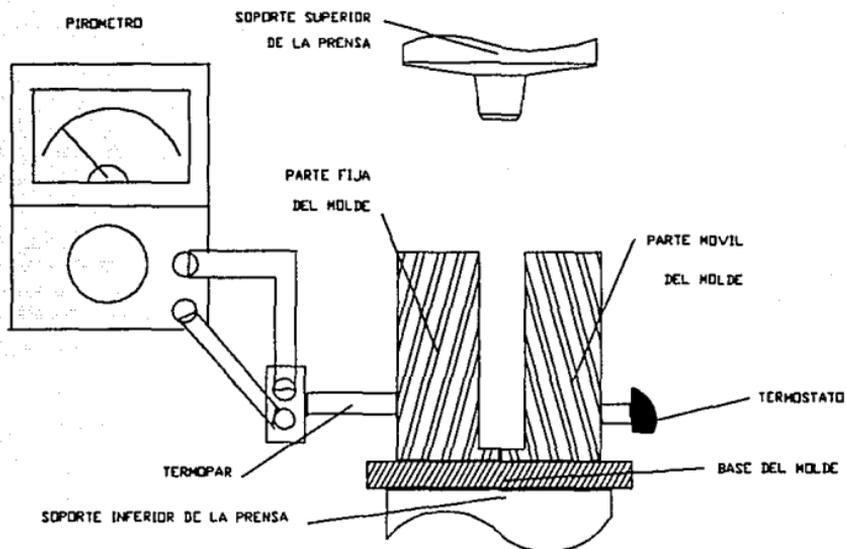


Figura 4.2. Instalación de la matriz en la prensa hidráulica con todos los accesorios de protección y medición.

Como se puede apreciar, esta parte del proceso es importante, por la serie de preparativos que se tienen que realizar, para poder cumplir satisfactoriamente con el desarrollo de la fase experimental.

ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.- Esta etapa requiere de absoluta concentración y de la mayor atención posible, ya que

por un lado se tiene que depositar cuidadosamente la cantidad necesaria de metal en estado líquido dentro de la cavidad y por otro, la temperatura que se maneja es bastante alta y peligrosa, lo que conlleva a que cualquier descuido puede ocasionar daños irreparables.

Cuando el sistema se encuentra en las condiciones de operación y con el embudo precalentado, se procede a llenar la cavidad. La alimentación se efectúa de la siguiente manera: mientras una persona sujeta el embudo fuera de la línea de operación, como se muestra en la figura 4.3., otra deposita mediante un crisol el metal fundido hasta que se llena la cavidad, dejando aproximadamente 3 [mm], antes de que alcance la superficie superior de la cavidad, donde posteriormente se introducirá el punzón aproximadamente un 1.5 [mm].

El tiempo que toma el vertido del metal fundido dentro de la cavidad es importante, ya que de éste dependerá que el metal fluye libremente o se solidifique prematuramente, manifestándose en las propiedades mecánicas de la pieza o provocando problemas tanto de taponéo del embudo, como malformaciones en la superficie de la pieza y, sobre todo, la imposibilidad de comprimir el metal, provocando una falla general en el desarrollo del experimento.

Podemos concluir que en esta etapa, el aumento de las propiedades mecánicas de la pieza terminada, dependerán de la rapidez con la que se realiza el llenado de la cavidad, así como del tiempo que toma el comprimir el metal.

Por último, una vez llena la cavidad hasta el límite deseado, se procede a colocar el punzón dentro del molde, para comenzar a ejercer la presión.

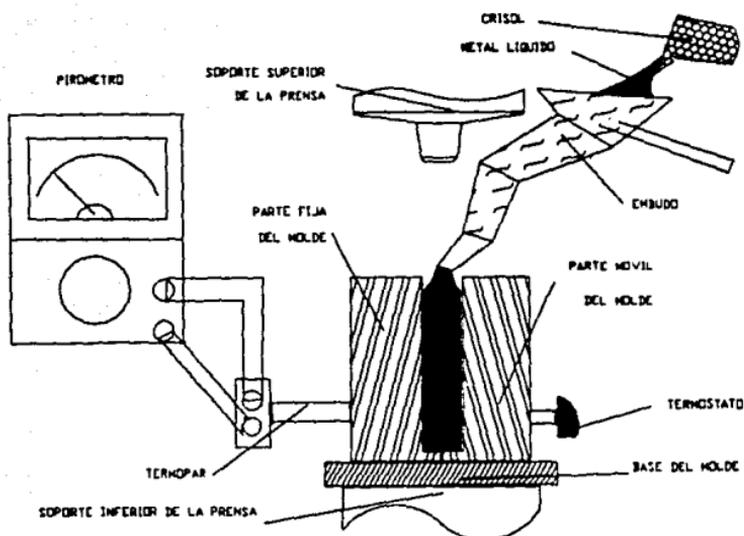


Figura 4.3 Alimentación del sistema mediante el embudo, del metal en estado líquido.

COMPRESIÓN DEL METAL.- En esta tercera parte, podemos distinguir varias facetas, entre las que se encuentran: colocación del punzón para que sea precalentado; la compresión del metal debe hacerse rápidamente y, aplicar un enfriamiento rápido.

Es importante que el punzón entre en contacto con el molde precalentado antes de que se realice la compresión, ya que con ello tendremos la seguridad de que el choque térmico entre el punzón y el metal líquido al momento del prensado no será tan violento.

El hecho de que se introduzca el punzón en la cavidad tiene dos fines, como ya se mencionó, primero que se precaliente y segundo que se alinee con el sistema de prensado, logrando con esto que se aplique la presión uniformemente sobre

la cavidad, figura 4.4. La presión de operación fluctúa alrededor de las 2 [ton/cm²], procurando mantenerla durante las etapas de solidificación y enfriamiento.

El enfriamiento del molde, se realiza mediante un ventilador que se encuentra instalado en la parte posterior de la prensa.

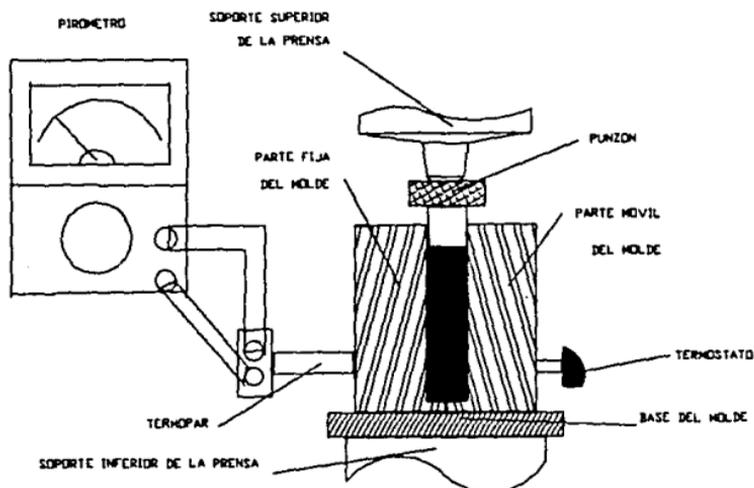


Figura 4.4. Aplicación de la carga sobre el metal para obligarlo a llenar la cavidad y prensarlo contra el propio molde.

Un detalle importante del desarrollo de esta etapa, consiste en mantener el punzón alineado con el sistema de compresión, ya que de otra manera se corre el riesgo de deformar seriamente a la matriz.

EXTRACCIÓN DE LA PIEZA TERMINADA.- Cuando la pieza ya se ha enfriado completamente se procede a extraerla del molde. La pieza producida es un cilindro que tiene aproximadamente un diámetro de .2 [cm] y una longitud de 11.5 [cm], como se muestra en la figura 4.5., esta pieza es maquinada hasta darle la formar de una probeta de tracción.

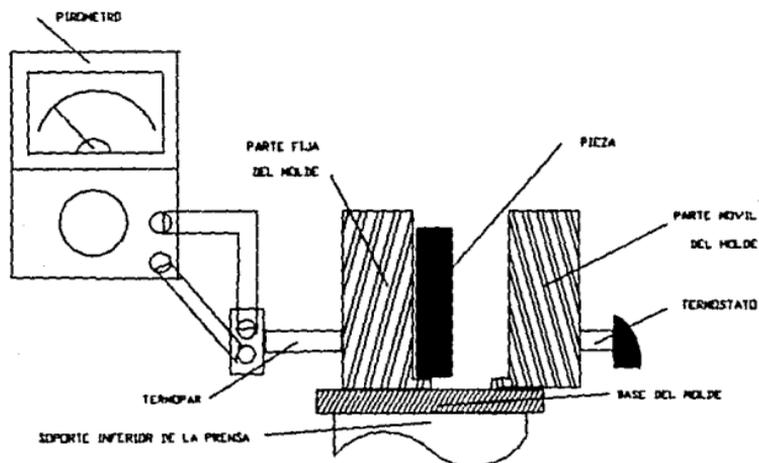


Figura 4.5. Extracción de la pieza.

Hasta aquí, se establecen las características de nuestro diseño en cada una de sus etapas, desde la instalación hasta la formación del cilindro, con lo que solo basta darle la forma de una probeta en el torno y proceder a comprobar las propiedades mecánicas.

En base a los resultados de los ensayos de tracción, daremos por terminando el desarrollo experimental.

4.3. FABRICACION DE PROBETAS MEDIANTE OTROS PROCESOS.

Para llevar a cabo nuestro objetivo, se elaboraron probetas mediante otros procesos (en el capítulo dos se explicaron los procesos de comparación), en seguida explicaremos a grandes rasgos el método de fabricación de las probetas para estos procesos.

COLADA EN MATRIZ POR GRAVEDAD. Como sabemos este proceso consiste en vaciar el metal dentro de una matriz metálica, de la misma forma, en la primera y segunda etapa del proceso de fundición prensada, se realiza el vaciado por gravedad dentro del molde metálico, por lo tanto se utiliza esta etapa del proceso de fundición prensada para elaborar las probetas de fundición por gravedad, es decir, hasta antes de la etapa de prensado del metal.

FUNDICIÓN EN ARENA. Para la elaboración de probetas para este proceso, se procede a moldear en arena en verde un cilindro de 25 [mm] de diámetro y 20 [cm] de longitud, al cual, posteriormente se le tornea hasta dejarle la forma de una probeta de tracción.

La siguiente fase es la misma que se utilizó en el proceso anterior, es decir, se le dió la forma de una probeta de tracción en el torno de control numérico.

LAMINACIÓN. El último proceso de comparación utilizado en este trabajo es el de laminación. Para esto se utilizó el laminador experimental instalado en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería se procedió a elaborar un

cilindro de 2 [cm] de diámetro y 25 [cm] de longitud, para posteriormente se proceda a maquinar las probetas.

Todas las probetas fueron fabricadas con aluminio comercial, y durante su fabricación se procuró que en cada una de ellas, existiera el mismo patrón de referencia, es decir, que todas las piezas fueran elaboradas primeramente como cilindros sólidos, y que posteriormente, se les diera la forma de una probeta en un torno de control numérico.

El siguiente capítulo se concretará a la interpretación de resultados de los ensayos de tracción y pruebas de laboratorio, para poder tener una comparación más verosímil de los procesos.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. ENSAYOS DE TRACCION.

La creación de un nuevo proceso de conformado se sustenta en que su costo de fabricación esté por debajo de los demás procesos y que las propiedades mecánicas obtenidas sean por lo menos mayores a las de los procesos ya conocidos, o la contraparte, es decir, que el costo de fabricación sea muy bajo y que las propiedades mecánicas estén a la altura de cualquier otro proceso, es por ello, que en esta sección se hace un análisis cualitativo y cuantitativo de los diferentes procesos empleados.

5.1.1. FUNDICIÓN EN ARENA.

La siguiente gráfica (figura 5.1), muestra el comportamiento de una probeta sometida a tracción, elaborada mediante el proceso de fundición en arena.

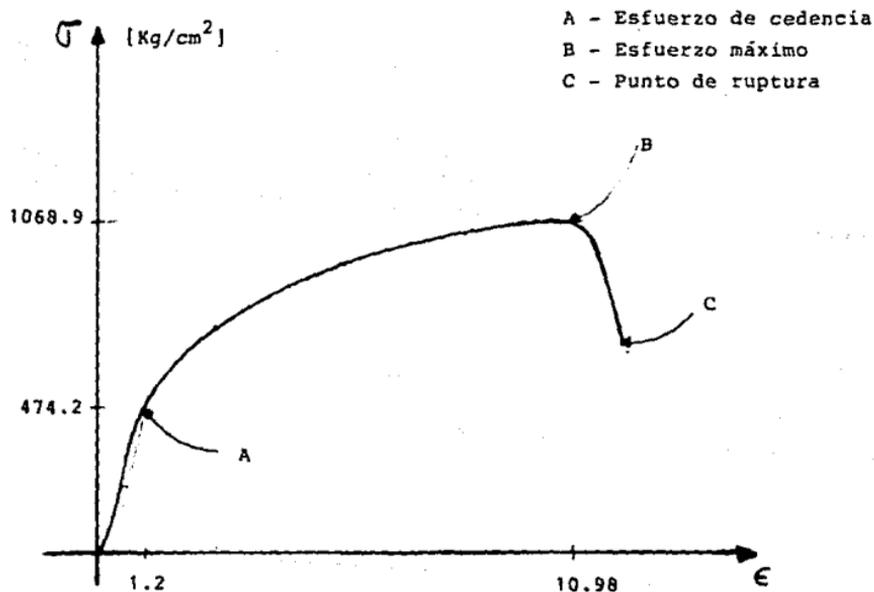


Figura 5.1. Ensayo de tracción de fundición en arena.

5.1.2. COLADA EN MATRIZ POR GRAVEDAD.

La siguiente gráfica, (figura 5.2), nos muestra el comportamiento de una probeta de aluminio sometida a tracción, elaborada mediante el método de colada en matriz por gravedad.

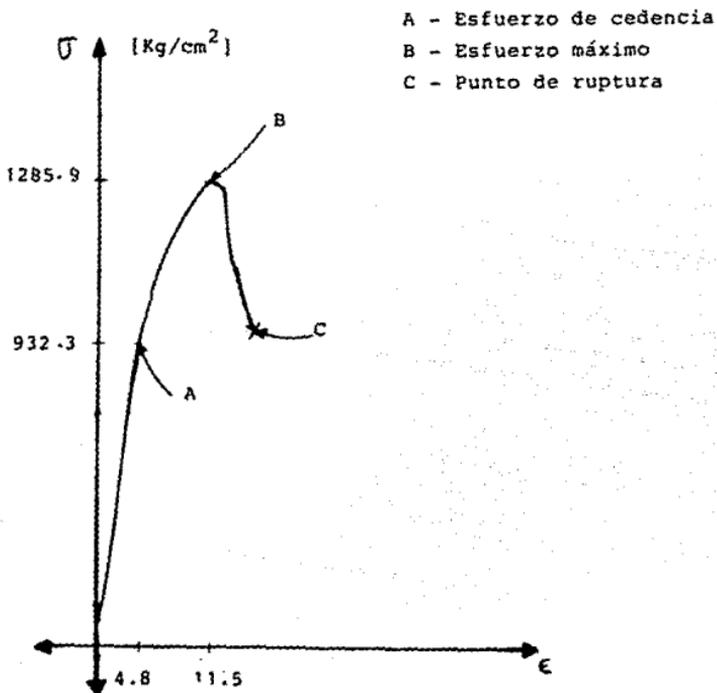


Figura 5.2. Resultado de un ensayo de tracción en colada en matriz por gravedad.

5.1.4. FUNDICIÓN PRENSADA.

Todo el desarrollo de este trabajo se sustenta simplemente en la comprobación de que con este proceso, podemos obtener mejores propiedades mecánicas, pero para ello se hace necesario demostrar la efectividad de ello. La siguiente gráfica (figura 5.3) nos muestra el comportamiento de una probeta producida por el proceso de fundición prensada

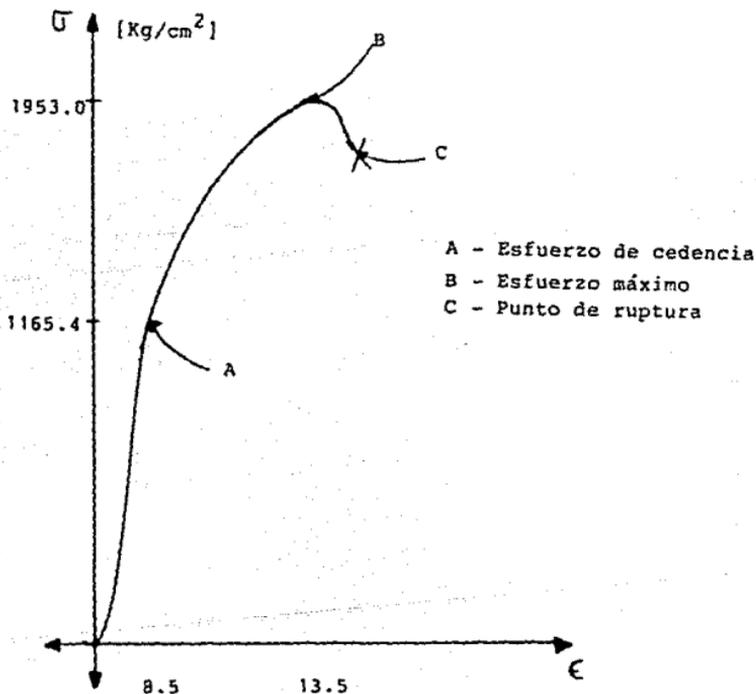


Figura 5.3. Resultado del ensayo de tracción aplicado a una probeta elaborada mediante el proceso de fundición prensada.

5.2.4. PROCESO DE LAMINACIÓN.

Para nuestro análisis podemos suponer un material laminado es mucho más resistente que el de fundición prensada, lo cual se demuestra en la siguiente gráfica (figura 5.4.), al someter la pieza laminada a tracción.

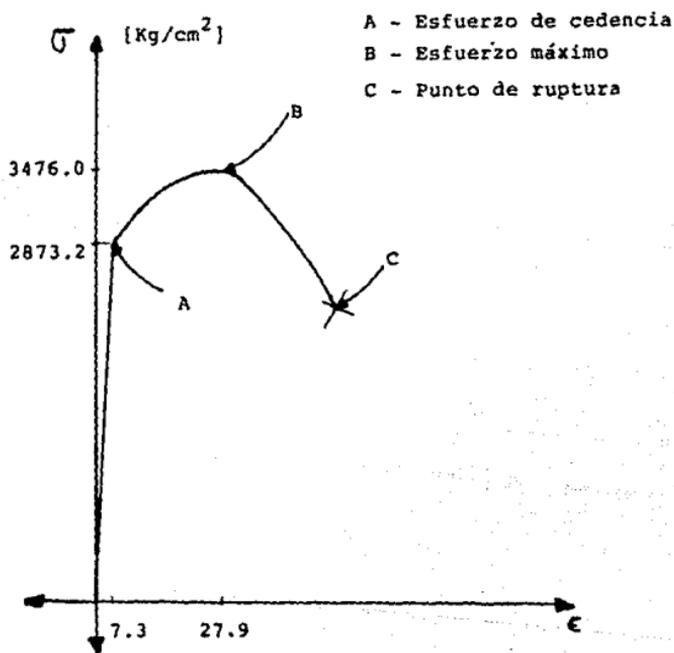
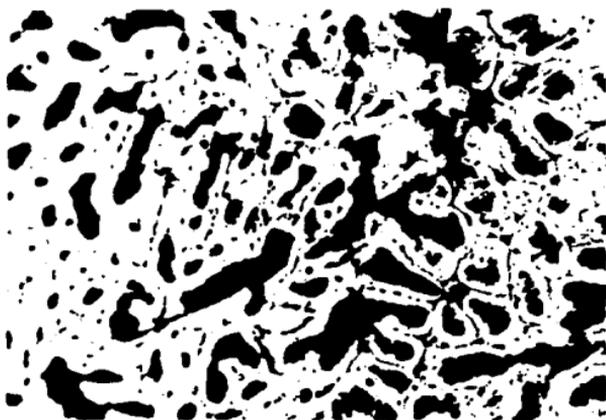


Figura 5.4. Resultados obtenidos mediante ensayos de tracción a una probeta elaborada mediante el proceso de laminación.

5.2. ANALISIS DE MICROESTRUCTURA.

Una de las maneras de identificar que tan confiables son las propiedades mecánicas de un material, después de que se ha realizado el ensayo de tracción, es en base a su microestructura, ya que las propiedades están relacionadas directamente con ésta. Las siguientes fotografías muestran las microestructuras de las probetas que se sometieron a tracción.



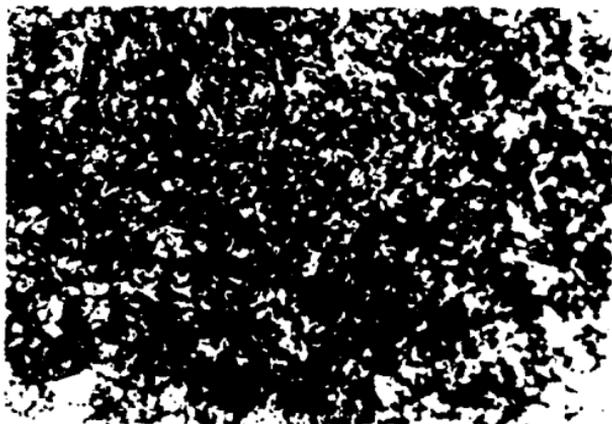
Am. 160 X
Reac. Keller

Figura 5.5. Muestra el tipo de grano de la probeta de fundición en arena

Aum. 160 X
Reac. Keller



Figura 5.6. Muestra el tipo de grano de las probetas de colada en matriz



Aum. 160 X
Reac. Keller

Figura 5.7. Muestra el tipo de grano de las probetas de fundición prensada.

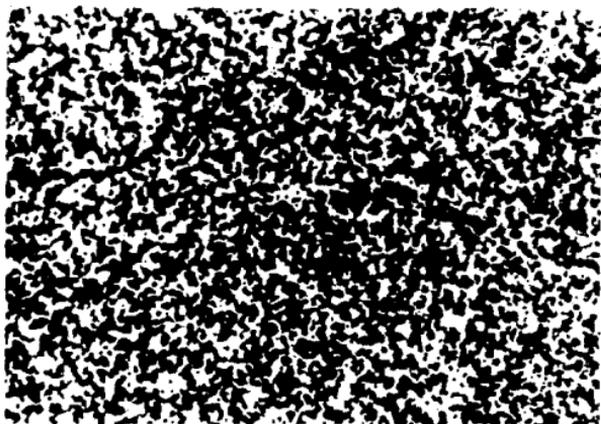
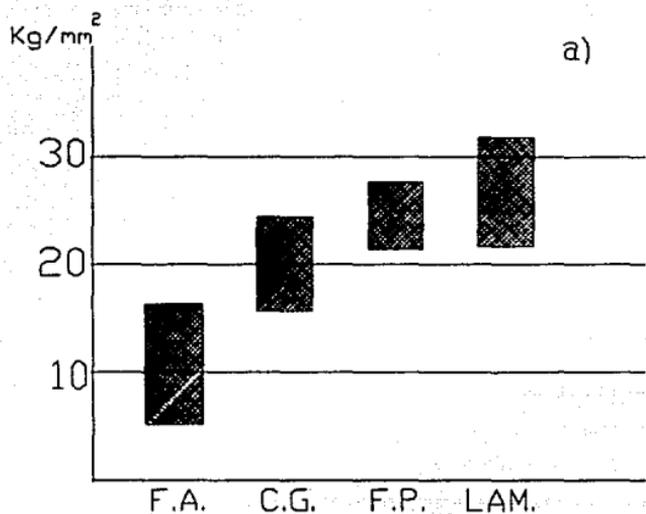


Figura 5.8. Muestra el tipo de grano de las probetas de laminación.

5.3. RESISTENCIA MECANICA Y ELONGACIÓN.

Para evaluar y diferenciar más estrictamente el proceso de fundición prensada de los otros procesos, es preciso comparar bajo un análisis cualitativo, su resistencia mecánica y su elongación durante los ensayos de tracción, para ello las siguientes gráficas muestra una comparación de estas propiedades mecánicas.



F.A. FUNDICION EN ARENA
 C.G. COLADA EN MATRIZ POR GRAVEDAD
 F.P. FUNDICION PRENSADA
 LAM. LAMINACION

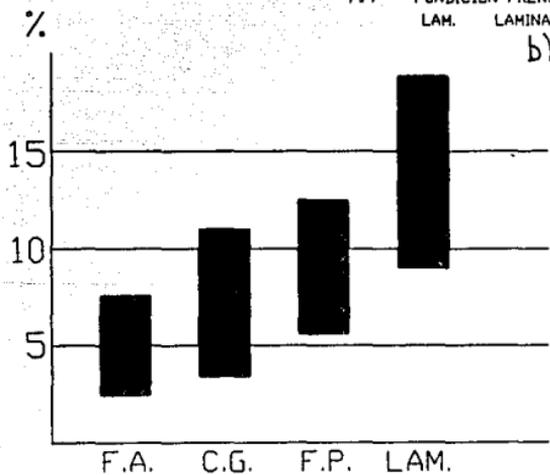


Figura 5.9. Las gráficas muestran los resultados estadísticos de los ensayos de tracción, a) resistencia mecánica y b) elongación.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES.

Como se podrá observar en el análisis de resultados del ensayo de tracción y de la microestructura, resalta el hecho de que el proceso de fundición prensada en comparación con los demás, es evidentemente prometedor, tanto en propiedades como en factibilidad técnica, sin olvidar que su construcción puede ser lo bastante costosa, pero ésto se contrarresta con los beneficios técnicos obtenidos y con la versatilidad que presenta.

Aunque actualmente no se ha dado suficiente difusión a este proceso para la fabricación de piezas mecánicas, se espera que con el tiempo, se logre ubicar firmemente en la industria de la fundición, lo cual dependerá de los estudios y diseños que se hagan al respecto.

Por otro lado, durante los experimentos fue posible detectar el siguiente fenómeno, mientras la temperatura del molde era lo suficientemente baja, se presentaban severos choques térmicos, ocasionando principalmente defectos superficiales, de igual manera, cuando la distribución de temperatura a lo largo de la matriz no se uniformizaba dentro de un tiempo razonable, provocaba la presencia de zonas frías, manifestándose plenamente en la superficie de la pieza, de igual forma, se presentaban otros tipo de defectos superficiales tales como rechupes y algunas muestras de gases atrapados.

En base a lo anterior podemos afirmar, que al someter una pieza a una alta presión hasta que solidifica completamente, se logra una minimización de los defectos superficiales, tales como: porosidades, rechupes o cualquier otro defecto producido por el cambio de fase en el metal, además aplicando un enfriamiento rápido, se logra mejorar la estructura metalúrgica.

Las propiedades de resistencia mecánica, elongación y resistencia a la fatiga, aumentan considerablemente, en comparación con los procesos de fundición en moldeo en arena, colada en matriz por gravedad, laminación y otros procesos de conformado, asegurando que las propiedades mecánicas se aproximan a las obtenidas por el proceso de forja.

Podemos concluir que el proceso de fundición prensada presenta, entre otras cosas, las siguientes cualidades: es un proceso que ofrece grandes perspectivas para la producción a

gran escala de elementos mecánicos con contornos relativamente complejos; ofrece la posibilidad de obtener mejores propiedades mecánicas, evitando el forjado de la misma; brinda posibilidades de automatizar la mayoría de sus etapas, etc.

Además, se espera que esta nueva tecnología de fundición, puede lograr en corto tiempo ocupar un sitio en el mercado por su versatilidad. Sin embargo, a este proceso le falta todavía por alcanzar toda su potencialidad.

Actualmente, es imposible ubicar el sitio exacto que ocupa entre los demás procesos de conformado de materiales, ya que solo es redituable en la producción a gran escala. Por lo tanto, queda pendiente y dependerá de investigaciones futuras, su desarrollo y ubicación entre todos los procesos.

APENDICE A

Tratamiento del Acero H - 12

El acero H - 12 por lo general es suministrado en estado recocido. Si el forjado es hecho en caliente, el material debe ser recocido después de ser forjado, para que se le pueda maquinarse.

Forjado. A 1100-850 °C. Calientese lenta y uniformemente a aproximadamente 700 °C y después con mayor rapidez a la temperatura del forjado. No debe seguirse forjando a menos de 850 °C; si se debe seguir forjando, se debe de recalentar. Siendo este acero templable en aire, el enfriamiento debe ser lento en cisco de carbón vegetal, cenizas, etc.

Recocido dulce. A 850 °C. Para evitar la descarburización de la superficie, el material debe ser empacado con cisco de carbón vegetal o viruta de hierro fundido en una caja para recocer, que cierre herméticamente. Debe mantenerse el acero a la temperatura de recocido hasta que el calor sea uniforme a través de toda la masa. El enfriamiento debe ser a razón de 10 °C por hora hasta los 650 °C y después libremente en aire. Dureza después del recocido, 180 - 210 Brinell.

Si se tiene que rectificar una herramienta templada, se le puede ablandar reviniendola a 720 °C, calentando lentamente y enfriando en aire.

Relevado de tensiones (después del maquinado). A 550 - 650 °C (1020 - 1200 °F.) se debe meter el acero a esta temperatura durante 1 hora 30 minutos, después de que el calor sea uniforme en toda la masa. El enfriamiento debe ser lento, hasta 500 °C (930 °F) y después libremente al aire.

Temple. A 980 - 1050 °C (1795 - 1920 °F). El acero debe ser precalentado lenta y uniformemente hasta aproximadamente 800 °C (1470 °F) y después con mayor rapidez hasta la temperatura de temple. Se debe proteger la superficie contra la descarburización, empacando la pieza en viruta de hierro fundido - no cisco de carbón vegetal, que podría causar carburización. El calentamiento final se deberá llevar acabo, preferentemente en un baño de sales.

El enfriamiento debe ser en aceite o en un chorro de aire. Cuando se enfríe en aire, la temperatura de temple debe estar en la parte superior del rango. Una temperatura alta de temple, hasta aproximadamente 1100 °C (2010 °F) mejora la dureza al rojo.

Martemple. La siguiente forma de templar, reduce las tensiones de templado y el riesgo de formación de grietas en herramientas de diseño intrincado. Se calienta la herramineta a la temperatura usual de temple y se enfría en un baño de sales o de metal fundido aproximadamente a 400 °C (750 °F), manteniendo la pieza a esta temperatura hasta que el calor haya penetrado uniformemente a través de toda la masa. Después se le deja enfriar en temperatura ambiente y se le raviene en forma usual.

Revenido. Después de que el acero se haya enfriado a temperatura ambiente, se le debe revenir inmediatamente. El tiempo de revenido es de una hora, más una hora por cada pulgada de grueso de la pieza.

APENDICE B

Programa para diseñar el perfil de una probeta, mediante
un torno de control numérico (Marca EMCO fabricado en Austria):

N000	G92	X 2250	Z 500		
N001	G00	X 1750	Z 100		
N002	G84	X 1650	Z -9050	F100	H100
N003	G00	X 3750	Z 500		
N004	M06	X 0	Z 0	T 2	
N005	G00	X 1700	Z - 600		
N006	G01	X 1650	Z - 600	F100	
N007	G01	X 1510	Z - 670	F100	
N008	G01	X 1510	Z -8330	F100	
N009	G01	X 1650	Z -8400	F100	
N010	G00	X 1650	Z - 600		
N011	G01	X 1390	Z - 730	F100	
N012	G01	X 1390	Z -8270	F100	
N013	G01	X 1650	Z -8400	F100	
N014	G00	X 1650	Z - 600		
N015	G01	X 1270	Z - 790	F100	
N016	G01	X 1270	Z - 8270	F100	
N017	G01	X 1650	Z -8400	F100	
N018	G00	X 1650	Z - 600		
N019	G01	X 1150	Z - 850	F100	
N020	G01	X 1150	Z -8150	F100	
N021	G01	X 1650	Z -8400	F100	
N022	G00	X 1200	Z -2170		
N023	G01	X 1150	Z -2170	F100	
N024	G01	X 1050	Z -2300	F100	

N025	G01	X 1050	Z -6700	F100
N026	G01	X 1050	Z -6830	F100
N027	G00	X 1150	Z -2170	
N028	G01	X 950	Z -2430	F100
N029	G01	X 950	Z -6570	F100
N030	G01	X 1150	Z -6830	F100
N031	G00	X 2290	Z -1700	
N032	G02	X 890	Z -2400	F 80
N033	G01	X 890	Z -6600	F 80
N034	G02	X 2290	Z -7300	F 80
N035	G00	X 3750	Z 500	
N036	M06	X 0	Z 0	T 3
N037	G00	X 1650	Z -1000	
N038	G00	X 1450	Z - 800	
N039	G01	X 1450	Z - 620	F100
N040	G00	X 1450	Z - 850	
N041	G01	X 1250	Z - 850	F100
N042	G01	X 1250	Z - 620	F100
N043	G01	X 1650	Z - 620	F100
N044	G00	X 1110	Z -2400	
N045	G01	X 1110	Z - 600	F 80
N046	G01	X 1580	Z - 600	F 80
N047	G01	X 1580	Z 100	F 80
N048	G00	X 3750	Z 500	
N049	M06	X 0	Z 0	T 1
N050	G00	X 1650	Z -8000	
N051	G00	X 1450	Z -8380	F100
N052	G01	X 1450	Z -8380	F100
N053	G00	X 1450	Z -8150	
N054	G01	X 1250	Z -8150	F100
N055	G01	X 1250	Z -8380	F100
N056	G01	X 1650	Z -8380	F100
N057	G00	X 1110	Z -6600	
N058	G01	X 1110	Z -8400	F 80
N059	G01	X 1580	Z -8400	F 80

N060	G01	X 1580	Z -9050	F 80
N061	G01	X 1680	Z -9050	F100
N062	G00	X 3700	Z 500	
N063	M30			

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

- NDIITON YNASTEDANOV
TECNOLOGIA DEL PROCESO DE FUNDICION
MIR MOSCU

-MODERN CASTING
MOLDING METHODS
JUN 1989 PAG. 56
FUENTE: INSTITUTO DE FISICA - U.N.A.M.

-MODERN CASTING
VERTICAL SQUEEZE CASTING
OCTOBER 1989 PAG. 38
FUENTE: CANACINTRA

ACEROS MARATHON
TRATAMIENTO DE METALES
FUENTE MARATON

TECNOLOGIA DE LA FUNDICION
V. DELANGE DAVIES
TAPIR TRONDHERN
STÖPERITEKINK
NORUEGA 1970 PAG. 225

TECNOLOGIA DE LA FUNDICION

KARMARK HANSEN

STOBERITEKNIK

COPENHAGUE 1968 PAG 110

E. STORM

FUNDICION

LAROMEDALSFORLANGE

ESTOCOIMO 1968 - 147

LEO ALTING

PROCESOS PARA INGENIERIA DE MANUFACTURA LEO ALTING

ALFAOMEGA PAG 279

CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS

PETER A. THORNTON / VITO J. COLANGELO.

EDITORIAL PHH PRENTICE HALL

MEXICO 1987

APPLIED METALLURGY FOR ENGINEERS

MALCOM S. BURTON

MC. GRAW HILL

MEXICO 1956

FUNDRY TECHNOLOGY

P.R. BEELEY

THE METAL SOC.

U.S.A 1983.

SOLIDIFATION TECHNOLOGY IN THE FOUNDRY & CASTHOUSE

C. WILLIAMS & K.M. FISTHER.

THE METAL SOC. 1983

PROGRESS IN SCIENCE AND ENG. OF COMPOSITE MATERIALS

Y. ABE, S. KOHIRI
HAYASHI ET AL 1986

J. OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS

S. TOWATA AND S.I. YAMADA.
JAPAN 1986