



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

138
Zejeu

**INGENIERIA INVERSA APLICADA AL
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
MODELOS PARA EL PROCESO
DE MOLDEO A LA CASCARA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N

ALFREDO NAVA CARBELLIDO

ARTURO AURELIO VALENCIA GOMEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. UBALDO E. MARQUEZ AMADOR

ASESOR: ING. ALVARO AYALA



México, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
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 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.

Esperamos que este trabajo sirva a futuras generaciones y a todos aquellos que se interesen en el tema como una herramienta para profundizar sus conocimientos en los procesos aquí descritos, y a quienes comiencen a pensar en su tesis sepan, como sucedió con nosotros, que cada paso en el desarrollo de la misma puede representar un problema que hará que no crean en los milagros... sino que dependan de ellos.

Esperamos que este trabajo sirva a futuras generaciones y a todos aquellos que se interesen en el tema como una herramienta para profundizar sus conocimientos en los procesos aquí descritos, y a quienes comiencen a pensar en su tesis sepan, como sucedió con nosotros, que cada paso en el desarrollo de la misma puede representar un problema que hará que no crean en los milagros... sino que dependan de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud y reconocimiento al director de esta tesis, Ingeniero Ubaldo Eduardo Márquez Amador jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería por todas las facilidades prestadas para el desarrollo de la presente, por transmitirnos su experiencia y conocimiento y por el apoyo brindado.

Al Ingeniero Alvaro Ayala por su paciencia , dedicación y por haber aceptado ser una parte fundamental en el desarrollo de esta tesis.

ALFREDO

A MI PAPA

Por enseñarme la realidad de la vida, por mostrarme la manera de enfrentarla cara a cara para así poder vencerla, por ser un verdadero ejemplo a seguir pero sobre todo por ser un gran padre y aunque nunca te superare puedes estar tranquilo lo lograremos.

Donde quiera que estés sabes cuanto te amo. Gracias

A MI MAMA

Por ser n ejemplo de perseverancia, honestidad y amor, por darme lo mejor de ti como solo tu sabes, por mostrarme el camino adecuado y enseñarme "Que el querer es poder" pero mas que nada por triunfar en el papel mas difícil el de ser mama. Te amo como a nadie. Gracias

Gracias papas, gracias a su imagen y dedicación he terminado esta etapa de mi vida , y esta tesis es solo una muestra de lo que vendrá, va por ustedes. Los amo.

AMIS HERMANOS

A CELESTE

Por haberme tratado siempre como un amigo, por apoyarme en todo momento sin mentiras y sin rencores, sobre todo por aceptarme como lo que soy como tu hermanito. Gracias

A MANUEL

Por enseñarme inconcientemente el camino correcto, por cumplirme mis pequeños caprichos, por tu ayuda y consejos en momentos difíciles, por ser un espejo de triunfo. Gracias

A JORGE

Después de dos décadas de amistad, de consejos de todo tipo y de toda clase de apoyo incondicional te hacen como un verdadero hermano. Gracias

AMISOBROS

Jorge por hacerme repetir con tus travesuras mis trabajos ,
Daniel por ser mi amiguito preguntoncito, queriendo ser un
ejemplo a seguir. Los quiero mucho

AMIFAMILIA

Por el apoyo recibido, por su confianza, por ayudarme a
comprender el pasado, entender el presente e interpretar el
futuro he aquí una pequeña respuesta. Gracias a todos

A TERESA

Por haberme hecho feliz durante toda la carrera, por la motivación recibida, por tu apoyo y comprensión pero sobre todo por ser como eres, por ser tu. Te amo

A ARTURO

Gracias por impulsarme y apoyarme en momentos difíciles, por haberme tenido siempre la paciencia necesaria, pero mas que nada por poderte resumir en dos palabras, mi amigo.

ARTURO

A MI PADRE

Por ser siempre ejemplo a seguir e ideal a alcanzar, por su amor y comprensión, por escucharme siempre y por estar junto a mi en el momento preciso con el aliento que necesité para seguir adelante.

A MI MADRE

Por ser el principal motivo para superarme, por creer en mi y apoyarme incluso en mis locuras, por enseñarme a ver siempre hacia adelante y preocuparse por mi bienestar

Gracias papas, sin ustedes no sería lo que soy, ni intentaría llegar mas lejos, esta tesis es por y para ustedes, serguiré dándoles motivos para sentirse orgullosos de mi, porque todos mis triunfos son suyos. Los amo mucho.

AMISHERMANOS

MARCE

Por ser mas que mi hermana, por ser mi amiga y compañera, por enseñarme a vivir feliz con lo que tengo sin ser por ello conformista, por darme tu apoyo y ayuda y por cuidarme siempre.

TONA

Porque así como mi papá es un ejemplo para mi, quiero superarme y seguir adelante para que tu tengas no uno, sino dos ejemplos a seguir, no importa que tan viejo estés siempre vas a ser mi niño. Sigue tan estudioso como hasta ahora y no flaquees nunca, así como me has ayudado, sabes que siempre puedes a contar con mi ayuda.

ESTEBAN

Ya eres mi hermano postizo, pero mas que eso siempre has sido mi amigo, Gracias por tu ayuda y por el ejemplo de perseverancia y dedicación que me has dado.

Gracias Monitos

AMISTIAS

EVA JUANA Y ALMA

Por ser otras tres madres para mi y por haberme apoyado siempre y por haberme enseñado el camino del bien, la honestidad y la gratitud, por hacerme saber que siempre puedo contar con ustedes, las quiero mucho y nunca las voy a defraudar.

Gracias queridas

MONICA

Por darme tu amor durante todo este tiempo, por haber hecho mi vida más feliz, por aguantar mis enojos y presiones y por todas esas desveladas a mi lado ayudándome y apoyandome y por enseñarme a sacar fuerza de mis debilidades. Te amo.

Gracias Osita

ALFREDO

Gracias tendido la mano cuando mas la necesite, por haber sido mi conciencia durante toda la carrera, por ser mi amigo y por el apoyo brindado.

Gracias Fedo

A nuestros maestros por habernos aportado sin limitaciones todos sus conocimientos

A todos nuestros cuates por habernos hecho mas amena nuestra estancia en la carrera y por el apoyo brindado pero sobre todo por habernos confirmado que:

Los efectivos en este mundo somos un número par y no llegamos a cuatro.

Tabla de contenidos

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Capítulo 1 | 1 |
| INTRODUCCION A LOS PROCESOS DE FUNDICION | 1 |
| CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE MOLDEO Y FUNDICION | 1 |
| Proceso de modelo permanente | 2 |
| Proceso de modelo transitorio | 5 |
| Proceso de molde permanente | 6 |
| CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS PROCESOS DE MOLDES Y PIEZAS DE FUNDICION | 9 |
| Precisión dimensional y Acabado superficial | 9 |
| Aspectos Económicos | 11 |
| FORMA Y LIMITACIONES DIMENSIONALES | 11 |
| VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE FUNDICION | 13 |
| Capítulo 2 | 17 |
| PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA (PROCESO SHELL) | 17 |
| SECUENCIA DE MOLDEO | 17 |
| Producción de corazones por el proceso Shell | 22 |
| SISTEMAS DE PRODUCCION | 22 |
| CARACTERISTICAS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL METODO SHELL | 24 |
| DEFECTOS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA | 25 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Silicatos de Aluminio | 60 |
| ADITIVOS A LAS MEZCLAS DE MOLDEO | 61 |
| Adiciones Carbonosas | 61 |
| Celulosa | 61 |
| Cereales | 62 |
| AGLUTINANTES | 62 |
| Arcillas | 62 |
| Polímeros | 63 |
| MEZCLA DE MOLDEO UTILIZADA EN EL PROCESO SHELL | 64 |

Capítulo 5 **69**

| | |
|--------------------------------------------|----|
| INGENIERIA INVERSA | 69 |
| PROCESO DE LA INGENIERÍA INVERSA | 69 |

Capítulo 6 **75**

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| CAD CAM | 75 |
| DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) | 75 |
| Enfoque global del funcionamiento CAD. | 76 |
| Software de aplicación | 76 |
| Bases de datos CAD | 78 |
| TECNICAS DE DIBUJO EN DOS DIMENSIONES | 81 |
| Elementos de dibujo | 81 |
| TECNICAS DE MODELADO EN TRES DIMENSIONES | 83 |
| MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM) | 84 |

Tabla de contenidos

Capítulo 1 **1**

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCION A LOS PROCESOS DE FUNDICION | 1 |
| CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE MOLDEO Y FUNDICION | 1 |
| Proceso de modelo permanente | 2 |
| Proceso de modelo transitorio | 5 |
| Proceso de molde permanente | 6 |
| CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS PROCESOS DE MOLDES Y PIEZAS DE FUNDICION | 9 |
| Precisión dimensional y Acabado superficial | 9 |
| Aspectos Económicos | 11 |
| FORMA Y LIMITACIONES DIMENSIONALES | 11 |
| VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE FUNDICION | 13 |

Capítulo 2 **17**

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA (PROCESO SHELL) | 17 |
| SECUENCIA DE MOLDEO | 17 |
| Producción de corazones por el proceso Shell | 22 |
| SISTEMAS DE PRODUCCION | 22 |
| CARACTERISTICAS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL METODO SHELL | 24 |
| DEFECTOS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA | 25 |

| | |
|---------------------------|----|
| Costos del proceso | 26 |
| CAMPO DE APLICACION | 28 |

Capitulo 3 **31**

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA FUNDICION | 31 |
| DISEÑO DE REBOSADEROS | 31 |
| DISEÑO OPTIMO DE REBOSADEROS | 33 |
| Volumen de alimentación de metal | 34 |
| FUNDICION CON SECCIONES DE ESPESOR VARIABLE. | 42 |
| DURACION DE LA DISPONIBILIDAD DE ALIMENTACION DEL METAL | 43 |
| Método del factor de forma | 43 |
| Método del módulo | 44 |
| Metodos computarizados | 45 |
| METODOS PARA UN MEJOR DISEÑO EN LA ALIMENTACION DE LOS REBOSADEROS | 46 |
| DISEÑO DE COMPUERTAS | 47 |

Capitulo 4 **55**

| | |
|--------------------------|----|
| MEZCLA DE MOLDEADO | 55 |
| TIPOS DE ARENAS | 55 |
| Arenas Sílicas | 56 |
| Zircón | 59 |
| Olivina | 59 |
| Cromita | 60 |

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| Silicatos de Aluminio | 60 |
| ADITIVOS A LAS MEZCLAS DE MOLDEO | 61 |
| Adiciones Carbonosas | 61 |
| Celulosa | 61 |
| Cereales | 62 |
| AGLUTINANTES | 62 |
| Arcillas | 62 |
| Polímeros | 63 |
| MEZCLA DE MOLDEO UTILIZADA EN EL PROCESO SHELL | 64 |

Capítulo 5 **69**

| | |
|----------------------------------------|----|
| INGENIERIA INVERSA | 69 |
| PROCESO DE LA INGENIERÍA INVERSA | 69 |

Capítulo 6 **75**

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| CAD CAM | 75 |
| DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) | 75 |
| Enfoque global del funcionamiento CAD. | 76 |
| Software de aplicación | 76 |
| Bases de datos CAD | 78 |
| TECNICAS DE DIBUJO EN DOS DIMENSIONES | 81 |
| Elementos de dibujo | 81 |
| TECNICAS DE MODELADO EN TRES DIMENSIONES .. | 83 |
| MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM) .. | 84 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Control Numérico NC | 87 |
| Control Numérico por Computadora CNC | 88 |
| PROGRAMACION DE PIEZAS ASISTIDA POR ORDENADOR (CAPP) | 90 |

Capitulo 7 **93**

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| MAQUINA DE MEDICION POR COORDENADAS | 93 |
| DESCRIPCION DE UNA CMM MANUAL TIPICA Y SUS ACCESORIOS | 93 |
| Palpadores | 96 |
| FUNCIONAMIENTO DE LA CMM | 97 |
| SOFTWARE | 98 |
| CONDICIONES NECESARIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CMM | 99 |

Capitulo 8 **103**

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| APLICACION: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS MODELOS PARA EL PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA A TRAVES DE INGENIERIA INVERSA | 103 |
| PROCEDIMIENTO | 103 |
| Selección de la pieza | 103 |
| Digitalización de la pieza seleccionada | 104 |
| Edición de las geometrías obtenidas | 107 |
| Generación de las superficies del avión | 109 |
| Maquinado de la pieza | 114 |
| Diseño de lo elementos del modelo | 116 |

| | |
|--------------------------------------------|------------|
| Capitulo 9 | 121 |
| <hr/> | |
| CONCLUSIONES | 121 |
| INGENIERIA INVERSA | 121 |
| PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA | 122 |
| Bibliografía | 125 |
| <hr/> | |

Capítulo 1

INTRODUCCION A LOS PROCESOS DE FUNDICION

El descubrimiento de la fundición significó uno de los pasos más trascendentales de la evolución humana, pues la materia fundida, al ser susceptible de modelado, dio origen a los más variados instrumentos, utensilios y mecanismos que fueron acompañando el paso del salvajismo a la barbarie y de este a la civilización.

Entendemos por fundición a un proceso por el cual los metales, minerales, u otras sustancias sólidas se derriten mediante la acción del calor, el colado es el proceso de formar objetos vertiendo este líquido o material viscoso en un molde o forma preparados; el colado, también es el objeto formado al permitir que el material se solidifique en el molde, que es un recipiente que tiene la cavidad o cavidades de la forma de la pieza que va a colarse.

Este proceso tiene una gran aplicación en la manufactura de productos terminados y semi-elaborados, cuya variación va, desde el deslizador de un cierre para ropa, hasta corazas gigantes de turbinas utilizadas en las plantas hidroeléctricas.

CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE MOLDEO Y FUNDICION

Los procesos de fundición pueden ser clasificados basandose en cuándo los moldes son permanentes o no permanentes; una clasificación más comúnmente usada agrupa los procesos en cuando los moldes son llenados a presión o por efecto de la gravedad. Similarmente una subclasificación puede ser

desarrollada a partir de los modelos, esto es, si los modelos son permanentes o no permanentes. Una segunda subclasificación puede ser basándose en el tipo de aglutinante usado para hacer el molde. Para moldes permanentes los procesos pueden ser clasificados por el tipo de mecanismo usado para llenar el molde.

| | |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Proceso de molde expandible | Lozo plastico |
| Molde permanente | Lozo de yeso |
| Arcilla/agua(molde en arena en verde) | Sn lozo |
| Arena sílica | Molde magnetico |
| Arena de olivo | Molde en vacio |
| Arena cronatica | Molde expandible |
| Arena zirconica | Molde de espuna |
| Proceso de resina curada | Fundicion con espuma perdida |
| Proceso shell | Proceso replica |
| Caja de color Furan | Molde de ceramico |
| Caja de color fenolico | Moldes de bloque etil silicato |
| Caja caliente (catalizador) | Lozo silicato |
| Horno caliente | Lozo plastico |
| Proceso de resina de caja fria | Fundicion de baja presion gravitatoria |
| Uretano fenolico | Proceso de molde permanente |
| Furan/bioxido de carbono | Fundicion en dedo |
| Curado de radical frio(acrilico epoxico) | Fundicion en dedo de alta presion |
| Ester fenolico | Fundicion en dedo de baja presion |
| Proceso de resina no horneada | Fundicion en dedo gravitatorio |
| Furan (catalizador acido) | Fundicion centrifuga |
| Fenolico (Catalizador acido) | Fundicion centrifuga vertical |
| Aceite uretano | Fundicion centrifuga horizontal |
| Uretano fenolico | Procesos hibridos |
| Uretano poliol | Fundicion exprimido |
| Lozos fosfaticos y silicatos | Fundicion con metal sersolido |
| Silicatos de sodio/bioxido de carbono | Proceso Isprey |
| Proceso de la sombra (molde ceramico) | |
| Proceso de uno fundicion (molde ceramico) | |
| Fosfato de alunna | |

Tabla 1.1: Clasificación de los procesos de fundición

La tabla 1.1 provee un posible sistema de clasificación para los procesos de fundición y moldeo. Los procesos de modelo permanente, de modelo no permanente y proceso de molde permanente como son clasificados en la tabla 1.1, se describen a continuación.

Proceso de modelo permanente

En la actualidad la mayoría de las fundiciones son producidas por medio de procesos de modelo permanente, por lo cual serán los primeros que describiremos.

MOLDEO EN ARENA EN VERDE

Como se indica en la tabla 1.1, un gran número de procesos con modelo permanente son usados. De estos procesos, sin embargo, el moldeo en arena en verde es el más comunmente utilizado. Los pasos típicos involucrados en la elaboración de una fundición en arena en verde son descritos a continuación.

La secuencia comienza con un dibujo mecánico de la parte deseada. Los modelos son entonces producidos y montados

sobre un plato de modelos. Tanto el plato del molde inferior como el plato del molde superior, así como los corazones producirán cavidades en el molde incluyendo los asientos necesarios para los corazones. La entrada o camino en el molde de arena a través del cual fluirá el metal fundido a la cavidad del molde es usualmente montada en el plato del molde inferior. Las guías montadas en los extremos de los platos del modelo permiten el ensamble exacto del plato con la semicaja.

Los corazones son producidos separadamente por varios métodos. Sin embargo, la característica primordial de los corazones independientemente del método por medio del cual han sido fabricados es que están fabricados con arena de mejor textura y dureza para que así al entrar el material fundido este no pueda penetrar a través de la caja y se respete el corazón diseñado. Si los corazones deben ser ensamblados por componentes hechos separadamente, el ensamble debe realizarse después de ser curados o endurecidos. Entonces estarán listos para ser insertados en el molde de arena.

El molde es hecho colocando una caja de metal abierto arriba de el plato del molde superior. Antes de que el proceso pueda empezar, son añadidos al molde en determinados puntos todos los elementos de la fundición (compuertas, correderos y rebosaderos) para controlar la solidificación y vertir el metal líquido a la fundición.

La semicaja superior del molde es producida apisonando arena dentro de la caja de moldeo la cual se fija en el plato del modelo con pernos. La caja de moldeo llena de arena es entonces removida de la tabla de modelo y los moldes de los rebosaderos y sistemas de compuertas retirados.

La semicaja inferior de la caja de moldeo es puesta sobre el plato del modelo utilizando los pernos guías sobre el plato. La arena es apisonada sobre el modelo, y la tabla del fondo es puesta en la parte superior de la caja de moldeo llena de arena. El molde, la caja de moldeo y la tabla del fondo son giradas 180 grados, y el modelo retirado.

El corazón completo es puesto dentro de las cavidades para corazones dentro de la semicaja inferior del molde y la semicaja superior del molde es puesta sobre la semicaja inferior. Para lograr que estén perfectamente alineadas la semicaja superior e inferior se utilizan pernos de cerrado los cuales sostienen las cajas de moldeo y el plato de fondo. Ambas cajas de moldeo pueden ser aseguradas juntas o se pueden colocar pesas sobre la semicaja superior para evitar que la fuerza del metal líquido

pueda separar ambas semicajas produciéndose así fuga de metal líquido.

Una vez estando terminado el molde, alineada la semicaja superior y la inferior, el metal fundido es vertido dentro de la cavidad del molde por medio del bebedero.

Una vez que se ha solidificado el metal fundido se sacude la arena y se obtiene la pieza lista para el siguiente proceso al que vaya a ser sometida.

MOLDEO A LA CASCARA (PROCESO SHELL)

El colado en molde de cáscara, hace uso de arena fina con un agente de resina fenólica como material de moldeo. Esta mezcla se deposita en un modelo de metal calentado a cerca de 200 grados centígrados ; alrededor del modelo se forma una capa , después de una fracción de tiempo, se elimina el excedente de arena que no forma parte de la capa recién formada. El espesor de la cáscara varía entre 5 y 10 mm dependiendo del tiempo que la mezcla de arena y resina permanezca en contacto con el modelo. Una vez que la mezcla de arena y resina ha endurecido, la cáscara se levanta del modelo, el cual se limpia y se rocía con un compuesto de silicón como separador con el fin de preparar el modelo para la siguiente cáscara.

La forma más comúnmente utilizada para recubrir el modelo caliente de arena es colocando la cara caliente del modelo hacia abajo y colocándolo como tapadera en una caja que contiene la mezcla de arena y resina; se invierte la caja de tal manera que el modelo queda en la parte inferior para que la arena entre en contacto con él y después de un tiempo, la caja se regresa a su posición original (con el modelo en la parte superior); este método facilita la automatización del proceso. Un método menos utilizado, es aquel en el que la mezcla de arena y resina se esparce en la superficie del modelo a través de soplado, de esta manera se puede depositar el material de moldeo de manera más uniforme, sin embargo al contrario del método anterior, este no se adapta tan fácilmente a la automatización.

Las cáscaras de la semicaja superior y la semicaja inferior se hacen para que juntas formen un molde. Con frecuencia se pegan con adhesivo para producción, pero el espesor de la película puede variar entre 0.25 y 0.5 mm, lo cual afecta a los colados de precisión. Una vez ensamblado el molde, si se necesita refuerzo para contrarrestar la presión hidrostática del metal fundido se puede colocar dentro de un recipiente metálico

lleno de arena o granalla.

El agente aglutinante de resina fenólica en la cáscara, es eliminado en su mayoría por quemado por acción del metal fundido, en particular los corazones. La arena remanente se desprende con facilidad de la superficie de la pieza colada y se limpia de las cavidades del colado por golpeo, sacudida y volcado.

Proceso de modelo transitorio

Se pueden usar modelos de poliestireno o de cera. El uso de ambos procesos están siendo incrementados actualmente.

El proceso de fundición por revestimiento o de modelo transitorio fue conocido hace 6000 años, pero su uso para la producción de fundiciones comerciales ha crecido últimamente en la segunda mitad del siglo 20. Este proceso también es conocido como proceso de cera perdida o fundición de precisión. El término precisión implica gran apego a las dimensiones del modelo y tolerancias muy estrechas. La fundición por revestimiento proporciona superficies mas suaves y con alta capacidad en la reproducción de detalles del modelo que requieren poco o nulo maquinado dependiendo de la aplicación.

Los pasos básicos para el proceso de fundición por revestimiento son los siguientes:

- Producción de modelos que se deshacen bajo la acción de calor, usualmente hechos de cera o de mezclas de cera/resina.
- Ensamblar de esos modelos dentro de un sistema de compuertas.
- Invertimiento o recubrimiento del modelo con cerámica para producir un molde monolítico.
- Derretir el ensamble del modelo para dejar una cavidad de molde precisa.
- Hornear el molde cerámico para remover los últimos residuos del material del modelo, para hornear el cerámico y desarrollar una arena de alta temperatura y para precalentar el molde listo para la fundición.
- Realizar la fundición y dejar que solidifique.
- Sacudir, cortar y dar acabado a la pieza.

A pesar de que existe una gran variedad de aplicaciones, la fundición por revestimiento es favorecida especialmente para la producción de alabes de turbinas de gas (aleaciones de níquel y

cobalto) y componentes estructurales de aviones. La aplicación de solidificación direccional (DS) y monocristalina (SC) para la fundición por revestimiento ha crecido últimamente en interés y uso. Para mayor información respecto a las dos tecnologías desarrolladas ver apéndice A.

Proceso de molde permanente

Este proceso involucra el uso de moldes metálicos (ferrosos) o de grafito sólido. A nivel general la fundición en dado, la fundición centrífuga y la fundición en molde permanente (dado de gravedad) son las más importantes.

El colado en moldes de metal se destina prácticamente a metales con temperatura de fusión baja y moderada. Algunos colados de hierro y acero se hacen en moldes de metal refractario.

COLADO EN MOLDE PERMANENTE

Cuando se vierte metal fundido en moldes de metal y se sujeta solo a presión hidrostática, el proceso se llama fundición en molde permanente. El molde se separa en dos o más piezas para liberar el colado solidificado y se fijan juntas durante la operación. Los metales que por lo común se funden de esta forma son plomo, zinc, aluminio, y aleaciones de magnesio, ciertos bronce y hierro colado. Los productos típicos son bloques de cilindros de compresor para refrigerador, cabezales de cilindros y bielas de conexión, placas planas de asiento de hierro, machotes de hierro colado para engranes de máquinas lavadoras y pistones automotrices, cabezas de cilindros, utensilios de cocina y partes de aluminio de máquinas de escribir. Los colados pueden pesar cientos de kilogramos, pero la mayoría pesa menos de 25 Kg.

Casi todos los moldes permanentes se hacen de una aleación de hierro colado que debe ser resistente al calor y a los cambios repentinos de temperatura. Es común que los corazones se hagan de acero aleado, pero pueden ser de arena o yeso para servicio severo. Los moldes y los corazones se cubren con un lodo refractario adhesivo, de grafito, o arcilla. Esto ayuda a evitar que los colados se peguen, promueven la expulsión fácil y prolonga la vida del dado. La vida del molde puede ser de 3,000 a 10,000 colados de hierro y hasta 100,000 piezas de metal suave.

Con los corazones de arena, el proceso se denomina *Fundición en molde semipermanente*. Los corazones de arena son baratos y fáciles de mover de cavidades irregulares en la

pieza fundida, pero la estructura, exactitud y acabado de la superficie de las aberturas que dejan los corazones son solo de la misma calidad que los colados de arena.

Las fundiciones en molde permanente con frecuencia se hacen manualmente, pero pueden adaptarse con sencillez a la mecanización, algunas o todas las funciones pueden llevarse en forma automática conforme sea necesario. Algunas variables, son llamadas *fundición en dado ó fundición a presión*, en la cual se impulsa un pistón o dado dentro del molde para comprimir y fijar el metal mientras solidifica.

FUNDICION A BAJA PRESION

El metal fundido se oprime haciéndolo subir a través de un tubo hasta llenar un molde, el metal se enfría en el molde hasta el tubo y solidifica mientras se sostiene la presión. Entonces se elimina la presión y el metal todavía fundido en el tubo regresa a la marmita (deposito de metal fundido). El proceso se usa principalmente para colar aluminio en molde de yeso, hierro colado y acero, pero se ha aplicado a otros metales en menor grado.

La fundición a baja presión está en una etapa intermedia entre la fundición en molde permanente y la fundición a alta presión en dado, tanto por los tamaños como por las características de los colados. Proporciona secciones moderadamente delgadas y exactitud intermedia al igual que acabado en la superficie, densidad y detalle. Los costos de equipo y dado y las velocidades de producción están a la mitad entre los márgenes mínimo y máximo. Una forma de fundición a baja presión se conoce como *fundición al vacío* ya que el metal se impulsa hacia arriba desde la marmita por la presión atmosférica conforme se hace el vacío en el molde. El aire se extrae del colado y la porosidad es baja, el acabado es bueno y las paredes son más herméticas a la presión. La resistencia a la tensión y la dureza son buenas. Debida a la carencia de una película de aire en el dado el enfriamiento es rápido. Por tanto, se señala que pueden colarse paredes más delgadas que las del colado en dado y las velocidades de producción son comparables con este.

FUNDICION EN DADO O FUNDICION A ALTA PRESION

El metal fundido se impulsa bajo presión considerable dentro de un molde de acero o dado en el proceso de Fundición en dado. El metal fundido se lanza a través de un corredor y una compuerta para llenar el dado. Se proporciona venteos para

lograr que se escape el aire. El metal se comprime en todas las irregularidades del dado, y la presión se mantiene mientras el metal solidifica para asegurar la densidad. Aun así debido a la turbulencia y al aire atrapado, con frecuencia la porosidad es un problema, en especial en las secciones gruesas. En un nuevo *proceso libre de poro* el dado se llena con oxígeno y reacciona con el metal fundido para producir partículas insignificantes de óxidos en lugar de vacíos. Muchos dados se enfrían con agua para acelerar la solidificación. Después de que el metal ha solidificado el dado se abre y la parte se expulsa por punzones accionados por un mecanismo. El producto se denomina *fundición en dado*.

FUNDICION CENTRIFUGA

La fundición centrífuga se hace colando el metal fundido en un molde giratorio. La fuerza centrífuga crea presiones que exceden la gravedad para empujar el metal dentro del molde. Estas presiones son aproximadamente 250 KPa (36psi) para aproximadamente 100 mm (4in) de diámetro a 2600 rpm para una aleación de aluminio. El metal fluye con facilidad dentro de las secciones delgadas y los colados salen con detalle fino en la superficie exterior. Los gases y la escoria se expulsan saliendo del metal más pesado, y las impurezas flotan en la superficie interior del colado de la cual pueden cortarse después.

Todos los metales comunes pueden colarse por centrifugación en moldes de metal o refractarios. Un método es introducir un lodo cerámico en el molde rotatorio y centrifugarlo. Se obtiene con rapidez y facilidad la rotación respecto a un eje vertical.

La fundición centrífuga verdadera es en la cual se gira una pieza sobre su eje es más adecuado para piezas con forma de tubo o anillo con paredes rectas. Las superficies exteriores pueden ser redondas, cuadradas, hexagonales, etc, y deben ser excéntricas con el agujero. Algunas veces pueden colarse protuberancias en el perímetro si no son demasiado delgadas o altas. Los colados centrífugos sin agujeros, como las ruedas para vías son susceptibles de ser porosos y débiles y contener inclusiones en sus centros.

Las partes que no son geométricas respecto a cualquier eje de rotación pueden colarse en un grupo de moldes dispuestos en un círculo para balancearse unos con otros. El habilitado se hace girar sobre el centro del círculo para inducir presión en los moldes. Esto se llama *colado centrifugo*.

CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS PROCESOS FUNDICION

Las características y propiedades de los procesos de fundición pueden ser analizadas desde dos puntos de vista básicos para los ingenieros dada su gran importancia e impacto en la toma de decisión respecto a que proceso se debe utilizar, estos son: El punto de vista técnico y el punto de vista económico, es decir lo que a los costos se refiere. El primero en analizarse será el técnico.

Dos aspectos son básicos para poder elegir un proceso en especial, estos son la precisión dimensional y el acabado superficial.

Precisión dimensional y Acabado superficial

Una decisión de diseño de gran consecuencia para el proceso de manufactura y los costos es la especificación de la precisión y acabado superficial requerido, es por eso que en este momento es conveniente tratar respecto a estos aspectos.

TOLERANCIAS

Ningún proceso es capaz de producir una parte con una dimensión absoluta, y las desviaciones de la dimensión deseada deben de ser permitidas solo si la parte cumple con el objetivo para el cual fué diseñada, es decir debe existir un rango en el que, aunque no se encuentra en la dimensión nominal, la desviación que presenta no afecta su funcionamiento posterior.

Tolerancia es la desviación permisible en tamaño desde el tamaño nominal o especificado. El mecánico tiene que enfrentarse constantemente con la tolerancia de la pieza y la holgura de ajuste entre las piezas coincidentes. *Holgura* es una diferencia intencional entre los límites máximos del material de las partes de acoplamiento. El empleo de las piezas a ser fabricadas determina la tolerancia y la holgura.

Las dimensiones y tolerancias son definidas por el diseñador y por el uso que se le va a dar a la parte que se fabrica, inicialmente la medida nominal es la medida ideal que debe de tener la parte, sin embargo, esta es imposible de alcanzar, por lo cual se permite cierto rango de desviación, el cual define que tipo de sistema de tolerancias será utilizado. El rango puede ser positivo, negativo (sistema de tolerancias unilaterales), o ir de negativo a positivo (sistema de tolerancias bilaterales); entendemos por positivo, cuando la tolerancia hace que la

dimensión nominal crezca o aumente su valor, negativa en el caso contrario, y el último, es decir de negativo a positivo, cuando no afecta una oscilación de valores alrededor de la medida nominal, tales tolerancias se denominan de ajuste, de juego, dependiendo la parte a la que se apliquen, es decir, si se aplican a una pieza hembra (por ejemplo a un agujero) las tolerancias positivas son de juego, ya que permiten que el hoyo sea más grande y el pasador o parte macho que entrara en él lo podrá hacer con mayor libertad; en cambio si las mismas tolerancias positivas se aplican a una parte macho (un pasador por ejemplo) son tolerancias de ajuste, ya que la dimensión nominal crecerá, con lo cual el pasador entrará mas forzado en la parte hembra que le corresponde, para las tolerancias negativas se aplica el mismo criterio que el descrito anteriormente.

| PROCESO | RUGOSIDAD SUPERFICIAL [μ m] | RANGO DE TOLERANCIAS [mm] |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Fundición en molde permanente | 1 a 8 | 0.4 a 2 |
| Metalurgia de Polvos | 0.5 a 2.4 | 0.2 a 0.4 |
| Proceso Shell | 3.2 a 8.0 | 0.5 a 1.0 |
| Fundición en arena en verde | 7.0 a 20.0 | 0.9 a 2.0 |
| Fundición a baja presión | 0.3 a 0.8 | 0.15 a 0.2 |
| Fundición en dado | 0.8 a 2.0 | 0.2 a 0.3 |
| Rolado en Caliente, extruido y forja | 1.4 a 23.0 | 0.15 a 1.8 |
| Rolado y extruido en frío | 0.4 a 5.0 | 0.06 a 0.2 |

Tabla 1.2: Rugosidad superficial y tolerancias típicas

Con el sistema de tolerancias unilaterales es posible cambiar la dimensión de la pieza a fabricar estando dentro de las tolerancias permisibles y conservar el mismo tipo de ajuste, en cambio en el sistema de tolerancias bilaterales hacen imposible en la mayoría de los casos cambiar las tolerancias sobre los agujeros y ejes y retener todavía la misma clase de ajuste.

RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Ninguna superficie puede ser absolutamente suave y llana (o cilíndrica o cualquier otra forma geométrica pura). En una ampliación grande, una superficie puede exhibir ondulaciones y rugosidad. Ambas pueden ser medidas cuantitativamente por varias técnicas, entre las cuales el instrumento de punzón o

estilete (similar a las agujas fonográficas) es el más extensamente usado: un brazo con un descanso de referencia es puesto sobre la superficie, mientras que el estilete sigue los detalles finos de la superficie. El perfil de la superficie puede ser entonces registrado después de una adecuada amplificación, usualmente con una amplificación mayor en el eje vertical, o la señal puede ser procesada electrónicamente dando números que caractericen la rugosidad superficial.

Existe una relación muy cercana entre la rugosidad y las tolerancias. En general, las tolerancias no podrán ser reducidas si no se alisa la superficie rugosa, a través de un proceso conveniente. En la tabla 1.2 se ilustran los valores aproximados de rugosidad superficial y tolerancias típicas obtenidas en varios procesos. Las tolerancias son para un diámetro de 1 pulgada; para fundiciones y piezas forjadas, son aplicadas a la línea de partición.

Aspectos Económicos

Cada proceso de manufactura es capaz de producir una parte específica con un cierto acabado y rango de tolerancia sin producir un costo extra. Si son requeridas tolerancias más estrechas o superficies menos rugosas el costo inevitablemente aumenta. Tomando una parte forjada en caliente por ejemplo, el proceso puede dar más estrechas de las tolerancias a través de más cuidado en el preformado utilizando más cavidades del dado, usando el dado de acabado con solamente un volumen relativamente pequeño de partes, o con operaciones subsecuentes tales como maquinado o rectificado. La experiencia muestra que el costo tiende a aumentar exponencialmente con respecto a las tolerancias más estrechas o superficies menos rugosas. Las tolerancias específicas deberían, si es posible, estar dentro del rango que se puede obtener por el proceso de manufactura seleccionado, así como evitar operaciones finales por separado.

FORMA Y LIMITACIONES DIMENSIONALES

De la discusión de varios procesos, debe de ser obvio que todos ellos están sujetos a limitaciones de *complejidad de forma* y *dimensiones mínimas*, y es por eso que todas estas limitaciones son bastante variables para diferentes materiales de piezas de trabajo.

LIMITACIONES DE FORMA

La clasificación sistemática de formas (tipología) es un desarrollo científico y no son universalmente aplicables y aceptados todavía. Esto también significa que la decisión sistemática de selección de procesos esta en sus inicios, y pensando creativamente se necesita conjugar el intimo conocimiento de varios procesos para que se pueda producir una selección razonable.

Después de que la forma se describe en términos generales, una terminología debe ser aceptada. Algunas formas básicas pueden ser: redondas, barras, secciones abiertas y semicerradas, tubos, placas, esféricas; de sección uniforme, con cambios de secciones al final o al centro, curvas, cerradas por los extremos o en uno solo, elementos transversales, e irregulares (complejas).

Para tomar un ejemplo de los diversos procesos que se pueden emplear para manufacturar una pieza, tomemos un carrete (figura 1.1a) que podría ser maquinado de un sólido o un tubo (figura 1.1a), fundido con un corazón horizontal (figura 1.1b), o con un corazón vertical y con un corazón insertado en forma de anillo (figura 1.1c), forjado en una posición horizontal (figura 1.1d) o en una posición vertical con el agujero preforjado (figura 1.1e); por fundición centrífuga; doblado de secciones de forma de U y soldado; hecho de un tubo con anillos soldados en los extremos (figura 1.1f), hecho por pulvimetalurgia.

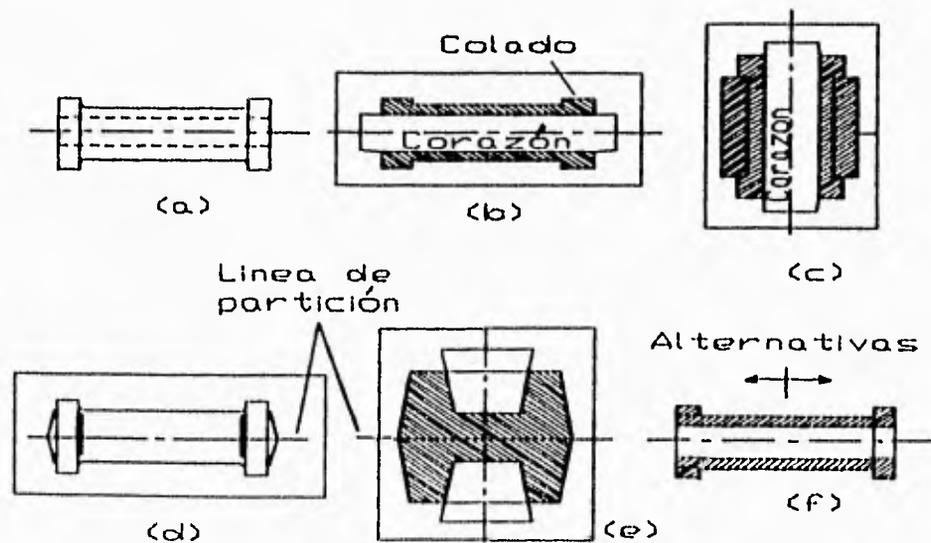


Figura 1.1: Diferentes métodos de fabricación de forma

El *método óptimo* depende de muchos factores, la cantidad de ellos, también el tamaño, el espesor de las paredes, la relación pared/espesor, y la relación longitud/diámetro de cada parte.

LIMITACIONES DE TAMAÑO

El máximo tamaño producible por cualquier técnica es frecuentemente limitado por el tamaño del equipo. En algunos procesos, sin embargo, existen limitaciones dadas por sus propias condiciones, esto es, un molde de fundición con paredes muy gruesas no debe estar sometido a tiempos de solidificación excesiva, o un proceso de soldadura está limitado al espesor máximo del metal si es permisible una sola pasada de soldadura.

Más frecuentemente las limitaciones son impuestas por el tamaño mínimo de la pieza de trabajo o por el espesor mínimo de pared. Esto es el espesor de pared de un a fundición está limitado por la fluidez del metal, y en la forja por el desarrollo de las presiones en los dados con incrementos de la relación D/h.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE FUNDICION

FUNDICIÓN EN ARENA

Ventajas

1. El tamaño de las piezas que se pueden fundir varía entre 250 g y 300 Ton.
2. Se puede hacer una gran variedad de formas, algunas de ellas imposibles de obtener por cualquier otro método.
3. Muchos tipos y tamaños de piezas se pueden fundir automática o semiautomáticamente.
4. Es posible vaciar cualquier tipo de metal o aleación utilizado en la fundición.

Desventajas

1. Las variaciones en las dimensiones son grandes y el acabado superficial es deficiente comparado con otros procesos.
2. La superficie de las piezas puede tener arena, lo que causa un rápido desgaste en las herramientas de corte, cuando la pieza fundida será sometida a un proceso de corte para dar un acabado y dimensiones finales.
3. El proceso es lento, ya que se debe hacer un molde para cada pieza fundida.

En general los moldes de arena en verde son más rápidos de hacer en comparación con los de arena seca, pero dan menor control dimensional y peor acabado.

PROCESO DE MOLDEO A LA CASCARA (PROCESO SHELL)

Ventajas

1. Es posible fundir piezas con tolerancias de 0.125 mm, por lo que se requiere quitar menos metal al maquinar; los excedentes de maquinado pueden ser de 1 a 1.5 mm.
2. La colocación y el tamaño de los huecos de corazones generalmente son más precisos por que muchos corazones pueden formar parte del molde; además es posible construir corazones tan pequeños como 10 mm.
3. 0.5 0 1 grado es suficiente de ángulo de salida , lo que reduce la cantidad de material a maquinar posteriormente.
4. Se puede fundir secciones tan delgadas como 2.5 mm.
5. Se puede fundir cualquier metal o aleación.

Desventajas

1. El costo del modelo es "grande" por tener que hacerse de aluminio o hierro colado, además no debe de tener marcas de maquinado que dificulten la extracción del molde.
2. El molde también es caro debido a su contenido de resina.
3. El tamaño de la pieza no debe exceder de 1200 x 1500 mm, ya que una dimensión mayor dificultaría el manejo de la caja de moldeo.
4. Este proceso produce un mal olor que además es muy penetrante debido a la utilización de resinas, sin embargo, con algunos aditivos se puede reducir el efecto.

FUNDICIÓN EN ARENA EN CÁSCARA CERÁMICA

Ventajas

1. Se puede fundir cualquier metal o aleación, aunque el aluminio y zinc son más baratos por la fundición a presión. Es el método ideal para fundir aleaciones difíciles de maquinar como acero inoxidable y de alta aleación.
2. El método puede ser costeable desde una docena de piezas hasta más de 10000 al mes.
3. Se pueden fundir piezas desde 10 g de peso.

Desventajas

1. Las piezas son menos resistentes que las de fundición a presión, aunque ambos procesos dan la misma precisión

dimensional y acabado superficial.

2. No se pueden fundir piezas de más de 50 kg.
3. El proceso es lento y uno de los más caros.
4. Si se cambia el diseño, es necesario hacer costosas modificaciones al dado del metal.

FUNDICIÓN EN YESO

Ventajas

1. El acabado superficial es de hasta 0.75 mm.
2. La precisión dimensional puede ser menor que ± 0.125 mm.
3. Se reproducen fácilmente detalles finos y formas complejas.
4. Se funden partes hasta de 0.5 mm de espesor.
5. Se pueden fundir piezas desde 30 g y hasta de 500 Kg.

Desventajas.

1. Sólo se funden metales no ferrosos.
2. La fabricación de los moldes es muy lenta.

FUNDICIÓN EN MOLDES PERMANENTES

Ventajas

1. Los moldes son capaces de resistir altas temperaturas debido a la clase de materiales con los que se hacen.
2. Se utiliza ventajosamente para colados no ferrosos de tamaño pequeño y mediano para grandes cantidades.
3. Las fundiciones se enfrían más rápido que las realizadas en moldes de arena.
4. Debido a lo anterior poseen una estructura granular y mayor resistencia.
5. Las tolerancias que se pueden mantener están en un promedio de ± 0.38 mm, aunque no se utilizan para grandes piezas.
6. Se producen piezas libres de arena, con buen acabado y excelentes detalles en la superficie.
7. La cantidad de maquinado es de 1.6 a 5 mm.
8. El tiempo de producción es más corto que el de la fundición en arena, porque se elimina el hacer un molde por pieza.
9. El alto costo de los moldes lo hace recomendable para altas producciones.

Desventajas

1. Solo ciertas aleaciones pueden ser fundidas en moldes permanentes.

2. Muchas formas complejas no pueden hacerse, porque resulta imposible extraerlas de un molde rígido.

4. Las piezas obtenidas, usualmente son de menos de 15 Kg.

FUNDICIÓN A PRESIÓN

Ventajas

1. Es el método más rápido de todos los procesos de fundición.

2. Es ideal para volúmenes de producción altos.

3. Los dados o matrices dan a los productos superficies tersas, que además de mejorar el aspecto reducen el trabajo de maquinado.

4. Se controla de tal manera la precisión en las medidas que el trabajo de maquinado es poco o nulo.

5. Debido a la uniformidad en el espesor de las paredes, se requiere menos material en este proceso que en la fundición en arena.

6. Se nulifica la posibilidad de que aparezcan inclusiones de arena, obteniéndose una estructura más fuerte y densa del metal.

Desventajas

1. No es rentable para trabajos de baja producción.

2. No se pueden hacer grandes piezas, ni partes de formas complicadas.

3. El hecho de trabajar a altas temperaturas implica un descenso rápido en la vida de los dados.

4. Debido al material del que están contruidos los dados no es posible fundir aleaciones ferrosas.

Capítulo 2

PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA (PROCESO SHELL)

El proceso cronig como se le llamó originalmente, fué desarrollado originalmente en Alemania por Johannes Cronig, más tarde se le conoció como proceso "C" y más recientemente como proceso de moldeado a la cáscara o proceso shell, fué un desarrollo importante y revolucionario, pues ilustra por primera vez las ventajas de utilizar matrices o modelos calientes en combinación con resinas aglutinantes termofraguantes.

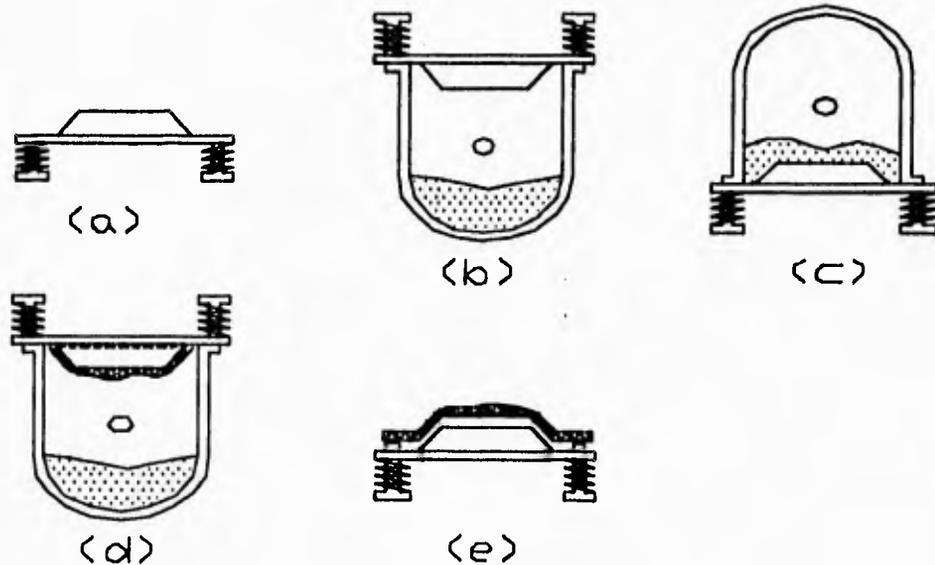
Este proceso, se desarrollo en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, sin embargo, no estuvo disponible para la industria Americana hasta finales de 1949 y principios de 1950, iniciandose con la utilización de resinas de tipo fenolicas substituyendo a los aglutinantes a base de aceites.

SECUENCIA DE MOLDEO

La principal característica del proceso de moldeado a la cáscara o proceso Shell es el uso de moldes de paredes delgadas, en los cuales la superficie externa sigue el contorno de la cavidad del molde, este proceso provee un cambio con el concepto de lo que es un molde; un molde generalmente es una cavidad dentro de un bloque sólido de material de moldeo, de dimensiones determinadas por el tamaño disponible de la caja de moldeo. El molde del proceso Shell es extremadamente ligero y facilmente manejable y el volúmen del material de moldeo es solo una pequeña fracción de la requerida en la práctica convencional.

En la figura 2.1 se puede observar la secuencia básica de moldeo para este proceso. Para poder llevar a cabo el proceso se requiere tener modelos montados en platos metálicos, que pueden ser de hierro fundido o de una aleación ligera, como por ejemplo bronce o aluminio, estos platos metálicos deben de tener todo el sistema de compuertas y rebosaderos integrados.

Cada plato es provisto con pernos de expulsión o botadores con resortes para que después de ser accionados regresen automáticamente a su posición original en la cual sus cabezas se encuentran al mismo nivel de la superficie superior del plato. Los pernos botadores se encuentran distribuidos alrededor del perímetro del modelo y están, en algunos casos, unidos a un plato trasero de accionamiento común. En la figura 2.2 se puede ver un ensamble típico de un modelo.



- (a) Plato del modelo
- (b) Plato del modelo montado en la caja de vertido
- (c) Revestimiento del modelo
- (d) Revestimiento del modelo
- (e) Expulsión del modelo

Figura 2.1: Secuencia de producción de cáscaras

El ensamble completo del modelo es precalentado entre 180 y 200 grados centígrados y su superficie superior es recubierta con un separador, que comunmente es una emulsión de silicón.

En el siguiente paso el modelo se fija en el extremo abierto de la caja de vertido, la cual contiene la mezcla de moldeo. La mezcla de moldeo consiste en arena fina y seca que puede ser sílica o de zircón, con resina sólida termoestable como aglutinante. Las resinas comúnmente usadas son de novolak de fenol con hexamina como endurecedor. Estas son diseñadas para endurecer permanentemente después de un breve ablandamiento en el cual se logra una polimerización de estructuras cruzadas en forma de red bi y tridimensional. Para evitar algunos tipos de defectos superficiales específicos, como se verá mas adelante, se han desarrollado resinas con bajo contenido en nitrógeno. El aglutinante puede estar presente como un polvo mezclado con la arena base y ser mezclado por el mismo fundidor, sin embargo, las arenas premezcladas son usualmente mas preferidas y su uso mas recomendable debido a su uniformidad en la mezcla, su limpieza, la homogeneidad en el tamaño de los granos de resina y por la economía en el consumo de esta misma.

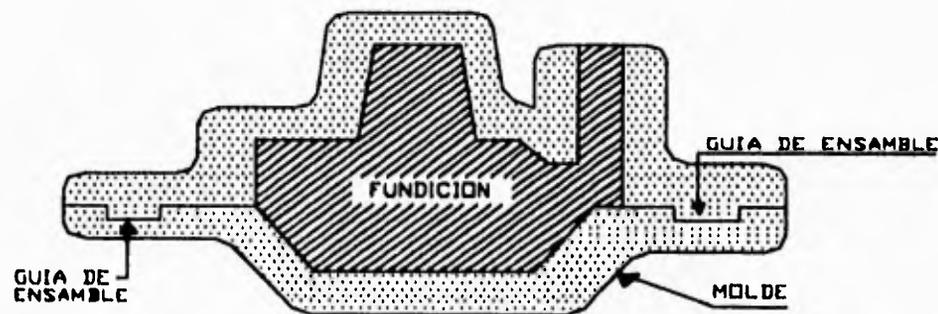
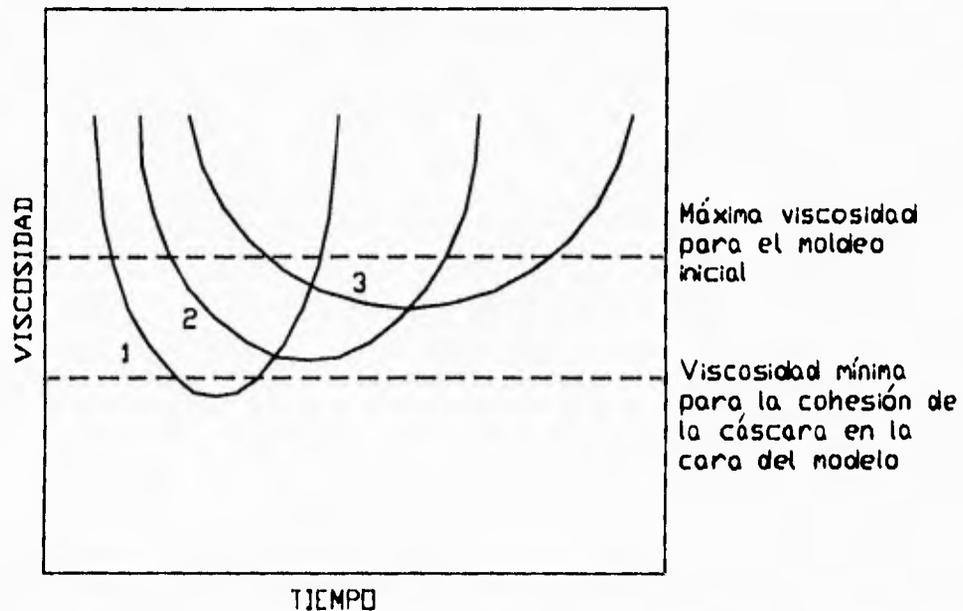


Figura 2.2: Ensamble de un modelo del proceso Shell

La caja de arena es invertida para permitir que la mezcla de moldeo entre en contacto con el plato del modelo (figura 2.1 c). El calor proveniente del ensamble del modelo provoca la polimerización de la resina con un espesor que depende del tiempo que se encuentre la mezcla en contacto con el modelo.

Esta operación de recubrimiento es usualmente completada en 30 segundos, tiempo después del cual la caja de vertido es regresada a su posición original, dejando una capa de arena adherida al ensamble del modelo (figura 2.1 d). Esta capa tiene un espesor normalmente entre 5 y 10 mm y la resina no se encuentra completamente endurecida, por lo cual requiere un calentamiento posterior para terminar la reacción y lograr la resistencia máxima de la cáscara.



1. Un endurecimiento rápido puede ocasionar que el molde pierda su forma debido a la baja viscosidad de la resina
2. Características satisfactorias de la resina
3. Endurecimiento lento y cáscaras débiles debido al flujo inadecuado de la resina

Figura 2.3: Comportamiento de las resinas

El comportamiento del aglutinante durante el calentamiento se muestra de manera cualitativa en la figura 2.3. Una etapa inicial de fusión de la resina produce un líquido viscoso permitiendo así el flujo y la adhesión final entre los granos de arena; la profundidad a la cual esto ocurre depende del gradiente de temperatura en el material de moldeo. Después de esta etapa inicial, la resina comienza a polimerizarse y endurecerse, es en este momento cuando se define el esfuerzo máximo que la cáscara podrá soportar. Las propiedades de la resina deben ser tales que se tenga un rápido endurecimiento para una consistencia tal que permita el flujo y la adhesión de la resina seguida de un curado rápido. Esto minimiza el peligro de que el

molde pierda la forma en aquellas partes en las que la cáscara exceda el tamaño del plato del modelo y la resina escurra hacia la parte posterior del mismo. Las circunstancias asociadas con la variación de las características de la resina son ilustradas en la figura 2.3.

Un curado completo y rápido requiere una temperatura mayor que la usada en el revestimiento. El ensamble del modelo con la cáscara sin curar completamente es transferida a un horno que se encuentra a una temperatura entre 300 y 450 grados centígrados, o expuesta al calor radiante de calentadores de gas o eléctricos. El endurecimiento comienza desde ambas superficies de la cáscara y normalmente es completado en dos minutos. Después de esto, la cáscara puede ser expulsada del ensamble del modelo por medio del accionamiento de los pernos botadores. La cáscara curada, se encuentra ahora lista para ser ensamblada con otras cáscaras y corazones para tener un molde completo.

La variación de las propiedades de la resina con el tiempo y la temperatura permite un equilibrio de operación en base a la temperatura del plato del modelo. El ensamble del modelo puede ser regresado inmediatamente a la caja de vertido para tener un nuevo revestimiento y preparar otro ciclo de producción de las cáscaras. La temperatura del plato del modelo puede ser revisada continuamente por medio de un pirómetro.

Para el cerrado las cáscaras son alineadas mutuamente a través de espigas hembras y machos integrados a las mismas, o a través de pernos metálicos que se insertan en perforaciones diseñadas específicamente para tal efecto en las cáscaras que forman el molde.

Las cáscaras se sujetan una con otra para dejarlas listas para recibir el metal fundido a través de pinzas de resorte, pernos o adhesivos para piezas pequeñas debido a que la presión hidrostática que el metal fundido ejerce sobre el molde no es suficiente para abrirlo. Sin embargo para piezas grandes el problema de una posible separación de las cáscaras se hace latente, por lo cual, generalmente el molde ensamblado se coloca dentro de un recipiente metálico resistente relleno de granalla o arena, este procedimiento también ayuda a evitar la distorsión de las delgadas paredes de las cáscaras.

Una vez vertido el metal fundido en la cáscara y habiendo solidificado, la limpieza de la fundición es sencilla, ya que se puede hacer por golpeteo o por sacudida. La recuperación térmica de la arena base puede ser lograda a través del horneado

de la resina que no reaccionó o no se quemó completamente con el contacto del metal fundido. Esto resulta económicamente cuando se emplean arenas de zircón u otras arenas con base especial.

Producción de corazones por el proceso Shell

Un proceso análogo es seguido en la producción de corazones de cáscara también conocidos como corazones huecos. La mezcla de moldeo es vertida dentro de una caja de corazones metálica precalentada, después de un tiempo adecuado para que se lleve a cabo el revestimiento, la mezcla de moldeo excedente es retirada. La precisión dimensional y acabado superficial que caracteriza a los corazones hechos por este método, los ha llevado a ser aplicados en campos fuera del proceso Shell.

SISTEMAS DE PRODUCCION

La característica sobresaliente de la producción de los moldes de cáscara es la simplicidad y velocidad de la secuencia básica del moldeo aunada al fácil manejo y almacenamiento de las cáscaras. esto elimina la necesidad de operaciones especializadas y hace el proceso ampliamente adaptable a la mecanización y automatización de la producción. Para pequeños volúmenes de producción con una gran variedad de platos de modelos, las operaciones manuales pueden ser reducidas a las realizadas en una sola estación de vertido y horneado, o pueden ser integradas dentro de un sistema de flujo de modelos como el mostrado en la figura 2.4, usando una multiestación de trabajo manual, y hornos de precalentamiento y curado con regímenes de operación continuos.

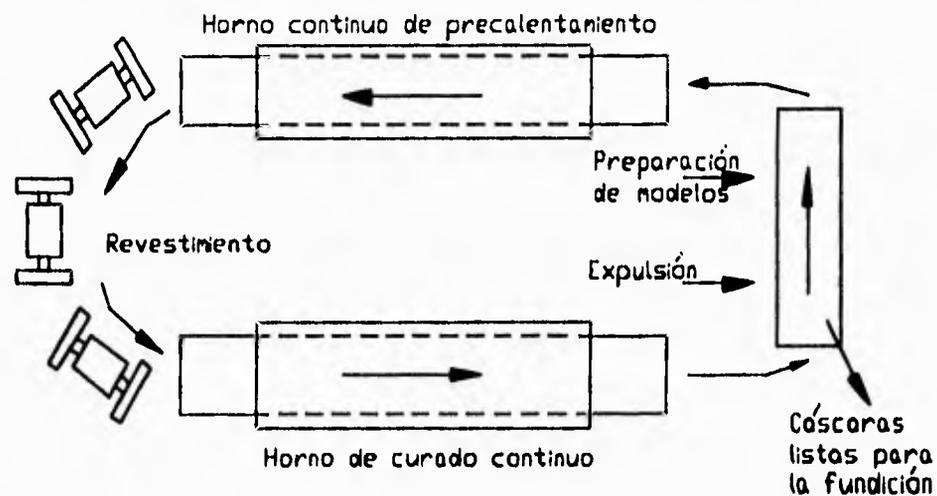
La siguiente etapa es la incorporación de cajas de vertido a máquinas que operan semiautomáticamente, las cuales coordinan la secuencia de producción para dos platos de modelos evitando así que se pierda tiempo al transportar manualmente las cáscaras, lo cual se agrava cuando se trata de cáscaras grandes y por consiguiente pesadas.

Las máquinas completamente automáticas pueden ser basadas en el trabajo continuo de uno o mas platos de modelos o pueden estar basados en el principio de multiestación, en el cual numerosos platos pueden ser trabajados en operaciones sucesivas en donde no necesariamente todos los platos deben ser iguales, e incluso, se puede detener o interrumpir el proceso de fabricación de cáscaras para uno o mas platos sin que sea

Proceso Shell

necesario detener el ciclo total de producción, por decirlo de alguna manera se trata de maquinas que trabajan con los platos de modelos en forma paralela. El calor para el investimento y curado o endurecido de los moldes es provisto por hornos eléctricos o de gas de operación continua. La fabricación de corazones puede ser similarmente mecanizada a través de maquinas de dos estaciones en las que las secuencias de producción son completamente automatizadas.

Sin embargo para grandes volúmenes de producción de



Sistema de producción de cáscaras para el proceso shell basado en el flujo continuo de modelos para volúmenes medios de producción.

Figura 2.4: Sistema de flujo continuo de producción

cáscaras se utilizan técnicas de curado por aplicación no solo de calor, sino también de presión simultáneamente. Esta variación del proceso sigue los mismos pasos del proceso convencional hasta antes de llegar al endurecimiento final de la cáscara que aun se encuentra adherida al plato de modelos. Para llevar a cabo la polimerización final de la cáscara la mezcla de moldeo es calentada dentro de un espacio comprendido entre el plato del modelo a alta temperatura y una cabeza de calentamiento cuya forma sigue el contorno exterior del modelo conocida también como cabeza contorneada montada en una prensa. El plato del modelo con la capa adherida es sujeto a una presión superior de 3 MPa (450 psi) ejercida por la cabeza contorneada. Utilizando este tipo de técnica, las cáscaras pueden ser provistas de nervaduras de refuerzo si se requiere que resistan esfuerzos aún mayores.

Una característica importante del proceso de moldeo a la cáscara es la producción relativamente alta que se pueden obtener dentro de una área pequeña y utilizando un mínimo de equipo.

CARACTERISTICAS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL METODO SHELL

Se puede tener un gran control sobre las variables de producción en el proceso Shell, principalmente los ciclos de tiempo y temperatura del curado, por lo cual los errores humanos en cuanto a estos factores pueden ser minimizados y se puede lograr una gran repetibilidad en cuanto a los procesos de revestimiento y endurecido final de las cáscaras.

La principal característica de las fundiciones es el detalle superficial de los modelos que es posible obtener. Esto se debe a la precisión en los ángulos y aristas que pueden reproducir las cáscaras por sí mismas y su permeabilidad tan alta para desplazar aire, derivada del espesor tan pequeño de sus paredes. La ausencia de aire comprimido, aunado a la rugosidad superficial baja de sus paredes y la baja conductividad térmica de las cáscaras, facilita el flujo del metal fundido a través de secciones muy delgadas y la definición clara de los detalles superficiales aun en metales de fluidez relativamente baja.

En aplicaciones donde se requieren secciones delgadas es posible obtener espesores mínimos de 2 a 4 mm como se muestra en la tabla 1.2.

La precisión en las fundiciones también es asegurada en la línea de partición de la pieza gracias a la colocación de sistemas de pernos de localización en los modelos para evitar que las cáscaras puedan quedar desfasadas una con respecto a la otra, así como guías para los corazones. Los valores en general de las tolerancias para las fundiciones producidas por este método se encuentran en el rango de 0.3 a 0.7% y pueden ser mucho más pequeñas en algún elemento pequeño de la fundición, pero las tolerancias totales se encuentran alrededor de ± 0.30 mm dependiendo del diseño de la fundición así como su tamaño. El proceso puede reproducir cualquier forma de las que se muestran en la clasificación de la figura 1.9 y las piezas llevan un ángulo de salida de no más de medio grado, e incluso existen ocasiones en las que este ángulo no se hace necesario.

La precisión y acabado superficial comparado con las fundiciones hechas por el proceso de moldeo en arena en verde

es mucho mejor, por lo cual en algunos casos puede ser posible que a través del proceso shell se elimine la necesidad de maquinados posteriores, y cuando no es posible eliminarlo por completo es en los casos de alojamientos para otras piezas dentro de la fundición con movimiento relativo de una respecto a la otra, por ejemplo, o a nivel general en las superficies donde se requiera rectificado, no se hacen necesarias ya las operaciones como el torneado o cepillado, lo cual hace posible pasar directamente al pulido o rectificado.

El proceso es adecuado para aleaciones ferrosas y no ferrosas y se pueden obtener piezas por lo general entre 0.01 y 10 kg, sin embargo se han producido fundiciones de 100 kg y mas en algunos casos no tan comunes.

Se pueden obtener propiedades especiales a través de este método de moldeo combinándolo con la producción de fundiciones solidificadas direccionalmente o monocristalinas, tales propiedades son el incremento a la resistencia a la corrosión en rangos bastante altos, así como la ampliación del campo de aplicación de las fundiciones producidas por este método a aquellas aplicaciones en las cuales son sometidas a campos de esfuerzos que no son isotrópicos, por lo cual una fundición que ha sido solidificada normalmente no podría funcionar adecuadamente. En el apéndice A se describe mas ampliamente las características de las fundiciones solidificadas direccionalmente y monocristalinas.

DEFECTOS DE LAS FUNDICIONES PRODUCIDAS POR EL PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA

A pesar de las características del proceso shell se pueden tener defectos superficiales debido a las características químicas de la cáscara, tales defectos pueden expresarse solo en algunos metales como el caso de los aceros al carbón y de baja aleación, en los cuales se pueden tener picaduras, o el llamado "piel de naranja".

Una posible causa de estos defectos es la producción local de hidrocarburos gaseosos al mismo tiempo que la permeabilidad de la cáscara disminuye debido a los cambios físicos de la resina. Esto también puede ser causado debido a que algunas formas de defecto desaparecen con adición en exceso de desoxidante, lo cual ocasiona la absorción local de carbón y su transformación en monóxido de carbono dejando espacios vacantes en aquellos sitios de los cuales fue absorbido. Sin embargo una causa mas

ampliamente aceptada es que este tipo de defectos son ocasionados en los aceros al carbón al nitrógeno originado en la hexamina cuando se utiliza como endurecedor en la resina.

Existen varias medidas para eliminar los defectos en el proceso shell, algunas de ellas incluyen el cambio del componente base de la arena de cuarzo a zircón, cromita u olivina y el uso de aditivos tales como el bióxido de manganeso. También se han desarrollado resinas libres de nitrógeno para eliminar la porosidad ocasionada por gases atrapados.

En relación a este proceso, un factor significativo son los costos de producción, los cuales son solamente un poco más altos que en el proceso de moldeo en arena en verde, sin embargo la instalación inicial del equipo, así como la producción inicial de los modelos puede ser considerablemente más alta, por lo cual el proceso no es recomendable para un cambio radical del proceso para volúmenes bajos de producción.

Costos del proceso

Como se ha discutido en el Capítulo 1, es conveniente no solo evaluar la conveniencia técnica del proceso, sino que los factores económicos pueden ser determinantes para elegir un proceso específico de manufactura, por lo cual a continuación hacemos un análisis de los costos propios del Proceso de Moldeo a la Cáscara.

COSTO DE LAS FUNDICIONES

Las fundiciones producidas por el proceso shell son más costosas que las obtenidas por el proceso de moldeo en arena en verde. Por lo tanto, para justificar la fabricación de las fundiciones por este método, se debe tomar como base el costo del producto final. La reducción del peso de las fundiciones, la minimización o disminución de operaciones de maquinado posterior y el tiempo de mano de obra calificada requerida para la fabricación de moldes que tienen diseños especiales o contornos demasiado intrincados, son las principales ventajas que proporciona el proceso shell respecto al de moldeo en arena en verde y que permiten reducir los costos en el producto final. La limpieza de las fundiciones también resulta menos complicada que la requerida en el proceso de arena en verde, sin embargo tanto la recuperación de la arena como los métodos de eliminación de rechupes a través de rebosaderos no presentan grandes diferencias.

COSTO DE LOS MODELOS

En este punto estriba probablemente la principal diferencia en el proceso shell. Los costos de los modelos son varias veces mas altos que los platos de modelos ordinarios. Los modelos deben ser fabricados de materiales resistentes al calor y maquinados con gran precisión dimensional, y tienen además elementos adicionales tales como pernos y resortes.

Para la producción de modelos para este proceso algunos diseñadores prefieren aceros al cromo níquel e incluso los aceros al carbón son usados ampliamente. Los modelos de bronce y aluminio pueden ser utilizados para volúmenes de producción bajos, o para trabajos experimentales, pero no son recomendables para volúmenes de producción altos.

El costo de estos puede ser reducido solo si se utilizan tolerancias estrechas en aquellas zonas del modelo donde sean realmente necesarias, o en donde otra pieza con ciertas tolerancias será acoplada a la fundición y se requiere que entre ambas se conserve un tipo de ajuste específico.

Desde el punto de vista de uniformidad en el diseño, se debería de adoptar una estandarización de los platos de los modelos y de las dimensiones de los mismos, dado que así podrían ser utilizados en diferentes maquinas e incluso diferentes plantas de fundición sin que se hiciera necesario ningún tipo de modificación, disminuyendo así los costos ocasionados pro este problema cuando sea necesario.

COSTO DE LOS MATERIALES

Las resinas y aditivos para la arena (cuando son necesarios) representan una porción considerable de los costos totales del proceso Shell. Las resinas fenólicas son caras y no son reciclables dada su propiedad termoestable, así que es un gasto el cual no se puede evitar, la emulsión de silicón o cualquier otra sustancia que se utilice como separador entre el modelo y la cáscara se encuentra en el mismo caso, debido a que si se tratara de evitar, podrían tenerse costos mas altos ya que sin ella, las cáscaras podrían quedarse pegadas al modelo, y así, al tratar de separarlos la cáscara se rompería, lo cual se refleja en aumento de costos por el desperdicio de resina que esto causa.

En cuanto a la arena existen diferentes tipos que se pueden utilizar y la decisión de cual seleccionar es función directa de la calidad que se requiera de la pieza final, ya que el componente principal de la arena y el tamaño del grano definen el tipo de acabado superficial que se va a obtener de la fundición, así que

existen diversos tipos elegibles en cuanto al tamaño de grano, sin embargo dado que el hecho de utilizar este proceso en lugar otro es el de reducir los costos en operaciones posteriores como el maquinado, el cual incrementa el costo final de la pieza, como en el caso del proceso de moldeo en arena en verde , o disminuir los costos del proceso en si mismo como el proceso de fundición a presión, entonces el tamaño de grano debe ser pequeño para lograr este objetivo, por lo cual el costo de la arena se incrementa, así que se debe de encontrar un equilibrio a través del cual el hecho de utilizar arena de grano fino no eleve el costo de la pieza final mas de lo que lo haría una operación de maquinado posterior o la utilización de un proceso de fundición en el cual se obtenga directamente el acabado superficial deseado.

COSTOS DE LOS CORAZONES

Otros costos que no necesariamente están presentes en todas las fundiciones son los que involucra el uso de los corazones de cáscara, sin embargo, la diferencia de costo de su fabricación no es grande respecto a los otros procesos de producción de corazones. Por otro lado para justificar la fabricación de corazones por el proceso Shell, es necesario tener volúmenes de producción medios altos para amortiguar el costo del equipo requerido para su manufactura.

CAMPO DE APLICACION

El proceso shell es ideal para la producción en masa de pequeñas fundiciones donde el grado de complejidad es tan alto que ocasiona un numero grande de piezas defectuosas si se utiliza el moldeo en arena en verde y el costo es sumamente elevado si se utiliza fundición por investimento o a la cera perdida o fundición en molde permanente.

Por lo tanto el proceso shell puede tener dos grandes áreas de aplicación. La primera área y quizá la mas importante, es aquella cuyas piezas producidas actualmente no son fabricadas a través de un proceso de fundición. Estas piezas son las fabricadas por forja o partiendo de materiales preformados para su maquinado posterior.

Muchas de estas piezas tienen contornos intrincados y son hechas por otro proceso dado que el proceso de moldeo en arena en verde no proporciona la precisión dimensional, la calidad superficial, ni la flexibilidad en el diseño requerida. Estas piezas incluyen aquellas que tienen secciones transversales delgadas,

Proceso Shell

agujeros pequeños y de contornos sinuosos, filos o esquinas agudos y que requieren tener ángulos de salida muy pequeños o nulos, y que a pesar de esto, por el volumen de producción, no es rentable producirlas por el proceso de fundición por investimento o a la cera perdida ni por el proceso de fundición en molde permanente por los costos en herramental que estos involucran, por lo cual el proceso shell proporciona la alternativa mas viable para su fabricación.

La segunda gran área es aquella en la cual las piezas fabricadas son hechas actualmente a través de métodos convencionales como el proceso de moldeo en arena en verde a través de métodos mas costosos como la fundición en molde permanente.

Capítulo 3

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA FUNDICION

Dentro del diseño de los moldes es de suma importancia la colocación de rebosaderos, compuertas y enfriamientos para poder obtener así una buena pieza. Las compuertas, rebosaderos y enfriadores están relacionados entre si. La función de un sistema de compuerta en el molde es el de suministrar el metal liquido a la cavidad del molde. La función del rebosadero es la de almacenar y suministrar metal liquido para compensar la contracción de la solidificación de las secciones del molde, además el volumen del rebosadero debe ser lo suficientemente grande para suministrar todo el metal necesario al molde y deben colocarse cerca de las secciones gruesas las cuales pueden estar expuestas a una gran contraccion. Por ultimo la función del enfriador es causar que ciertas secciones de un colado solidifiquen antes que otra, con frecuencia ayuda a disminuir con propiedad el suministro de metal de los rebosaderos.

DISEÑO DE REBOSADEROS

El diseño de rebosaderos, auxiliado con el desarrollo de depósitos adecuados de alimentación de metal y de la formación de fundiciones homogéneas evitan cavidades con contracciones o rechupes indeseables en la fundición, siendo estas cavidades eliminadas o colocadas en partes o lugares donde no perjudiquen la fundición. Cuando los metales se solidifican y enfrían para formar una fundición, generalmente se tienen tres distintas etapas o volúmenes de contracción. Estas etapas se muestran

esquemáticamente en la figura 3.1 y son:

- Contracción o rechupe líquido: el metal líquido pierde volumen mientras se enfría hasta llegar a la temperatura de solidificación.
- Contracción o rechupe de solidificación: el metal enfriado, cambia de un líquido a un sólido con una alta densidad. Para metales puros, esta contracción ocurrirá a una temperatura singular, pero para las aleaciones serán ciertos rangos de temperatura o intervalos de enfriamiento.
- Contracción o rechupe sólido: las fundiciones sólidas enfrían desde la temperatura de solidificación hasta una temperatura ambiente.

En la figura 3.1 podemos ver un diagrama esquemático de una

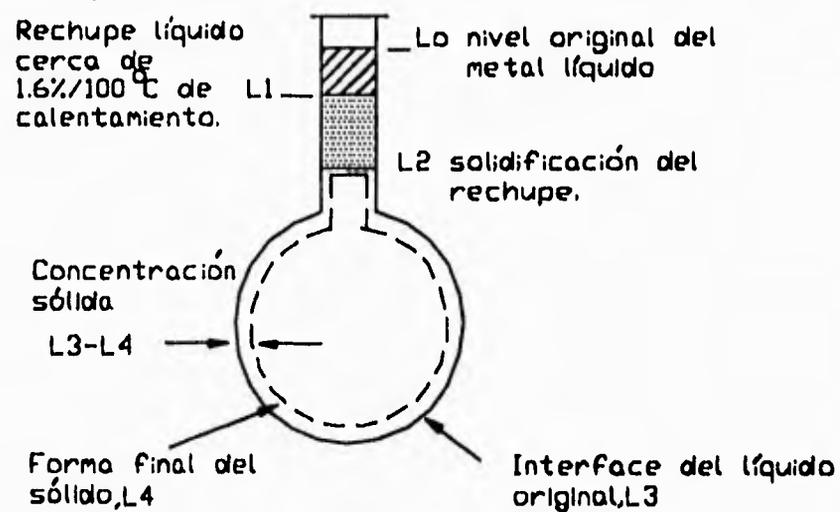


Figura 3.1: Representación esquemática de un rechupe

contracción o rechupe.

La contracción o rechupe sólido es acomodada de tal forma que se puedan fabricar los modelos según las características y dimensiones deseadas. Los rechupes del líquido y los del sólido son los concernientes al rebosadero. En la ausencia de rebosaderos la fundición puede sobrepasar la solidificación como se muestra en la figura 3.2. (a) Metal líquido. (b) Capa sólida y la formación de un rechupe. (c) Rechupe interno. (d) Rechupe interno mas una cavidad. (e) defecto superficial

Las contracciones o rechupes provocan defectos en la fundición como por ejemplo cavidades o vacíos internos, algunas perforaciones en la superficie y deformaciones superficiales.

Estos defectos pueden variar según las diferentes aleaciones que se utilicen, es decir, los rechupes internos pueden estar más dispersos, o presentar en su superficie una excelente apariencia teniendo en su interior deformaciones significativas.

Para eliminar estos defectos en la fundición, un rebosadero

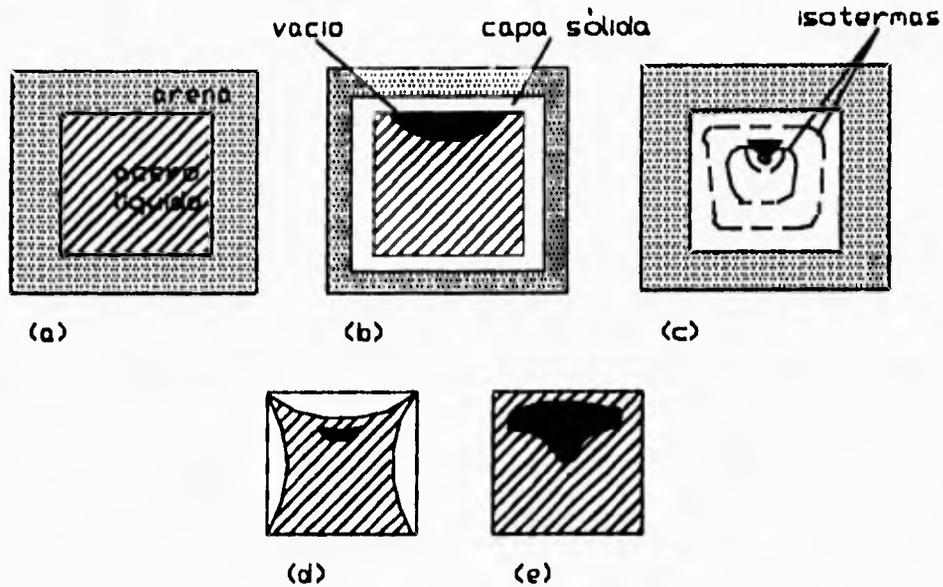


Figura 3.2: Secuencia de la formación de un rechupe

puede ser añadido para acomodar las contracciones del líquido y poder así proporcionar el metal líquido compensando los rechupes que hubiese dentro de la fundición.

Como se muestra en la figura 3.3, el rebosadero debe ser mayor que la alimentación de la fundición, debido a que debe proveer la alimentación del metal en estado líquido mientras la fundición se esté solidificando. Varios métodos son usados para reducir el tamaño del rebosadero, (a) Rebosadero abierto. (b) Rebosadero abierto y borde. (c) Rebosadero y borde semiabiertos. (d) Rebosadero separado. (e) Rebosadero y borde separados); estos se explicará a continuación.

DISEÑO OPTIMO DE REBOSADEROS

El diseño de rebosaderos se puede hacer de una forma simple, estando seguro de que los rebosaderos proveerán el metal de alimentación:

- En la cantidad correcta
- En el lugar correcto

- En el tiempo correcto
- Considerandose también que:
 - La conjunción fundición/rebosadero debe ser diseñada para minimizar los costos de remoción o corte del rebosadero.
 - El número y tamaño de rebosaderos debe ser minimizado para incrementar la producción de moldes y reducir los costos de producción.
 - El lugar de los rebosaderos debe ser escogido de acuerdo a

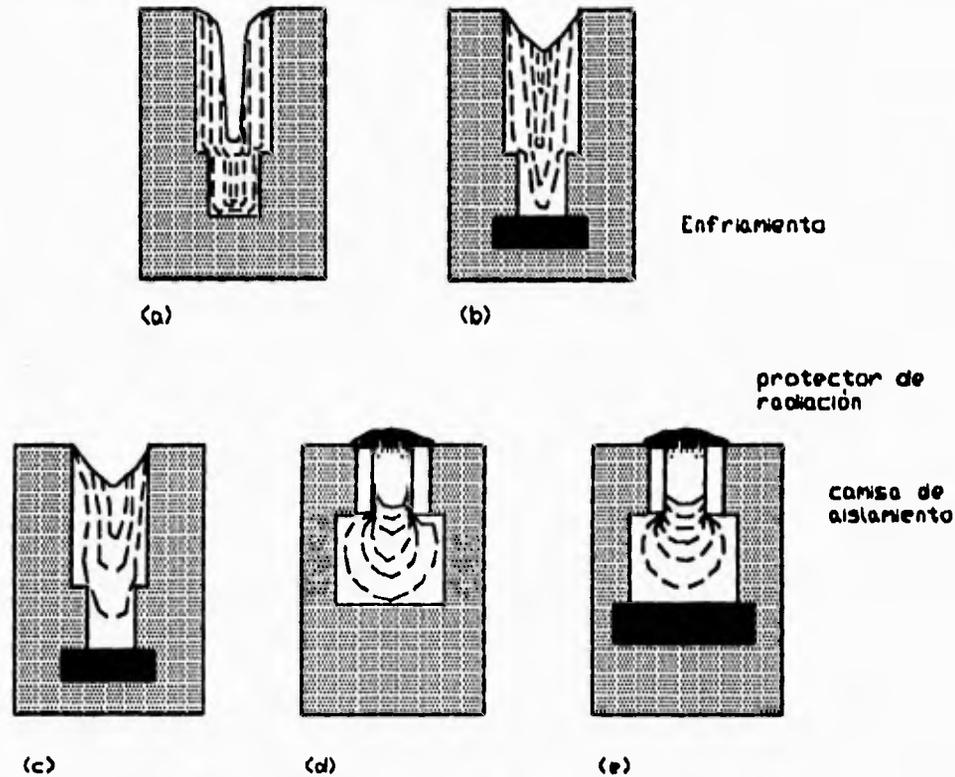


Figura 3.3: Métodos para el control de rechupes

los problemas de alimentación de metal líquido que pudiera tener la fundición.

En la práctica, estas consideraciones se encuentran frecuentemente en conflicto, y el diseño final del rebosadero y la producción del modelo representan todo un reto.

Volumen de alimentación de metal

El rebosadero debe ser el adecuado para satisfacer el rechupe tanto líquido como de solidificación requerido para la fundición.

Además, el rebosadero debe solidificarse por sí mismo, entonces, para conocer el rechupe final deberá conocerse la combinación entre el rebosadero y la fundición. El requerimiento

de alimentación total dependerá de la aleación que estemos utilizando, la cantidad de calor, la geometría de la fundición y el modelo medio.

CONTRACCIÓN O RECHUPE LÍQUIDO.

Este dependerá de la aleación y de la cantidad de calor. Como se indica en la figura 1 para aceros al carbono se considera generalmente que la contracción en estado líquido estará en un rango de 1.6 a 1.8 /100°C (0.9 a 1.0%/100°F) de calor.

CONTRACCIÓN O RECHUPE DE SOLIDIFICACIÓN.

La tabla 3.1 indica las contracciones de solidificación las cuales variarán considerablemente de acuerdo al punto de fusión de la aleación. En la práctica se muestra que el control de las condiciones del molde, debido al fenómeno de expansión puede ser usado para reducir grandemente o hasta en algunas ocasiones eliminar los rebosaderos con el acomodamiento de la contracción de líquido por un sistema de compuerta en vez de poner un sistema de rebosadero.

| Metal | Porcentaje de Contracción volumétrica de solidificación |
|---------------------|---------------------------------------------------------|
| Acero al carbono | 2.5-3 |
| Acero al carbono 1% | 4 |
| Hierro blanco | 4-5.5 |
| Hierro gris | Varía de 1.6 en contracción a 2.5 en expansión |
| Hierro ductil | varía de 2.7 en contracción a 4.5 en expansión |
| Cobre | 4.9 |
| Cu-30Zn | 4.5 |
| Cu-10Al | 4 |
| Aluminio | 6.6 |
| Al-4.5Cu | 6.3 |
| Al-12Si | 3.8 |
| Magnesio | 4.2 |
| Zinc | 6.5 |

Tabla 3.1: Rangos de contracción para algunos metales

DILATACIÓN DEL MOLDE.

Debido a la dilatación, las paredes del molde tienden a expandirse dejando espacios entre sí, los cuales deben ser llenados con metal líquido provocando que el molde se agrande

y por tanto aumente el requerimiento de alimentación del metal. La dilatación del molde esta en función del tamaño del molde, de la temperatura de llenado y de la aleación.

En moldes de arena en verde la dilatación del molde puede provocar un 15% adicional de requerimiento de alimentación de metal de lo que se necesitaría comúnmente para satisfacer el llenado del molde. En las aleaciones base-cobre es sugerido tener una alimentación de metal liquido de un 1% adicional de lo requerido normalmente debido a la expansión de la cavidad del molde en moldes en arena verde.

GEOMETRÍA DE LA FUNDICIÓN.

El tamaño del rebosadero esta en función de la forma de la fundición, conociendo esta forma se puede saber la cantidad de alimentación que se necesitará, además el rebosadero debe mantenerse como una reserva de metal liquido ya que la fundición se ira solidificando.

Para fundiciones de sección delgada, los requerimientos de alimentación de metal pueden ser pequeños y son comúnmente calculados. La tabla 3.2 indica los efectos y diferencias para geometrías de fundición según los requerimientos de volumen de los rebosaderos.

| Tipo de fundición | Volumen de crecimiento mínimo (Vr/Vc),% | | | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|-----------------------|---------|
| | Crecimiento aislado | | Crecimiento de arenas | |
| | H/D=1:1 | H/D=2:1 | H/D=1:1 | H/D=2:1 |
| Muy grueso (cubos, etc.): dimensiones en radio 1:1.33:2 | 32 | 40 | 140 | 198 |
| Grueso: dimensiones en radio 1:2:4 | 26 | 32 | 106 | 140 |
| Proneado: dimensiones en radio 1:3:9 | 19 | 22 | 58 | 75 |
| Totalmente ordenado: dimensiones en radio 1:10:10 | 14 | 16 | 30 | 38 |
| Ordenado: dimensiones en radio 1:15:30 | 9 | 10 | 13 | 15 |
| Muy ordenado: dimensiones en radio 1:15:30 | 8 | 8 | 11 | 13 |

Tabla 3.2: Valores mínimos para rebosaderos

LOCALIZACIÓN DEL REBOSADERO.

Para determinar la correcta localización del rebosadero, los métodos ingenieriles deben hacer uso del concepto de solidificación direccional. Si las cavidades de contracción en la fundición van a ser eliminados, la solidificación deberá proceder

direccionadamente desde aquellas partes de la fundición lejanas al rebosadero, a través de porciones intermedias de la fundición y finalmente por el rebosadero, donde la solidificación final ocurrirá. Las contracciones de cada paso de la solidificación deberán ser alimentadas por el metal hasta llegar al rebosadero.

La habilidad de llevar a acabo tal solidificación direccional dependerá de:

- La aleación y su modo de solidificación.
- El molde.
- El diseño de la fundición.

Dos distintos tipos de fundición deberán ser considerados:

- Fundición con pared delgada uniforme.
- Fundición con secciones de paredes que varían en su espesor.

SOLIDIFICACIÓN DIRECCIONAL Y PROGRESIVA.

La figura 3.4 muestra la interacción entre la solidificación direccional y progresiva en un equipo con rebosadero. Con el llenado de la cavidad del molde, la solidificación generalmente comenzará en la pared del molde donde se formará una capa de metal sólida.

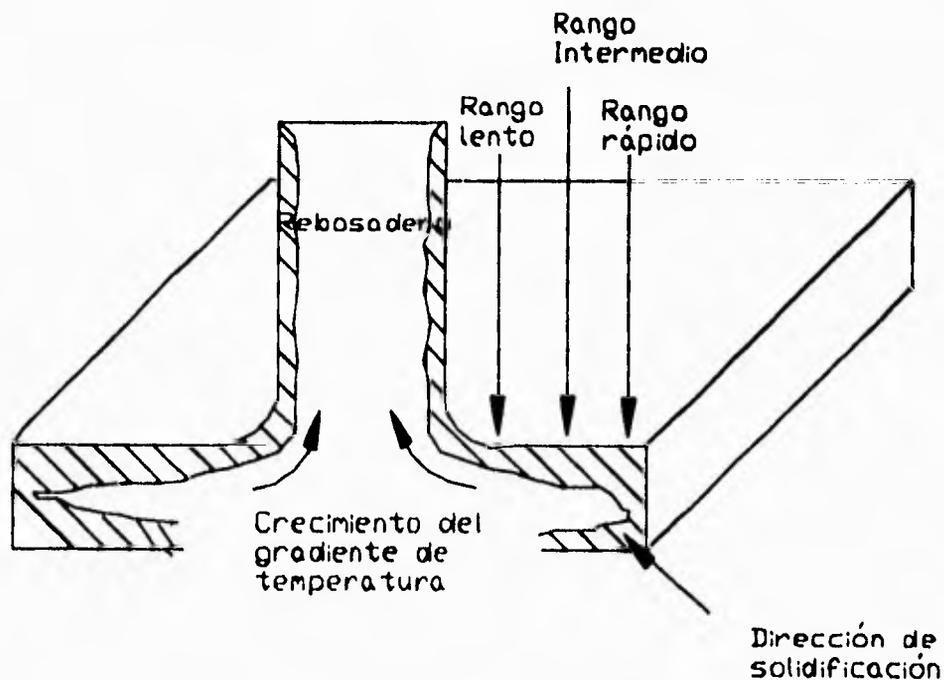


Figura 3.4: Direccinamiento de la fundición

Conforme el molde va disipando el calor, esas capas crecerán progresivamente. Dos condiciones cambiarán el rango de este crecimiento, las cuales se mencionan a continuación.

En la fundición, en la superficie, donde las aleaciones transfieren calor más rápidamente al molde, la velocidad de solidificación debe ser rápida. En el rebosadero, donde la masa del rebosadero provee más calor y donde la transferencia de calor al molde se reduce a la relación rebosadero/fundición. La combinación de estos efectos influirá en la solidificación.

MODO DE SOLIDIFICACIÓN

La habilidad de promover y direccionar la solidificación dependerá en gran parte de la manera en que las aleaciones solidifiquen. Las aleaciones pueden ser clasificadas en 3 tipos basándose en sus rangos de enfriamiento:

- Corto: intervalo líquido-sólido menor de 50°C (90°F).
- Línea intermedia: intervalo de 50 a 110°C (90 a 200°F).
- Largo: intervalo mayor a 110°C (90°F).

Esta clasificación no es precisa, pero el modo general de solidificación de cada tipo se muestra en las figuras 3.5 hasta la 3.8.

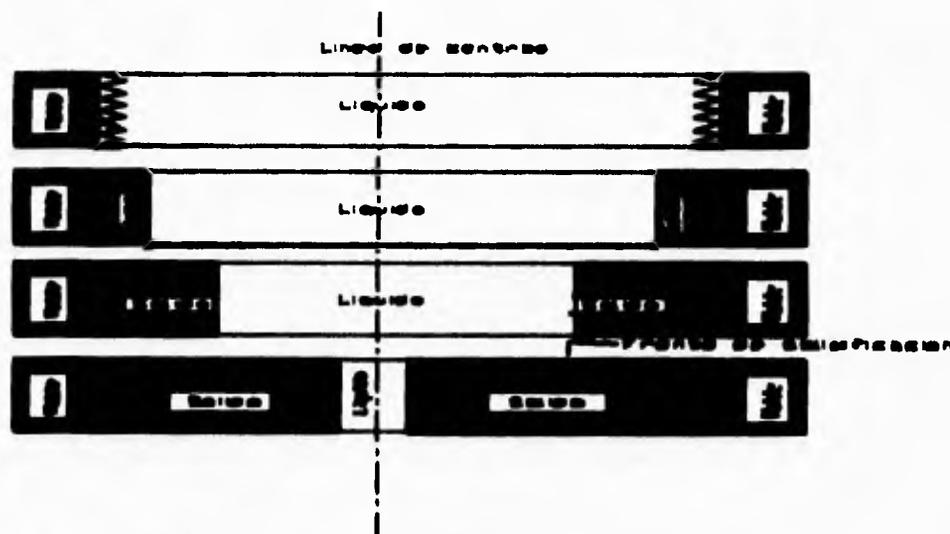


Figura 3.5: Modo de enfriamiento en un metal puro

Para metales puros (figura 3.5) en donde el rango del enfriamiento es aproximadamente 0, las paredes de la fundición van solidificando hacia el interior del molde. Rangos pequeños de enfriamiento de algunas aleaciones (en la figura 3.6 se muestra el modo de enfriamiento de este tipo de aleaciones)

muestran la formación de capas que van del exterior del molde al interior del mismo, esto es los cristales empiezan a solidificar hacia adentro del molde (principio de enfriamiento) pero sin avanzar hasta que la capa que inicio se haya terminado de formar(final de enfriamiento), esto es, las capas se van formando una a una.

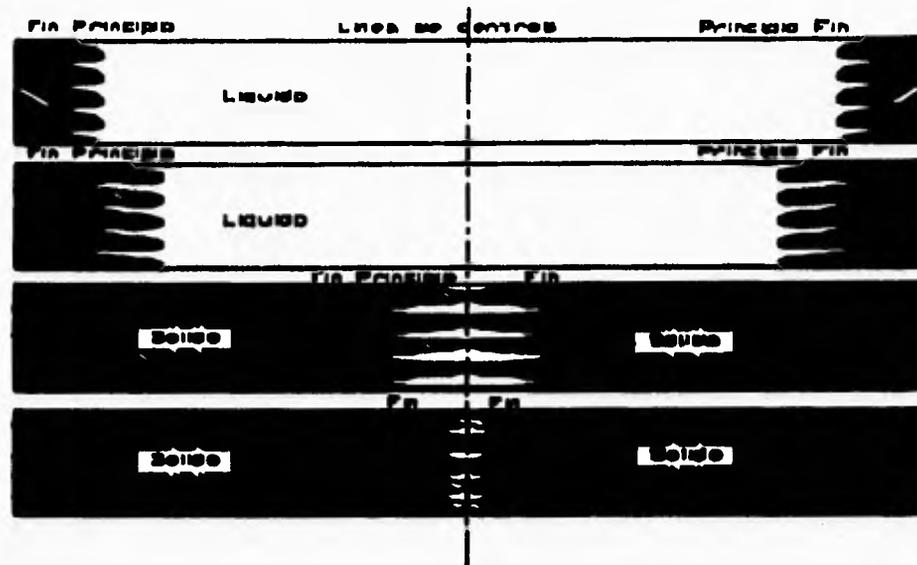


Figura 3.6: Aleación con corto tiempo de enfriamiento

El crecimiento de los cristales ayuda relativamente a mantener la alimentación del metal líquido en contacto con todas las superficies que se están solidificando. Fuertes solidificaciones progresivas en pequeños rangos de enfriamiento en las aleaciones promueven el desarrollo de solidificaciones direccionales a lo largo de cualquier gradiente de temperatura en la fundición de la solidificación. Por ejemplo en aceros al carbono y gradientes de solo 0.022 a 0.045 °C/mm (1 a 2 °F/in) en platos y 0.135 a 0.269 °C/mm (de 6 a 12 °F) en barras son suficientes para producir una sección de fundición de contracciones libres a través de la solidificación direccional.

Para aleaciones con grandes rangos de enfriamiento (figura 3.7), el desarrollo de solidificación direccional es difícil. A pesar de esto una pequeña capa puede empezar a formarse sobre las paredes del molde, la solidificación no avanza progresivamente hacia adentro. A veces se desarrollan a través de la fundición una especie de manchas dispersas. Este modo de solidificación lento da lugar a la solidificación del desarrollo de muchos pequeños canales de metal líquido que posteriormente serán solidificados.

La alimentación a través de esos pequeños canales es restringida y dispersa y algunas porosidades de contracciones ocurren a través de la fundición.

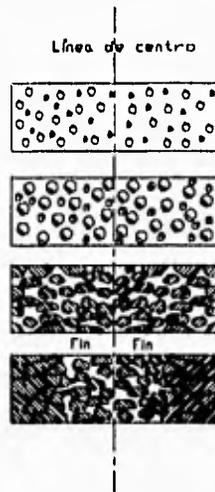


Figura 3.7: Aleaciones con largo rango de enfriamiento

La solidificación es típica de muchas aleaciones base y comerciales en el cual la dificultad de alimentación causada por una porosidad de contracciones se aumenta, especialmente en secciones delgadas debido a la alta conductividad térmica de las aleaciones que ayuda a manifestar una temperatura uniforme de fundición y solidificación. Para aumentar la solidificación direccional en ciertas aleaciones se requieren gradientes de temperatura grandes como de $1.46^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ($65^{\circ}\text{F}/\text{in}$), los cuales pueden ser usados solo para ciertas formas y partes de solidificación, generalmente la meta de los rebosaderos como la de las aleaciones no es eliminar las contracciones pero si asegurar que serán dispersadas(microporosidades).

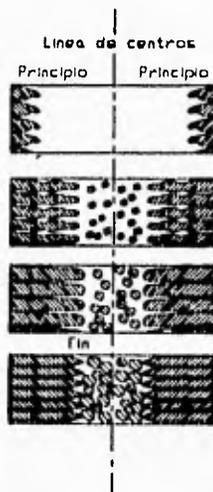


Figura 3.8: Aleaciones con rango medio de enfriamiento

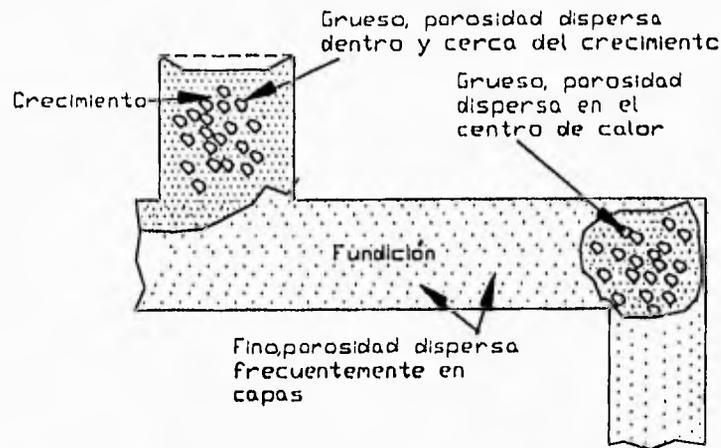


Figura 3.9: Forma de rechapado en fundiciones de arena

Para aleaciones con un rango de enfriamiento intermedio como se muestra en la figura 3.8, el modo de solidificación combinará elementos de formación de capas y modos de solidificación lenta. El gradiente de temperatura del centro de la sección de solidificación de la fundición es reducida y el crecimiento de los cristales cambiará de un modelo de crecimiento columnar a modelo equiaxial a través del centro del metal líquido que aun no solidifica.

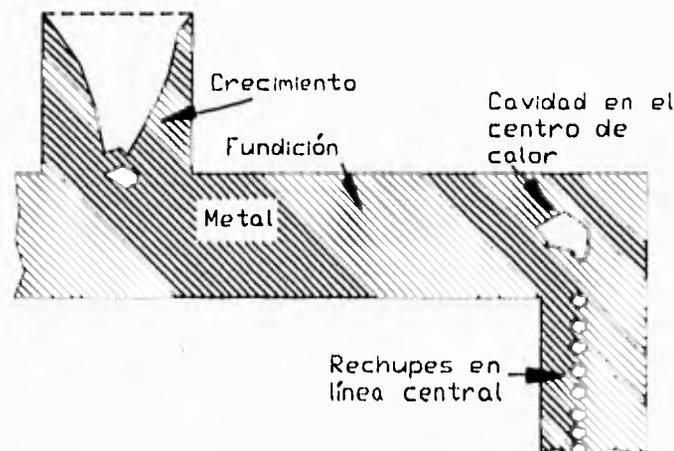


Figura 3.10: Rechupes debidos a la formación de capas

Varios modos de solidificación resultan en diferentes configuraciones típicas con contracciones tanto en la fundición como en los rebosaderos (figura 3.9 y 3.10) presentando diferentes problemas que suceden en el diseño del rebosadero y en la fundición. La selección de métodos apropiados dependerá de la posibilidad de promover la solidificación direccional.

FUNDICION CON SECCIONES DE ESPESOR VARIABLE.

La mayoría de las fundiciones de productos comerciales consiste en secciones de espesor variable. Las zonas gruesas solidifican despacio y debe de estar separadas unas de las otras por una rápida y delgada sección de solidificación. Las secciones mas gruesas deben actuar como un rebosadero proporcionando el metal liquido necesario a las secciones delgadas.

Esta selección del método de rebosadero varia de un problema de espacio de rebosadero a uno de colocación del rebosadero es por eso que se tiene que conocer específicamente el problema. Así los métodos ingenieriles deben dividir una fundición en secciones de rebosaderos determinando cuales solidificaciones se moverán direccionalmente desde el principio hasta el final de la sección de solidificación. Esta alimentación puede frecuentemente manifestarse por la propia aplicación de los materiales aislantes para minimizar las necesidades de rebosadero.

Muchos métodos de aislamientos de rebosaderos de sección gruesa serán mostrados en la figura 3.11 usando una fundición con la conjunción de dos secciones gruesas por medio de una

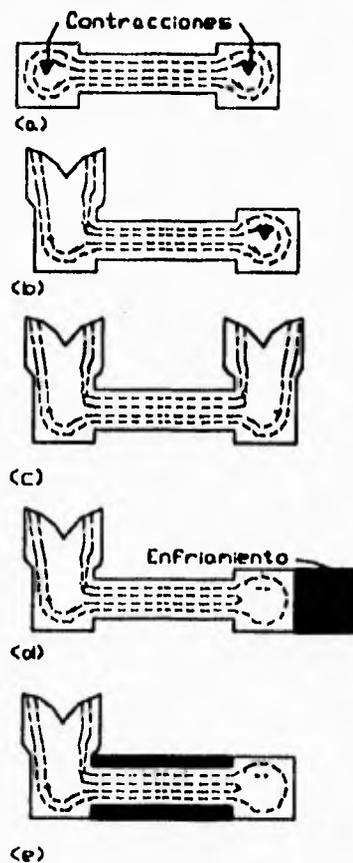


figura 3.11: Ubicación de rebosaderos

conexión delgada. La figura 3.11a donde no hay rebosaderos, el rechupe se desarrolla en las dos secciones gruesas.

Con un adecuado rebosadero aplicado en uno de los lados (figura 3.11b) las contracciones se quedarán sin alimentación, en la otra sección habrá zonas calientes debido a que la sección de contacto se enfriará primero.

Una simple solución es usar rebosaderos en ambos lados como en la figura 3.11c. Dos alimentaciones como aquí se establecen que corren de la sección central a los dos rebosaderos.

Dos métodos alternativos son mostrados por una alimentación sencilla. En la figura 3.11d un enfriamiento es aplicado para la sección aislada para reducir el tiempo de solidificación a bajo de la conexión. En la figura 3.11e el tiempo de conexión es debido a la aplicación de un aislante a las paredes de fundición.

Sin embargo, para fundiciones de espesor variable y geometrías complejas, es conveniente que el rebosadero se localice cerca del centro de masa de la fundición.

DURACION DE LA DISPONIBILIDAD DE ALIMENTACION DEL METAL

Un gran número de métodos han sido desarrollados para calcular el tamaño de rebosaderos necesario para asegurar que la alimentación del líquido estará disponible durante todo el tiempo que requiera la fundición.

Método del factor de forma

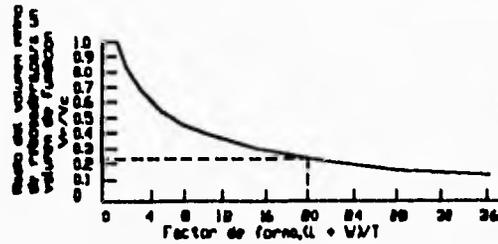
Basándose en el trabajo realizado por Caine (investigador en los laboratorios navales de E.U.) en el cual el tamaño del rebosadero se calcula con un factor de forma que se obtiene sumando el largo y ancho de una sección determinada y dividiendo la suma por la sección más delgada.

Este método se observa en la figura 3.12 con el ejemplo de un plato de 20 in por 2 in de espesor. De acuerdo a lo explicado esta fundición quedará libre de rechupes con un rebosadero central. La figura 3.12 muestra el cálculo del factor de forma y del volumen de la fundición. En la figura 3.12a se lee el factor de forma en el eje X, se intersecta con la curva, se traza una paralela al eje X y al cruzar con el eje Y obtenemos el volumen mínimo del rebosadero V_r , necesario para alimentar el volumen de la fundición V_c (en por ciento).

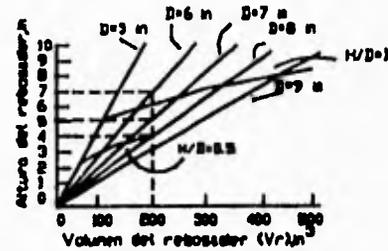
Para encontrar el tamaño correcto del rebosadero se han

desarrollado nomogramas como el de la figura 3.12b, aquí podemos encontrar rebosaderos que varían en diámetro y altura para satisfacer el volumen requerido.

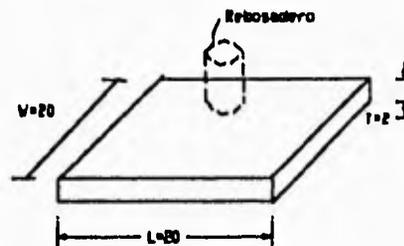
Método del modulo



(a)



(b)



$$\frac{L + W}{T} = \frac{20 + 20}{2} = 20$$

De (a):
 $V_r/V_c = 0.25$

$$V_c = 20 \times 20 \times 2 = 800 \text{ in}^3$$

$$V_r = 800 \times 0.25 = 200 \text{ in}^3$$

De (b):
 Reboadero con vol.=200in
 6inX7inH
 7inX5.25inH
 8inX4inH

Figura 3.12: Método del factor de forma

Este está basado en el concepto del congelamiento del tiempo de una fundición o de una sección el cual puede ser aproximado usando la regla de Chvorinov:

$$T = k^2(V_c/A_c)^2 = K^2 M_c^2 \dots\dots\dots \text{ecuación 1}$$

Donde T es el tiempo congelado de la fundición, V_c es el volumen de la fundición, A_c es el área superficial de la fundición y K es la constante de las propiedades del metal.

El tiempo de congelamiento de rebosaderos y fundiciones es proporcional a su módulo respectivo, y si el módulo del reboadero M_r es suficientemente más grande que el módulo de la fundición M_c obtendremos una buena alimentación. Para el acero si tenemos $M_r=1.2 \times M_c$ obtendremos una alimentación satisfactorias. Para otras aleaciones incluyendo aleaciones de aluminio y cobre la relación M_r/M_c es de 1.2:1. Para fierros grises y dúctiles dependiendo de la cantidad de carbono que contengan la relación requerida de M_r/M_c esta en un rango de 0.8:1 a 1.2:2.1.

Este método se recomienda para rebosaderos que son

demasiado pequeños o que están en una fundición con secciones muy delgadas. En ambos casos los requerimientos técnicos de la fundición indicarán rebosaderos muy pequeños, pero la demanda volumétrica de metal puede ser considerable es por eso que el tamaño del rebosadero designado por los cálculos del método del módulo deben ser verificados con la tabla 3.2.

Metodos computarizados

Actualmente muchos programas para computadoras pueden ser utilizados para el diseño de rebosaderos.

Estos programas pueden ser agrupados en dos categorías. La primera categoría incluye programas que generan recomendaciones para el tamaño del rebosadero. Estos programas generalmente corren en microcomputadoras los cuales se basan en el cálculo de uno o más de los métodos discutidos anteriormente. Estos programas usualmente

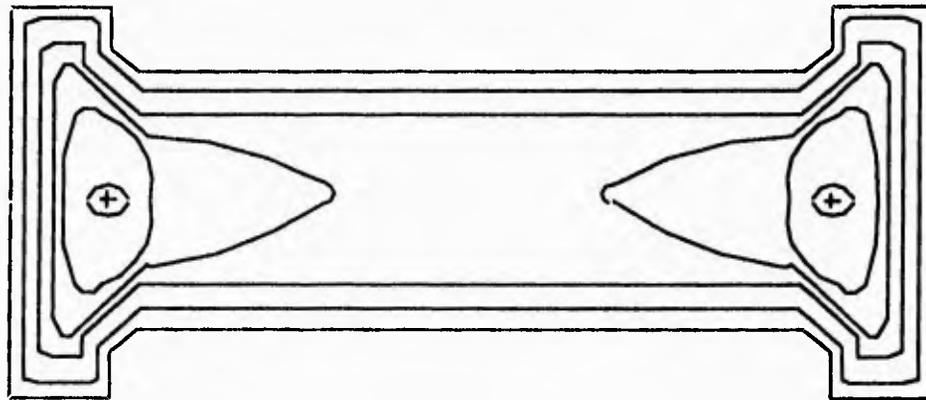


Fig.3.13: Simulación computarizada de la solidificación

contienen subrutinas para el cálculo de pesos de fundición, secciones y distancias de alimentación. El cálculo de los rebosaderos generalmente necesitan factores como la forma, el peso, el porcentaje de contracciones, la sección, el molde, localización de compuertas y la forma deseada del rebosadero para que el programa pueda proveer una gran variedad de alternativas para la selección de un rebosadero.

La segunda categoría contiene programas que simulan la solidificación para poder predecir el rebosadero que se necesita. Estos programas generalmente realizan cálculos de

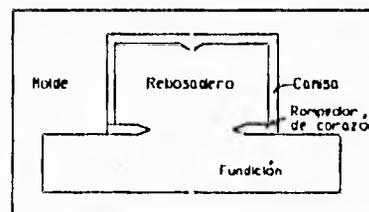
transferencia de calor para simular lo que sucederá dentro del sistema fundición rebosadero. Existen programas que efectúan su análisis en dos y tres dimensiones.

Como se muestra en la figura 3.13 estos programas son usados para el análisis de la solidificación dentro de la fundición y poder predecir y localizar contracciones. Los símbolos + indican los últimos puntos en solidificar en una fundición.

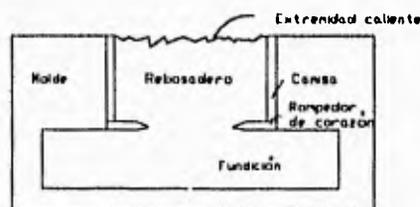
METODOS PARA UN MEJOR DISEÑO EN LA ALIMENTACION DE LOS REBOSADEROS

Son usados métodos de alimentación en industria de la fundición para incrementar la fundición y reducir el costo de manufactura. Estos métodos reducen la transferencia de calor del rebosadero al molde y a la atmósfera.

En el diseño de rebosadero hay tres tipos de alimentación que son muy comúnmente usados, como por ejemplo el de paneles o camisa para evitar un exceso de transferencia de calor, el de componentes superiores utilizado para que en los rebosaderos abiertos no transfieran demasiado calor a la atmosfera, y el de rompimiento de corazones el cual es usado entre el rebosadero



(a)



(b)

Figura 3.14: Tipos de rebosaderos

y la fundición para facilitar el removimiento del rebosadero de la fundición como se muestra en la figura 3.14.

La transferencia del metal del rebosadero se da por tres métodos que son la gravedad, la presión atmosférica y la acción capilar, siendo el más importante es el de la presión atmosférica.

DISEÑO DE COMPUERTAS

Un sistema de compuertas es la red por medio de la cual el metal líquido entra al molde y llena la cavidad del molde, en la cual el metal solidificará para crear la forma de fundición deseada. Los componentes básicos de un sistema simple de compuertas para un molde con partes horizontales como se muestra en la figura 3.15.

Para el diseño de las compuertas se tienen que llevar a cabo muchas consideraciones, como por ejemplo en el llenado del molde ya que si éste resulta rápido pueda haber erosión o en su momento una turbulencia que terminaría en el mal llenado del mismo, es por esto, que cualquier sistema de compuerta generalmente tendrá problemas en sus consideraciones de diseño, por tanto, se tiene que estudiar, tanto, la forma del molde

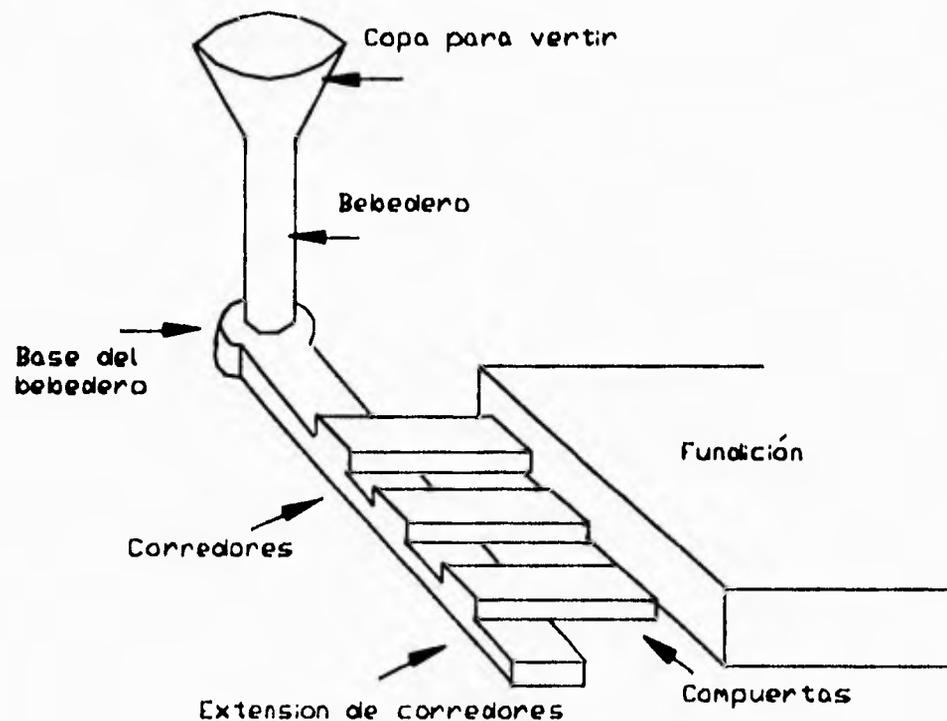


Figura 3.15: Sistema simple de compuertas

como la fundición y como las condiciones existentes en ese momento.

Podemos ver entonces que la función de un sistema de compuertas en un molde es suministrar el metal líquido a la cavidad del molde. En la figura 3.16 tenemos otro ejemplo de un

sistema de compuertas. El sistema de compuertas debe introducir el metal fundido en el molde con la menor turbulencia posible, regular la presión de entrada del metal en la cavidad del molde, permitir el llenado completo de la misma, y promover un flujo continuo del metal fundido para evitar la formación de pliegues fríos (dos frentes de solidificación que no se llegan a unir).

El bebedero se prefiere diseñar con una forma cónica o en forma de tobera, con sección transversal circular, encontrándose el diámetro mayor en contacto con la boca para vertido y el diámetro menor en la parte inferior del mismo; la sección transversal circular se prefiere debido a que ésta tiene una superficie mínima expuesta al enfriamiento y ofrece la menor resistencia al flujo.

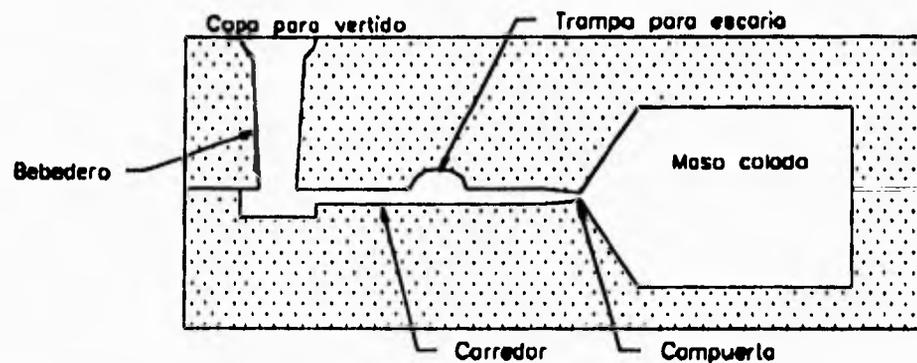


Figura 3.16: Sistema típico de compuertas

La relación mínima para el diseño de la tobera es mostrada en la figura 3.17, donde A_1 es el área de la sección transversal del bebedero en contacto con la boca para vertido, A_2 es el área de la sección transversal de la compuerta que se encuentra en contacto con la cavidad del molde y h es la altura del bebedero.

Los sistemas de compuertas que tienen cambios repentinos de dirección causan un llenado más lento de la cavidad del molde, se erosionan con facilidad y provocan turbulencia en el metal líquido que resulta en captación de gas, para evitar esto se utiliza un depósito de metal líquido por debajo de la línea de alimentación de la cavidad del molde, como se muestra en la figura 3.16.

TIPOS DE COMPUERTAS

Los tres tipos más comunes de compuertas son de partición,

superiores e inferiores, como se muestra en la figura 3.18.

La compuerta de partición (fig. 3.18 a) es la más comúnmente usada, su principal desventaja es que el metal cae dentro de la parte inferior del molde y puede causar erosión o arrastre al

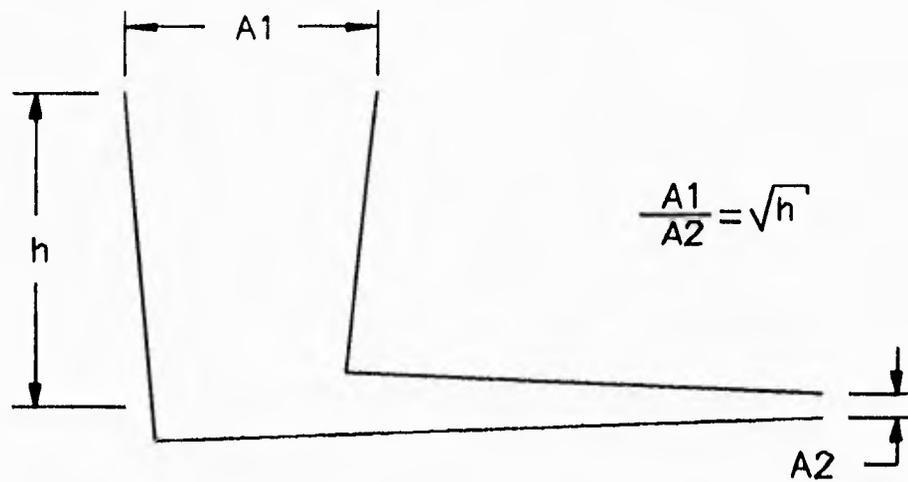


Figura 3.17: Relación mínima de la tobera.

molde, principalmente cuando se trata de un molde construido con arena en verde. En el caso de metales no ferrosos, esta caída agrava la formación de escoria y entrapa aire en el metal,

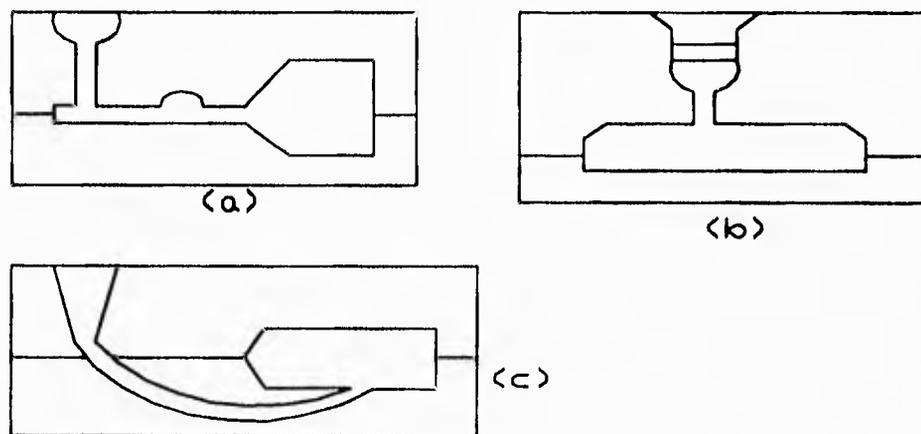


Figura 3.18: Diferentes tipos de compuertas

debido a la turbulencia que genera; sin embargo, este problema se puede evitar por medio del depósito de metal líquido por debajo de la línea de alimentación de la cavidad del molde antes

mencionada, este tipo de compuerta se recomienda para fundiciones geométricas.

Las compuertas superiores (Fig 3.18 b) se usan a veces para colados de hierro gris; son de diseño simple pero no son adecuados para aleaciones o metales no ferrosos, ya que tienen tendencia a formar escoria excesiva cuando se agita el metal. Ocasionalmente también una gran erosión del molde.

Las compuertas inferiores (fig 3.18 c) ofrecen un flujo suave con un mínimo de erosión del molde y corazón. Su principal desventaja es que crea un gradiente de temperatura desfavorable. El metal se introduce en el fondo de la cavidad del molde y se eleva lenta y uniformemente. Se enfría conforme se eleva y el resultado es una condición de metal y molde fríos cerca del bebedero y del metal y molde calientes cerca de la compuerta de entrada.

Las compuertas directas al colado resultan en puntos calientes, debido a que todo el metal entra a la cavidad del molde a través de una sola compuerta, y la arena que rodea la compuerta se calienta. El enfriamiento en esa área se retarda.

LLENADO RAPIDO DEL MOLDE

En secciones delgadas es probable que el líquido fundido llegue a tener tal transferencia de calor que resulte en un enfriamiento, llegando a una solidificación y por tanto, obstruyendo el paso del metal líquido impidiendo el llenado completo del molde, o bien, produciendo defectos superficiales. Ahora bien, el sobrecalentamiento del metal líquido aumentará la fluidez pero retardará el enfriamiento, lo cual puede aumentar problemas en la eliminación del gas y degradará la vida media del molde. Además el tiempo del llenado del molde puede ser menor que el tiempo de producción del molde, y al haber una desigualdad la producción no será la óptima.

MINIMIZANDO LA TURBULENCIA

Un llenado turbulento en el sistema de compuerta y por tanto, en la cavidad del molde aumentará el ataque, tanto mecánico, como térmico en el molde. Además la turbulencia provocará defectos superficiales debido al aumento de gases en el flujo de metal. Estos gases creados son por sí solos defectos como es el caso de burbujas, o bien, pueden reaccionar.

Para todas aquellas aleaciones que son susceptibles a la oxidación, como es el caso de las de aluminio, cobre, silicón, pueden generar capas de óxido causando defectos.

EVITANDO EROSION EN EL MOLDE Y EN EL CORAZON

Una alta velocidad del flujo o un direccionamiento incorrecto del mismo puede producir un desgaste en el molde o en el corazón debido a que el choque del fluido con las paredes del mismo va provocando una erosión que disminuirá la vida útil del molde y/o corazón, y produciendo inclusiones dentro de la fundición.

ELIMINACION DE LA ESCORIA, IMPUREZAS E INCLUSIONES

Aquí tratamos algunos materiales que entran al molde, como por ejemplo el caso de la escoria y aquellos que son generados por el sistema. El medio o la forma de evitar estos es con el uso de filtros en la parte de alimentación del metal o dándoles tiempo para que por si mismos floten dentro del metal líquido y sean removidos antes de ser alimentado el metal.

GENERACION DE GRADIENTES TERMICOS FAVORABLES

Debido a que la última parte del metal que es alimentado es el más caliente, es necesario introducir metal en aquellas partes en que vayan a ser las últimas en solidificar para hacer posible esto se realiza que el metal líquido vaya directamente de la compuerta al rebosadero, debido a que el rebosadero es usualmente la última parte que solidificará, si el sistema de compuertas no está diseñado para cumplir esta función se le deben hacer las adaptaciones pertinentes para que no produzca gradientes desfavorables, esto se logrará mediante la adición de cavidades en las cuales se introducirá metal en una especie de venas para así evitar lugares calientes.

MAXIMIZANDO LA PRODUCCION

Los costos de producción tendrán un descenso significativo si en las compuertas en lugar de reciclar el material sobrante bajando la calidad del mismo se opta por tratar de optimizar la cantidad de materiales que será utilizado en el sistema de compuerta. De esta manera la capacidad de la fundición tendrá un aumento considerable.

ELIMINACION DE COMPUERTAS

Representará un ahorro si el número y tamaño de las compuertas es reducido, ya que el material sera menor, ahora bien si como compuerta utilizamos un rebosadero, el ahorro puede ser mas significativo.

PRINCIPIOS DE LOS FLUIDOS

Para un mejor diseño de las compuertas es necesario estudiar y comprender la mecánica de los fluidos para así poder predecir su comportamiento y poder proveer de medidas dentro del diseño para tener una alimentación adecuada.

El teorema de Bernoulli nos dice que la suma de la energía cinética, energía potencial, energía debido a la presión y a la fricción es igual a una constante estos es:

$$wZ + wPv + (wV^2/2g) + wF = K$$

donde w es el peso total del líquido, Z es la altura del líquido, P es la presión estática, v es el volumen específico del líquido, g es la gravedad, V es la velocidad, F es la fricción perdida por unidad de peso, y K es la constante.

Esta ecuación será de gran ayuda dentro del diseño para predecir algunas situaciones del comportamiento del fluido en el sistema de compuertas. Otra ecuación que será de gran ayuda es la de la ley de la continuidad la cual nos dice que un sistema cerrado todo lo que entra es igual a lo que sale esto es:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

donde Q es el rango del flujo, V es la velocidad y A es el área por donde pasará nuestro fluido. Otras herramientas que pueden ser de ayuda es el número de Reynolds el cual es:

$$N_R = (vdp/u)$$

donde N_R es el número de Reynolds, v es la velocidad, d es el diámetro del canal del líquido, p es la densidad del líquido y u es viscosidad del líquido.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Aplicando los principios de la mecánica de fluidos se pueden hacer muchas consideraciones aun antes de empezar los cálculos.

CORREDORES Y COMPUERTAS INTERNAS

En la figura 3.15 se muestra un sistema de compuertas. Este sistema de compuertas internas y corredores son comunes. En este sistema los corredores se llenan del metal y evitan así la turbulencia a la vez que dan el tiempo suficiente para que las inclusiones salgan a flote y se adhieran a las paredes proporcionando así al molde un metal casi completamente puro.

Una característica de este sistema es que el área de la sección de alimentación será menor que el área de los corredores. Por tanto un sistema de presión forzará al metal a regresar a las compuertas internas y llenar rápidamente los corredores, evitando de esta manera que al no llenarse los corredores haya turbulencia.

SISTEMAS PRESURIZADOS CONTRA SISTEMAS NO PRESURIZADOS

La diferencia entre estos dos sistemas es la localización del controlador de flujo que determinará el rango de flujo del sistema de compuertas. Esta decisión implica la determinación del rango de compuertas deseado, este rango determinará el tamaño y localización de corredores y del sistema de compuertas, aumentando este sistema en área (no presurizado) o estrechándose (presurizado).

Ambos métodos son usados el sistema presurizado tiene la ventaja de que la velocidad del metal es lenta evitando así la presencia de turbulencia.

El sistema de presurizado tiene la ventaja de reducir tamaño y peso de la fundición incrementando la producción de moldes.

SISTEMAS DE COMPUERTA VERTICAL CONTRA SISTEMAS DE COMPUERTA HORIZONTAL

Esta decisión influirá en el direccionamiento de la línea de partición. La figura 3.15 muestra un molde con la línea de partición horizontal.

Los principios de diseño para los moldes que utilizan sistemas de compuertas verticales en lugar de horizontales son exactamente los mismos.

El tiempo de llenado óptimo está determinado por muchos factores como el tipo de metal, el peso y grueso de la fundición. Una vez que el tiempo de llenado es estable se utilizan los principios de la mecánica de fluidos para determinar el tamaño necesario del sistema.

Capítulo 4

MEZCLA DE MOLDEADO

El proceso de fundición involucra el vaciado de un metal fundido dentro de un molde; por lo tanto, el material del molde y el método de moldeo deben ser cuidadosamente seleccionados. Muchas fundiciones son hechas en moldes cuyo componente principal es la arena, debido a que los moldes metálicos no son recomendables para ser utilizados en fundiciones de aleaciones ferrosas. Para volúmenes de producción medios y bajos, el costo del herramental requerido para los procesos en los cuales la arena es el material base del molde proporcionan una ventaja sobre los moldes permanentes o los procesos de investimento.

La selección del material de moldeo y aglutinante depende del tipo de metal a ser vaciado, el tipo de pieza que se va a fabricar, la disponibilidad de aditivos de moldeo, el equipo existente para la fabricación del molde y los corazones y de la calidad requerida por el cliente.

Existen diferentes tipos de arena así como de aditivos los cuales proporcionan características diferentes al molde, algunos de los tipos mas importantes de estos elementos son descritos a continuación.

TIPOS DE ARENAS

Los moldes refractarios utilizados en la fundición consisten de partículas o granos de material refractario (arena) que es unido o aglutinado para mantener su forma durante el vaciado del metal fundido en la cavidad del molde. Por lo tanto con base en las características del metal que se va a vaciar se puede utilizar

diferentes tipos de arena, y estas deben cubrir las siguientes características básicas:

- Estabilidad térmica y dimensional a temperaturas elevadas.
- Tamaño y forma de grano adecuado.
- Estabilidad química al contacto con los metales fundidos.
- No ser permeables a los metales fundidos.
- Estar libre de sustancias volátiles que produzcan gases con el calentamiento.
- Limpieza, composición y pH homogéneo.
- Compatibilidad con los diferentes tipos de aglutinantes.
- Bajos costos.

Muchos minerales poseen algunas de estas características sin embargo solo los mencionados a continuación cubren todos ellos.

Arenas Sílicas

Muchos moldes de arena consisten en arena sílica; en el proceso de moldeado en arena en verde se utiliza comúnmente una mezcla de agua y bentonita como aglutinante (el término verde indica que uno de los componentes de la mezcla de molde es agua y que el molde no se encuentra seco) y en el caso del proceso shell la arena es aglutinada por medio de resinas fenólicas. La composición, tamaño, pureza y forma de la arena es importante para obtener buenos resultados en la fabricación del molde. Las arenas son clasificadas en naturales o sintéticas. Las naturales contienen suficientes arcillas como para ser mezcladas directamente con agua y usadas para el moldeado en arena en verde. Las arenas sintéticas han sido lavadas para remover la arcilla y otras impurezas, tamizadas y clasificadas cuidadosamente, y opcionalmente mezcladas con aglutinantes para que queden listas para producir moldes. Por lo anterior y dados los requerimientos actuales de la industria moderna la mayoría de los fundidores utilizan únicamente arenas sintéticas.

COMPOSICION

Este tipo de arenas están compuestas básicamente de silicatos (SiO_2) en forma de cuarzo. Algunas impurezas pueden estar presentes, tales como la limenita ($\text{FeO} - \text{TiO}_2$), magnetita (Fe_3O_4) y olivina, la cual está compuesta de ortosilicatos de Magnesio y Hierro. La arena sílica es utilizada ampliamente dado

que se puede conseguir fácilmente y su costo es bajo. Sin embargo para producir fundiciones satisfactorios es necesario agregar otros materiales.

El cuarzo sufre una serie de transiciones cristalográficas conforme es calentado. El primero a los 573 grados centígrados ocasiona su expansión. A más de 870 grados, el cuarzo se transforma en tridimita, y los granos comienzan a contraerse conforme se eleva la temperatura, y a temperaturas mas altas (1740 grados centígrados) la tridimita se transforma en cristobalita.

Por otra parte, los silicatos reaccionan con el hierro fundido formando un compuesto similar a la escoria o una capa rugosa de arena y metal que se adhiere a la fundición. Sin embargo los problemas con la arena sílica se pueden solucionar a través de la adición de algunos elementos a la arena, por lo cual la arena sílica es la que utiliza más ampliamente los aditivos para las mezclas de moldeo.

FORMA Y TAMAÑO DE LOS GRANOS DE ARENA

En el control de calidad del molde, son factores importantes la forma, el tamaño y uniformidad de los granos. Muchos constituyentes de los moldes son mezclas de arena nueva y reciclada, las cuales no solo contienen arena de moldeo, sino que también contienen arena de corazones, con lo que la uniformidad no es la idónea. Es importante tomar en cuenta al determinar el tamaño de grano y su clasificación, así como su forma, que esta ultima determina el área total y la continuidad superficial del molde , y que el tamaño de grano controla la permeabilidad del molde.

Conforme el área superficial del molde que estará en contacto con el metal fundido aumenta, la cantidad de aglutinante debe de aumentar también si se desea que el molde tenga la suficiente resistencia. Por lo que un cambio en el área superficial interna del molde resultara en un cambio en la cantidad de aglutinante requerido si no se tiene la forma de grano mas idónea.

Los granos redondeados tienen una relación baja de área superficial respecto al volumen y son preferidos para la fabricación de corazones dado que requieren la menor cantidad de aglutinante. Sin embargo, cuando la arena de corazones es reciclada dentro de un sistema de recuperación de arena de moldeo, su forma puede ser una desventaja si el sistema utiliza normalmente un alto porcentaje de aglutinante para facilitar y agilizar el moldeo. esto se debe a que los granos redondeados

requieren menos aglutinante que las demás formas de grano utilizadas en el proceso.

Los granos angulares tienen la mayor cantidad de área superficial (excepto las arenas que se fracturan fácilmente y producen un gran porcentaje de pequeños y finos granos) y por lo tanto requieren una mayor cantidad de aglutinante. Los ángulos se hacen más agudos con el uso debido a que se rompen por las esquinas, principalmente por la acción de choques térmicos y mecánicos.

Los granos comúnmente utilizados son aquellos que pertenecen a la clasificación de subangular a redondeado. Sin embargo, el control del tamaño de grano es más importante que la forma. El tamaño de grano del cual se encuentran constituidos tanto el molde como los corazones, incluyendo aquellos granos rotos y más pequeños ocasionados por las rupturas influyen sobre el acabado superficial y principalmente determinan la porosidad del molde.

La porosidad del molde controla su permeabilidad, la cual es la habilidad del molde de desalojar gases generados durante el vaciado del metal fundido a la cavidad y la solidificación a través de sus paredes. La máxima porosidad se obtiene cuando todos los granos del molde son aproximadamente del mismo tamaño. Por lo que, si la clasificación de los granos de arena por tamaño no fue bien realizada o la distribución de los tamaños no es apropiada, pueden existir entonces más granos pequeños que llenarán los espacios que quedan entre los más grandes obstruyendo así el paso que el aire utiliza para salir del molde. Conforme los granos se rompen gracias a repetidas operaciones de reciclado de la arena, existen cada vez más granos pequeños ocasionando que la porosidad del molde disminuya.

Sin embargo, si la porosidad del molde es muy grande, el metal fundido puede penetrar entre los granos de arena y provocar defectos en la pieza fundida. Por lo tanto, es necesario uniformizar el tamaño de los granos de arena tamizándola periódicamente, de esta manera podrán desecharse los granos demasiado pequeños o aquellos cuya distribución sea nociva para la fundición, y evitar los problemas mencionados.

Una clasificación aceptada ampliamente es la diseñada por la Sociedad Americana de Fundidores (AFS) la cual nos permite clasificar el tamaño y distribución de tamaño de los granos a través del número de fineza de grano. El número de fineza de grano es aproximadamente el número de aberturas por pulgada lineal de una serie de tamices o mallas de alambre a través de

los cuales los granos logran pasar.

El número de fineza de grano de la AFS es determinado tomando el porcentaje de arena retenida en cada una de las mallas normalizadas, a través de las cuales se hace pasar la arena, y multiplicando éste porcentaje por una constante propia de cada tamiz, sumando los resultados parciales y dividiendo entre el porcentaje total retenido en la serie de tamices.

A pesar de la exactitud del número de fineza de grano se puede presentar el caso, de que, aun cuando la arena que se someta al análisis resulte con un número de fineza idóneo para la aplicación requerida tenga una distribución de tamaño de grano a lo largo de los tamices que no sea la adecuada. Incluso se pueden tener dos lotes de arena con distribuciones completamente diferentes y que el número de fineza resulte el mismo. Por lo cual es importante al determinar éste índice de la AFS cuidar que la distribución de tamaño de grano que presente la arena en los diferentes tamices no nos provoque problemas con la fundición; por ejemplo que el molde no tenga la permeabilidad suficiente para desalojar los gases.

Zircón

Las arenas de zircón se componen de silicatos de zircón ($ZrSiO_4$). Este material es altamente refractario y posee excelentes características para la fundición. Una de sus ventajas primarias es que presenta muy baja expansión térmica, y su densidad es menor al de las arenas sílicas (lo cual proporciona velocidades de enfriamiento aproximadamente cuatro veces mayores que las obtenidas con el cuarzo), otra ventaja importante es que difícilmente reacciona con el metal fundido. El zircón requiere de menos aglutinante que otros tipos de arena para formar moldes debido a la forma redondeada de sus granos. De tal manera que la alta estabilidad térmica y dimensional presentadas por el zircón son las razones por las cuales éste es ampliamente utilizado en las fundiciones de acero y en las fundiciones producidas en moldes de cáscara e incluso para aleaciones con alto punto de fusión.

Olivina

Los minerales de olivina (llamados así por su característico color verde) son una solución sólida de silicatos de Magnesio (Mg_2SiO_4) y silicatos de hierro (Fe_2SiO_4). Sus propiedades físicas varían con su composición química, por lo que la

composición utilizada de olivina para una fundición debe ser claramente reportada o especificada para poder ser reproducida mas adelante.

Debe tenerse cuidado al utilizar la olivina debido al su contenido de una impureza llamada serpentina, la cual contiene un alto grado de humedad, y al estar en contacto con el metal fundido genera vapores que pueden ocasionar defectos en la fundición, debiendo calentar la olivina antes de vaciar el metal fundido para eliminar toda la humedad.

El calor específico de la olivina es similar al de la arena sílica, pero la expansión térmica que sufre es muy pequeña en comparación con los silicatos. Por lo tanto, su uso principal es en fundiciones en las que se requiere tener un control muy estrecho respecto a las dimensiones del molde. La forma angular de sus granos proporciona menos durabilidad y hace necesario el uso de una mayor cantidad de aglutinante.

Cromita

La cromita (FeCr_2O_4) es una arena con granos angulares y de color negro, con propiedades altamente refractarias y no es reactiva químicamente, además tiene gran estabilidad térmica y propiedades de conducción térmica excelentes. Sin embargo, su expansión térmica es el doble de la que presenta la arena de zircón, contiene impurezas hidratadas que causan defectos a causa de gases en la pieza fundida. Otra impureza que contiene es el óxido de calcio (CaO) y el bióxido de sílice (SiO_2), las cuales se deben ser removidas en la mayor cantidad posible para evitar reacciones con el metal fundido que ocasionen defectos en la fundición.

Silicatos de Aluminio

Los silicatos de aluminio (Al_2SiO_5) comúnmente se presentan en tres formas: Kyanita, silimanita, y andalusita. Todos ellos a altas temperaturas se disocian y forman mulita y silicatos, los cuales dependiendo de la reacción se pueden presentar en forma de cristobalita o silicatos amorfos. Para que esta arena sea útil para la fundición es necesario calcinar primero estas impurezas.

Los granos son altamente angulares. Esta arena tiene propiedades refractarias muy buenas, la expansión térmica que presenta es muy baja y presenta alta resistencia a choques térmicos. Es ampliamente utilizada en fundiciones de precisión a través de moldes producidos por investimento o de cáscara

combinada con la arena de zircón.

ADITIVOS A LAS MEZCLAS DE MOLDEO

Los aditivos agregados a la mezcla de moldeo en las proporciones correctas son de mucha ayuda para eliminar las deficiencias que puede presentar la arena base en el momento de la fundición y en cuanto a sus características propias.

Adiciones Carbonosas

El carbón es agregado al molde para proveer una atmósfera reductora y una película de gas protectora durante el vaciado del metal fundido, las cuales lo protegen de la oxidación y reducen los defectos superficiales como las picaduras. El carbón puede ser agregado en forma de carbón marino (seacoal) el cual es una fina tierra bituminosa de carbón, asfalto, glistonita (asfaltita en su estado natural) o productos procesados del petróleo para tal efecto. El carbón marino se transforma en coque a elevadas temperaturas expandiéndose aproximadamente tres veces mientras el cambio sucede; lo cual ocasiona que el carbón llene los espacios existentes en la interfase del molde y el metal fundido. Sin embargo si se agrega en exceso el carbón ocasiona humo y defectos superficiales por gases atrapados. El uso de productos de asfalto debe ser controlado estrechamente dado que si se aplica en exceso impermeabiliza la arena.

Celulosa

La celulosa es agregada para controlar la expansión térmica de la arena y en el caso del proceso de moldeo en arena en verde para permitir que la arena se pueda utilizar con un contenido mayor de humedad. Comúnmente la celulosa se encuentra en forma de pasta de madera, o como cáscaras de nuez. La celulosa ayuda a reducir los esfuerzos de compresión y provee una buena colapsabilidad, lo cual permite limpiar más fácilmente las fundiciones. A altas temperaturas la celulosa forma hollín (el hollín es una variante amorfa del carbón), el cual se deposita en la interfase que forman el molde y el metal fundido llenando así los espacios vacíos o intergranulares ayudando de esta manera a mejorar el acabado superficial de la fundición, ayuda a mejorar la fluidez de la arena durante el moldeo, es decir, permite que la arena cubra más fácilmente toda la superficie del modelo cuando éste tiene una forma muy sinuosa. Cuando se agrega en cantidades excesivas la celulosa genera humo y puede causar

defectos superficiales a causa de gases atrapados.

Cereales

Los cereales utilizados como aditivos en la mezcla de moldeo son comúnmente pasta de maíz, dextrina y otros almidones, los cuales cuando son humedecidos actúan como aglutinantes. Los cereales aumentan la dureza del molde de arena y mejoran así la habilidad del molde de reproducir cavidades profundas. Sin embargo el uso de cereales provoca que la limpieza de la pieza fundida se haga más difícil y en cantidades excesivas funciona como un adhesivo tan resistente que ocasiona grumos muy resistentes, y al igual que los dos aditivos anteriores provoca humos al momento de la vaciada del metal fundido.

AGLUTINANTES

Los aglutinantes proporcionan cohesión a los granos de arena de la mezcla de moldeo, permitiendo así que el molde conserve su forma al separarlo del modelo, los aglutinantes mas usados pertenecen a dos grandes ramas, las arcillas y los polímeros.

Arcillas

Las arcillas mas frecuentemente usadas como aglutinantes son las bentonitas, las cuales son una forma de silicatos de aluminio hidratados. La estructura molecular de las arcillas se forma por capas y ocasiona que las partículas de arcilla sean una especie de placas planas. El agua es absorbida en las superficies de estas placas y causa que la bentonita se expanda en la presencia de agua y se contraiga cuando se seca.

Existen dos formas de bentonitas: La del oeste y la sureña. Ambas son usadas en las fundiciones de arena pero existen algunas diferencias entre ellas.

En la bentonita del oeste, algunos de los átomos de aluminio son remplazados por átomos de sodio. Esto proporciona a la arcilla una carga eléctrica negativa, lo cual incrementa su habilidad o capacidad de absorber agua. La bentonita del oeste provee al molde de arena de una resistencia tanto en verde como en seco alta y es ideal para fundiciones de aleaciones ferrosas, puede expandirse volumetricamente gracias a la acción del agua hasta 13 veces su tamaño original, lo cual juega un papel importante al contrarrestar los defectos de expansión de la arena sílica. Posee un alto grado de durabilidad.

En la bentonita sureña algunos de los átomos de aluminio son

reemplazados por átomos de calcio lo cual también incrementa la capacidad de que la arcilla se ionice, proporciona a la mezcla de moldeo una resistencia en verde mayor que la del oeste, sin embargo su resistencia en seco y en caliente es menor, pero ésta última característica facilita la limpieza de las piezas fundidas. Otra diferencia entre ambas es que la bentonita sureña puede alcanzar mayores densidades con menor presión, por lo tanto, es mejor utilizarla en moldes que deben reproducir superficies muy sinuosas y con cavidades profundas. Es menos durable que la del oeste.

PROPIEDADES DE LA ARENA DE MOLDEO
RESISTENCIA A LA COMPRESION

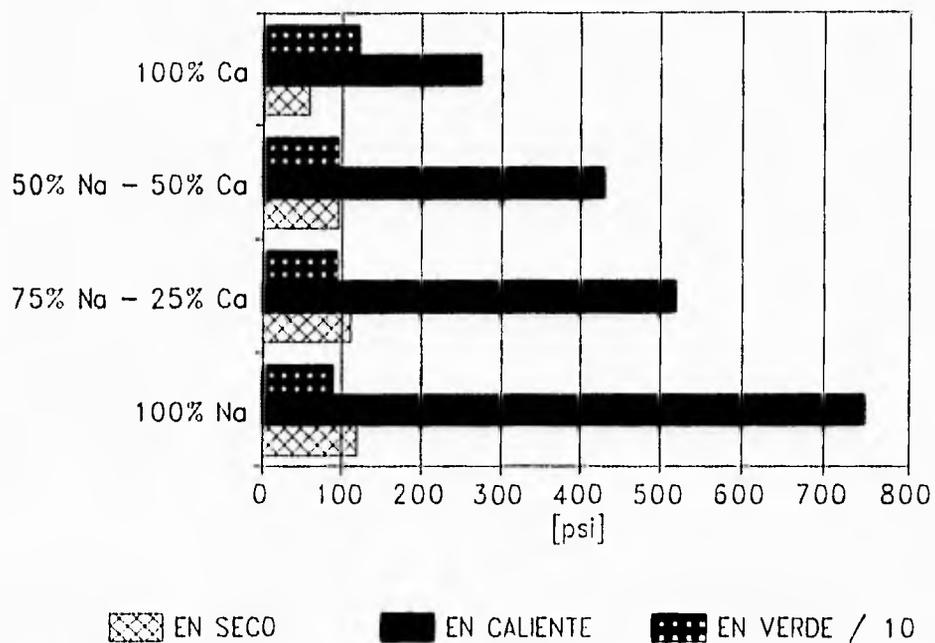


Figura 4.1: Efecto de la mezcla de bentonitas

Gracias a sus características es común utilizar mezclas de ambas para optimizar las propiedades del aglutinante. En la figura 4.1 se puede observar el efecto de la mezcla de bentonitas de sodio y de calcio en las propiedades del molde de arena. (a) Resistencia en seco, (b) resistencia en caliente, (c) resistencia en verde.

Polímeros

Los materiales plásticos, o resinas, son ampliamente utilizados en las fundiciones de metales como aglutinantes para la arena, principalmente para corazones de todos tamaños y grandes

volúmenes de producción así como para moldes de cáscara de alta precisión y todos los volúmenes de producción. Generalmente, estos materiales poliméricos caen dentro de 3 categorías.

- Aquellos compuestos de un polímero líquido que se cura y se transforma de líquido a sólido en presencia de un catalizador.
- Aquellos compuestos de dos reactivos que forman una estructura polimérica sólida en presencia de un catalizador.
- Aquellos que endurecen por acción de calor.

PLASTICOS CON TRANSICION DE LIQUIDO A SOLIDO

Estos son principalmente resinas de base furfíl-alcohol curadas a través de catalizadores ácidos. Los polímeros se mezclan con la arena cuando se encuentran en estado líquido y el catalizador es agregado instantes antes de poner la mezcla dentro de la caja de corazones o sobre el modelo. Alternativamente el catalizador puede ser aplicado en forma de gas cuando la mezcla de moldeo se encuentra ya en el modelo.

PLASTICOS COMPUESTOS DE DOS REACTIVOS

Incluyen las resinas fenólicas (fenol/aldeido), Aceite/uretanos, fenólicas/isocianatos poliméricos, y sistemas polioli/isocianato. Los catalizadores de curado incluyen ésteres, aminas y ácidos, los cuales son aplicados a la mezcla resina arena en forma de líquidos o granos.

PLASTICOS ENDURECIDOS POR CALOR

Son principalmente resinas termoplásticas como el novolak, furan (alcoholes furfílicos) y fenoles. Estos son aplicados a la arena en forma de polvos y la mezcla es calentada, lo cual ocasiona que los polvos se fundan y fluyan dentro de la arena aglutinándola e instantes después se curan y endurecen.

MEZCLA DE MOLDEO UTILIZADA EN EL PROCESO SHELL

Para el proceso Shell se utiliza una mezcla de moldeo cuyo principal componente es arena, la cual, para lograr cierta economía en el uso de la resina es recomendable que sea de base zircón o algún otro tipo de arena de grano redondo, por otro lado su uso se ve favorecido por las ventajas descritas anteriormente, sin embargo también se pueden utilizar arenas sílicas a pesar de que sus ventajas son más pobres respecto a la estabilidad térmica, dimensional y química, así que el empleo

de éste último tipo de arena hace necesario el uso de mayor cantidad de aditivos para tener un comportamiento adecuado durante la fundición y para obtener buenas características de precisión dimensional y acabado superficial. Sin embargo, el tipo de arena que se ha de utilizar en el proceso esta en función directa de las especificaciones técnicas y económicas requeridas por el diseñador.

El agente aglutinante utilizado en el proceso es una resina termoestable sólida de fenol formaldeído (Novolak) la cual no se cura sin la presencia de un agente que la polimerice. Los compuestos de novolak pueden ser curados, sin embargo, a través de productos insolubles con ligaduras cruzadas como la hexametilenetetramina o hexamina que actúa como endurecedor.

NATURALEZA QUÍMICA DE LA RESINA

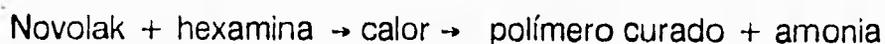
Las resinas fenólicas son básicamente polímeros de cadenas largas obtenidas de la combinación de monómeros (compuestos orgánicos simples) que en presencia de un catalizador se transforman en dímeros, trimeros y finalmente en polímeros de diferentes pesos moleculares. Los monómeros participantes en la reacción son el formaldeído y el fenol, su combinación produce la siguiente reacción:



Las características básicas de las resinas de fenol formaldeído (novolak) son: buena adhesión a la superficie del grano de arena y buena cohesión en frío y en caliente para mantener unidos a los granos de arena.

El método normal de curado, como se ha dicho anteriormente, es formando enlaces tridimensionales a través de la reacción química con hexametilenetetramina, también conocida como hexamina ($\text{CH}_2)_6\text{N}_4$; la cual es un sólido blanco cristalino que se descompone a temperaturas superiores a 200 grados centígrados, liberando amoníaco y formaldeído.

El formaldeído así liberado es precisamente el agente catalítico de la resina. El mecanismo de curado expresado de manera sencilla se muestra a continuación.



Las resinas de fenol formaldeído se pueden adquirir en forma

sólida (polvo, hojuelas o gránulos) o líquida.

Este tipo de resinas se producen en dos tipos básicos, Novolak o resina fenólica de dos pasos y Resol (un solo paso), la diferencia es: el novolak es deficiente en el contenido del formaldehído necesario para el desarrollo de sus propiedades termofraguantes, para curarlo es necesaria la presencia de un endurecedor (hexametenetetramina); el resol es una resina que contiene todos los ingredientes en proporción molecular adecuada para producir las propiedades de una resina termoestable, se pueden obtener en forma líquida, ya que es difícil producirlas en estado sólido, este tipo de resinas es autofraguante.

La ventaja principal del novolak sobre el resol es que el primero es estable químicamente por un tiempo indefinido y el resol es muy inestable aun en periodos cortos de almacenaje.

METODOS DE RECUBRIMIENTO DE ARENA PARA EL PROCESO DE MOLDEO A LA CASCARA

Antiguamente se mezclaba mecánicamente el novolak con la arena utilizando la resina en forma de polvo para una homogenización completa de la mezcla, sin embargo, en la actualidad a nivel industrial, esta práctica ha dejado de utilizarse debido a que el éxito del proceso dependía de la habilidad de una o varias personas para producir la mezcla con la misma cantidad de los componentes.

Se utilizan básicamente dos métodos para producir arena recubierta para este proceso:

Recubrimiento en caliente

Se utiliza resina en forma de escamas o lentejas y arena, el proceso de revestimiento es el siguiente:

- 1) Se calienta la arena a temperatura suficiente para que al contacto con la resina, esta se licue y recubra los granos de arena. La temperatura de calentamiento de la arena depende de la eficiencia del equipo de recubrimiento, del punto de reblandecimiento de la resina y del tamaño de los granulos de la resina; es recomendable el empleo de granulos de 1/4" o mas pequeños para poder efectuar el recubrimiento a una temperatura entre los 130 y 140 grados centígrados; mientras más baja sea la temperatura de revestimiento, menor será la temperatura de curado de la arena preparada, obteniendo mayor resistencia.

2) Una vez recubierto el grano de arena con la resina, se agrega la hexamina y el ácido ceroso (estereato de calcio) en forma de emulsión en un medio acuoso, el agua al contacto con la arena caliente se evapora y cumple la función de enfriador.

3) Finalmente la arena revestida, se desterrona y enfría quedando lista para su utilización, se debe cuidar no maltratarla mecánicamente para no desprender la resina de la superficie de los granos de arena.

Recubrimiento en frío (o a bajas temperaturas)

Se requiere resina en solución de secado a temperatura atmosférica, produciendo arena seca libre de flujo, debido a la evaporación del solvente, el procedimiento se describe a continuación:

1) Se adiciona a la arena a una temperatura entre 30 y 50 grados centígrados el catalizador en forma sólida cristalina junto con el estereato, con el fin de mezclarlos homogéneamente.

La temperatura se debe encontrar en el rango antes mencionado para permitir la rápida evaporación del solvente de la resina (alcohol etílico/metílico) y opcionalmente aplicar una corriente de aire a fin de acelerar el proceso.

2) Una vez mezclada la arena con el catalizador y los aditivos se agrega la solución líquida de la resina y el solvente.

3) Se deja secar la mezcla de moldeado y se desterrona la arena en caso de ser necesario.

El método comúnmente utilizado es el de recubrimiento en caliente, debido a que produce velocidades de curado durante el proceso de moldeado más rápidas, lo cual se debe al hecho de que el solvente presente permite que la hexametenetetramina agregada se disuelva en la resina. En el recubrimiento en frío, la hexamina tiende a recubrir la partícula de arena y no está realmente mezclada con la resina; la hexamina queda en forma más disponible para la resina cuando esta en solución y la reacción comienza inmediatamente al elevar la temperatura de la mezcla de moldeo, al contrario si la hexamina no se agrega en forma de solución, existe un pequeño periodo de tiempo que la hexamina necesita antes de que empiece la reacción.

ADITIVOS EN EL PROCESO

Generalmente se utiliza un lubricante durante la producción de la mezcla de moldeo para mejorar la fluidez y las propiedades de la resina, ya que una vez curado el novolak es un material quebradizo, tal lubricante es estereato de calcio (ácido ceroso)

otro aditivo comunmente utilizado es el vinsol que sirve para redicir la tendencia a la formación de fisuras y ayuda a eliminar, por lo tanto, los escurrimientos del metal fundido durante el vaciado.

PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE MOLDEADO

El estereato de calcio se aplica en una proporción del 4 al 6% del peso de la resina; el porcentaje seleccionado esta en función de que tan intrincada es la superficie del modelo, es decir, entre más sinuoso sea el modelo, mayor cantidad de estereato de calcio necesitará la mezcla de moldeo y cuando la superficie del modelo no presenta demasiada complejidad el 4% será una cantidad adecuada.

La hexamina se agrega en cantidades entre un 10% y un 17% del peso de la resina. El porcentaje total de la mezcla de resina y aditivos se recomienda que sea del 2 al 7% del peso total de la arena para que sea suficiente para tener un molde resistente, sin que el exceso de resina merme las propiedades de permeabilidad y colapsabilidad de la cáscara.

En la figura 4.2 se ilustran las propiedades mas importantes de las cáscaras producidas por el proceso Shell.

PROPIEDADES DE LAS CASCARAS PRODUCIDAS POR EL METODO SHELL

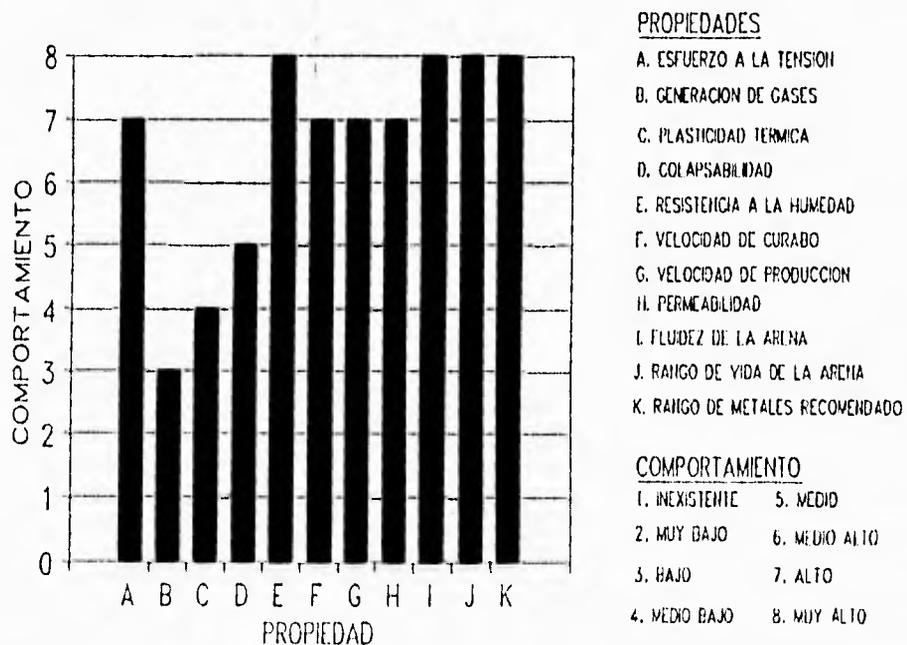


Figura 4.2: Características del las cáscaras Shell

Capítulo 5

INGENIERIA INVERSA

La Ingeniería Inversa surge a partir de la necesidad de realizar piezas sin importar su grado de complejidad en el menor tiempo posible y con una excelente exactitud para poder tener así un costo global menor, el principio fundamental de la Ingeniería Inversa hacer un ciclo en donde a partir de una de una pieza elaborada, se realiza un dibujo, del dibujo continúa la operación de maquinado y se obtiene una pieza terminada a partir de la cual el proceso se repite.

PROCESO DE LA INGENIERÍA INVERSA

El proceso de Ingeniería Inversa o Ingeniería de Reversa se basa en un seguimiento contrapuesto del proceso de diseño y manufactura convencional (figura 5.1). Esto es, una vez definiendo un modelo se digitaliza por medio de una máquina de medición precisa para obtener un dibujo ingenieril y entonces poder así producir en grandes cantidades el modelo del cual se partió (figura 5.2).

La Ingeniería Inversa consta de varias etapas (figura 5.3) las cuales se enumeraran a continuación junto con una breve explicación de cada una de ellas, estas son:

MEDICIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LA PIEZA ORIGINAL

Primeramente se tiene que digitalizar la pieza, es decir con una máquina de medición precisa como lo es una máquina de coordenadas se miden y determinan las coordenadas de cada parte de nuestro modelo (esto es la digitalización). Gracias a la

eficiencia y precisión de las máquinas de coordenadas se puede digitalizar cualquier figura por compleja que esta sea.

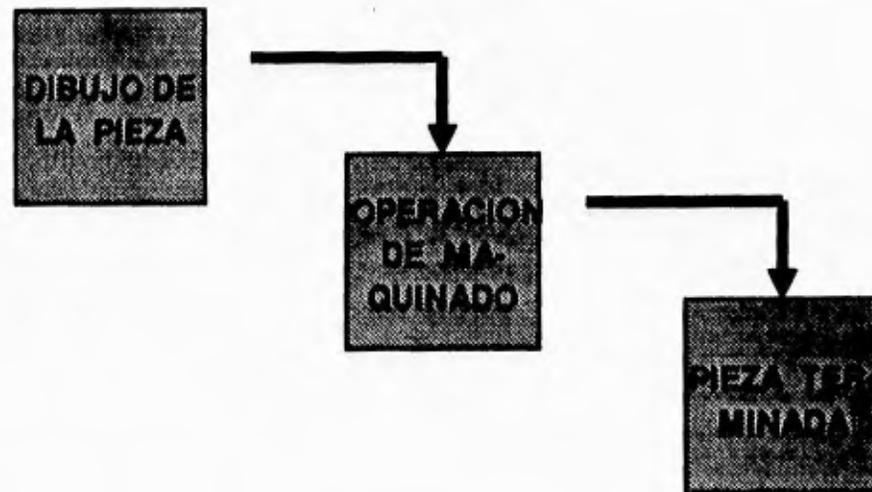


Figura 5.1: Orden convencional de manufactura

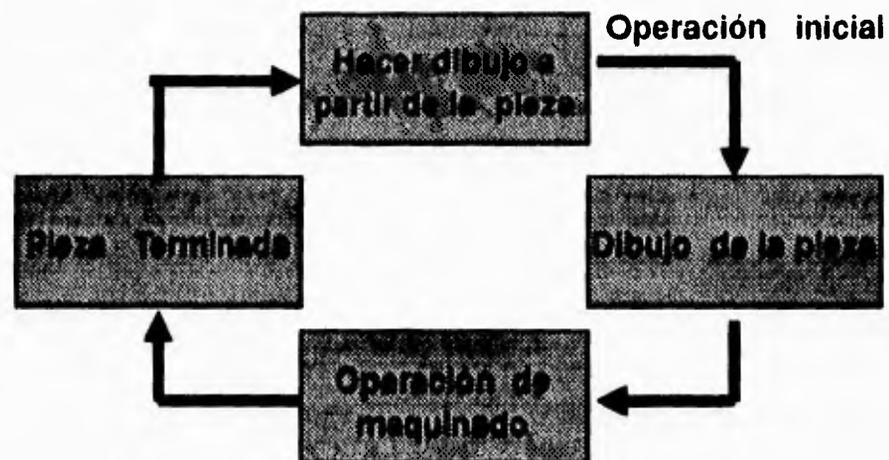


Figura 5.2: Concepto de Ingeniería Inversa

TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN A UN PAQUETE CAD

La transmisión de datos del modelo se efectúa simultáneamente al digitalizar este, debido a que hay una comunicación continua entre la máquina de coordenadas y el paquete de diseño (CAD). Esta comunicación se da mediante un código IGES (Inicial Graphics Exchange Specification), una vez que la información ha sido recibida dentro del paquete de diseño,

éste con la ayuda de un traductor, por ejemplo, el del paquete de diseño Cadkey, el CADL (Cadkey's Advanced Design Language) acopla la información de manera que sea entendible y manejable para dicho paquete.

OBTENCIÓN DEL DIBUJO MEDIANTE LA EDICIÓN DE LA INFORMACIÓN RECIBIDA

Una vez obtenido dentro del paquete de diseño la información que se requiere para tener el dibujo detallado de la pieza, el siguiente paso es la depurificación de dicha información, esto es en el momento de la digitalización así como en la transmisión de datos y en la traducción, algunas veces se generan errores como por ejemplo, líneas inconclusa, líneas que no intersecan o puntos que no coinciden, con esta depuración obtendremos el dibujo ingenieril necesario para la producción de nuestros modelos.

TRANSMISIÓN DEL DIBUJO A UN PAQUETE DE MODELADO

En esta parte del proceso el dibujo ingenieril depurado en el paquete CAD se transmite a un paquete de manufactura CAM (Manufactura asistida por computadora) con la ayuda de un traductor, esta acción es similar al punto 2.

MODELADO DE LA PIEZA

Esta es la parte mas importante del proceso, aquí se tiene ya el dibujo producto de los cuatro pasos anteriores, este dibujo del molde esta perfectamente detallado, y se procederá a generar las trayectorias de corte requeridas para tener un excelente maquinado, estas trayectorias pueden ser de tres diferentes tipos variando la operación de maquinado que se necesite efectuar, estas son:

- Trayectorias de desbaste. Estas trayectorias son para aproximar la pieza en bruto a la pieza a la que queremos llegar, es decir la operación de desbaste es la eliminación del material innecesario para nuestra geometría final en el menor tiempo posible, en esta etapa se emplean parámetros de cortes altos como lo son la profundidad y la velocidad de corte, por lo general la pieza al ser desbastado, su acabado superficial es bastante malo, pero sera corregido mas adelante.
- Trayectorias de perfilado. El objetivo de estas trayectorias es acercar a la pieza a su forma final dejando tan solo un poco de material para la última operación, la cantidad que se desprende en esta etapa es mucho menor que en la etapa de desbaste.

- Trayectoria de afinado. Este tipo de trayectoria es similar al anterior con la diferencia de que la penetración es menor, así como la velocidad de corte, al termino de esta trayectoria el acabado superficial es bastante bueno.

TRANSMISIÓN DE LOS PROGRAMAS A UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO

En esta parte del proceso la información que se encuentra residente en disco es transmitida a una máquina de control numérico, con la ayuda de una interfase. Cabe mencionar que los paquetes de generación de trayectorias pueden mandar la información a las máquinas de control numérico sin la el auxilio de ningún otro tipo de software.

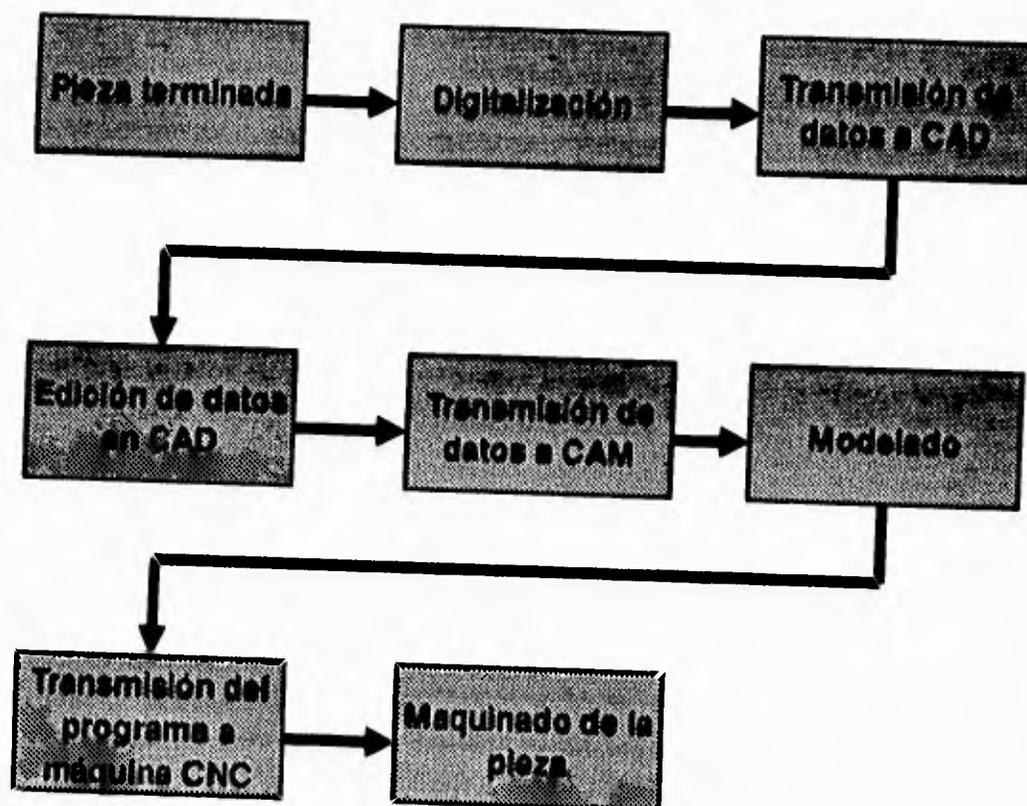


Fig. 5.1: Etapas del proceso de Ingeniería Inversa

MAQUINADO DE LA PIEZA

Una vez que la información ha sido recibida por la máquina de control numérico es necesario colocar la pieza en bruto en las mordazas de la misma, colocar las herramientas a usar, así como compensarlas, y una vez revisados los niveles de los

ProcesoShell

fluidos y de constatar que las medidas de seguridad son las pertinentes, se da inicio al maquinado, el cual se realizara con un tiempo y acabado extraordinario. Con estos siete pasos se termina el proceso de ingeniería inversa y se podrán producir el número de piezas que se requiera, teniendo la seguridad que serán exactamente iguales a la pieza digitalizada.

Capítulo 6

CAD CAM

CAD CAM es quizás el desarrollo más importante de las nuevas tecnologías, para Ingenieros, diseñadores y técnicos de todas las especialidades. Los elementos que componen el término CAD CAM son muy significativos para cada rama de la Ingeniería moderna, desde la industria mecánica pesada a la microelectrónica, mientras que CAD se aplica cada vez más a todos los campos de la Ingeniería, siendo CAD CAM una herramienta muy importante para el desarrollo del proceso de la Ingeniería Inversa.

DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

El CAD (diseño asistido por computadora - del inglés Computer Aided Design-) es el proceso de diseño que emplea sofisticadas técnicas gráficas de computadora, apoyadas en paquetes de software para ayuda en los problemas analíticos, de desarrollo de costo y ergonómicos asociados con el trabajo de diseño.

En términos generales el CAD conlleva a diferentes ventajas como lo son:

- Al utilizar un sistema CAD para la elaboración de dibujos, estos se pueden realizar en promedio tres veces más rápido que haciéndolos a mano, acelerando la velocidad total del proceso y por tanto bajando su costo de producción.
- La precisión de un dibujo con el uso de un paquete CAD es mucho mayor que con el hecho a mano, ya que estos tipos de paquetes tienen técnicas de acercamiento por medio de las

cuales las partes del dibujo se pueden mostrar mucho mas detalladas. Por tanto los dibujos generales como sus detalles son mejores y mas precisos elaborándolos en un paquete CAD.

- Los dibujos realizados en un paquete CAD son producidos con líneas y textos de excelente calidad independientemente del operario del paquete, además permite eliminar rápidamente cualquier número de líneas sin dejar ninguna seña en el dibujo final.
- Una gran ventaja del CAD es que al ser guardado el dibujo en memoria se puede cargar nuevamente para hacer las correcciones necesarias, o bien si se tiene la necesidad de realizar algún otro dibujo similar se toma como base el primero y se le hacen las modificaciones pertinentes, teniendo al final el número de dibujos requeridos, ahorrando tiempo y dinero, cosa que con un dibujo elaborado a mano ninguna de estas operaciones podrían realizarse.
- Las técnicas de análisis y de simulación CAD pueden ahorrar drásticamente el dinero y tiempo invertidos en el desarrollo y en las pruebas de prototipos, ya que esto constituye la etapa mas cara del proceso de diseño.

Enfoque global del funcionamiento CAD.

Los sistemas CAD se basan en el modelado geométrico a través de gráficas computacionales interactivas (ICG). Esto es crean, transforman y despliegan la información en forma de dibujos.

Existen tres tipos de geometría que un paquete CAD puede realizar estas son:

- Representación bidimensional, la cual es utilizada para figuras en un plano.
- Representación de 2 1/2 dimensiones, utilizadas para realizar figuras que no cuenten con detalles en los costados de las piezas.
- Representación en tres dimensiones en donde se pueden realizar geometrías complejas.

Software de aplicación

El software de aplicación se suministra, habitualmente, como paquetes en discos y está escrito en lenguajes de alto nivel por compañías especializadas. Estos paquetes pueden estar

diseñados para un determinado ordenador, aunque lo ideal es que sean compatibles con un amplia gama de software diferente. Los paquetes de software de aplicación están orientadas a tareas asistidas por ordenador específicas. La mayor parte del software de aplicación CAD está escrita en lenguajes compiladores tales como Fortran, Pascal, aunque existen algunos paquetes para microordenadores muy simples escritos en Basic.

Las aplicaciones CAD típicas incluyen:

- **Paquetes de dibujo en 2D** disponibles con diversos grados de sofisticación y que corren en microordenadores y en miniordenadores de 16 bits y en ordenadores centrales. Los paquetes de dibujo contienen una determinada gama de servicios de dibujo.
- **Paquetes de modelización en 3d**, que funcionan en máxima eficiencia en miniordenadores de 32 bits, sin embargo, algunos paquetes de este tipo están disponibles para microordenadores de 16 bits.
- **Paquetes de análisis de elementos finitos (FEA)**, normalmente escritos en Fortran. Como ocurre con el modelado 3D, estos paquetes están diseñados para ejecutarse normalmente en miniordenadores y ordenadores centrales, pero en muchos casos, FEA pueden ser utilizados en microordenadores. Todos los paquetes de este tipo incorporan su propio sistema de modelado en 3D.
- **Paquetes de análisis ergonómico**, entre los que se encuentra el famoso Sammie, escrito en Fortran IV y comercializado por Prime.
- **Paquetes de comunicación CAD-CAM**, los cuales permiten desarrollar CAD dentro del mismo paquete y/o que permiten la comunicación directa entre ambos sistemas, estos paquetes ayudan a través de bases de datos a generar los programas pieza de NC por medio del simple dibujo de la pieza diseñada, realizando la primera función automáticamente.
- **Diversos programas básicos**. Además de los paquetes CAD avanzados, existen miles de paquetes comerciales simples, normalmente escritos en Basic y disponibles para microordenadores de 8 y 16 bits. Las aplicaciones más típicas son: análisis de tensiones simples, centroides, segundos movimientos de área, cálculos de carga en apoyos y desarrollos en superficies sencillas.

GENERACION DEL SOFTWARE DE APLICACION.

Los programas de aplicación CAD CAM están realizados fundamentalmente a partir de algoritmos. Un algoritmo es un conjunto de reglas o procedimientos que resuelven problemas matemáticos. Los procedimientos utilizados tienen, normalmente, naturaleza repetitiva.

Los algoritmos varían ampliamente en complejidad. La mayoría de las primitivas definen puntos y líneas. Estas se pueden desarrollar en procedimientos más avanzados para producir curvas, superficies y áreas rellenas. Se requieren otros algoritmos para procedimientos de transformación y para definición de estilos de líneas y colores. Algunos de los algoritmos más sofisticados incluyen efectos ópticos en modelado de 3D. Estos realizan modelos matemáticos de rayos de luz que se pueden utilizar para borrados de líneas ocultas y efectos de sombra. Las subrutinas avanzadas, denominadas macros, realizan múltiples procedimientos bajo la acción de un comando. Las macros son especialmente importantes para desarrollar librerías de dibujo estándar de CAD.

La eficiencia del algoritmo reside en la simplicidad del formato comparado con la complejidad del problema que se puede resolver. Un algoritmo complejo para realizar operaciones satisfactorias necesita bastantes recursos de proceso y por consiguiente una potencia de cálculo muy grande. Los avances en la tecnología CAD CAM dependen por consiguiente, de la habilidad de los programadores en diseño de algoritmos ingeniosos y desarrollos en la tecnología de los microprocesadores de los avances del hardware.

Bases de datos CAD

Una base de datos es una colección de ficheros que contienen datos. Los datos gráficos almacenados en los ficheros de las bases de datos CAD se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- a) *Datos geométricos*, es decir, puntos, líneas, círculos, planos, sólidos.
- b) *Datos tipo-línea*, es decir sólidos, líneas, etc.
- c) *Datos tipo-texto*
- d) *Datos que definen modelos de rayados y áreas de relleno*
- e) *Datos en capas*, es decir estratificados.
- f) *Asociatividad de datos*. Gobierna las relaciones entre los elementos geométricos y la geometría colindante. La

asociatividad geométrica se requiere para describir formas, componentes y símbolos estándar.

g) *Conectividad de los datos*. Define la forma en que los componentes se agrupan en un conjunto.

h) *Datos de atributos*. Son los relativos a dibujos que no pueden aparecer en pantalla gráfica. Los atributos de los dibujos típicos incluyen especificaciones sobre el material de los elementos fabricados, tamaños, escalas y suministradores de artículos comprados a terceros en dibujos de ensamblaje. Los dibujos juegan un papel importante como campos de datos de los ficheros de los sistemas de gestión de bases de datos (DBMS).

ESTANDARES GRAFICOS.

El software se puede obtener como parte de un sistema CAD completo de un suministrador. Esto se denomina sistema de llave en mano, que puede resultar muy satisfactorio para muchas empresas.

Alternativamente, los usuarios eligen paquetes de software de aplicación especializados de diferentes suministradores y obtienen así la combinación adecuada de programas que cubren sus propias necesidades. Esto, naturalmente, es solamente posible si todos los paquetes pueden ejecutarse sobre el mismo ordenador central y su hardware asociado.

En cualquiera de los casos anteriores, se necesita que el software y el hardware sean capaces de comunicarse entre sí por medio de códigos estándar de datos gráficos. Los principales objetivos de la estandarización gráfica son, pues:

a) Proporcionar versatilidad en la combinación de los elementos software y hardware en sistemas llave en mano.

b) Permitir la creación de paquetes de software de aplicaciones portables que se puedan ejecutar con facilidad en una amplia gama de configuraciones de hardware.

c) Permitir la transferencia de datos gráficos entre dos o más empresas que puedan tener sistemas CAD diferentes.

LOS GRAFICOS DEL CAD

En cuanto a la parte gráfica del CAD, son una serie de programas que hacen posible la operación del sistema gráfico de la computadora, manipulando y generando imágenes, así como, creando

una interacción entre el usuario y el sistema.

Por tanto, siendo de una de las partes más importantes del

paquete debido a que gracias a esta interacción y a la calidad de gráficas que despliega el operador puede observar, corregir o manipular cualquier detalle que el desee.

Las actividades principales que realiza un sistema de generación de gráficos son:

- Construcción del modelo de aplicación, el cual es un modelo de tipo físico.
- El almacenamiento del dibujo a la memoria de la computadora para poder así llamarlo (cargar el dibujo modificarlo o hacer cualquier tipo de corrección posterior que se deseara.
- Desplegar imágenes en la pantalla del monitor.

FUNCIONES DE UN PAQUETE CAD

Las funciones que realizan los paquetes CAD pueden dividirse en :

Generación de elementos gráficos.

Al referirse a elementos gráficos se refiere a la celebración de una línea, círculo, arco, polilíneas, figuras tridimensionales como: cubos, esferas, así como, caracteres alfanuméricos y símbolos.

Transformaciones.

Las transformaciones se usan para cambiar la imagen que se despliega en pantalla y convertirla a base de datos. Estas transformaciones incluyen reducciones y ampliaciones de la imagen, trasladar y rotar la imagen basándose en un punto determinado.

Desplegado de imagen pantalla.

En esta función se puede observar la figura desde diferentes vistas, ocultando algunas líneas para mejorar la imagen.

Funciones de segmentación.

Con esta función el operador puede girar, modificar y/o reemplazar ciertas geometrías, dando un mejor acabado al dibujo.

Funciones de entrada para el usuario.

Esta función debe ser una característica de cualquier paquete, ya que gracias a esta es posible introducir comandos y/o datos al sistema, teniendo que obtener solo los comandos necesarios (para evitar que sea difícil recordarlos) y que cubren todas las situaciones determinadas de entrada de datos.

CONSTRUCCION Y EDICION DE UNA GEOMETRIA

Para la elaboración de una geometría el paquete de CAD debe tener cierta flexibilidad, primeramente se debe definir el elemento

que se desee, ya sea una línea, un arco, etc., se le da el tamaño y colocación deseada, posteriormente estas geometrías deben tener la facilidad de ser cortados para tener una alta precisión y por último, se debe poder agrupar dichas geometrías para formar un bloque. Un bloque es una combinación de elementos que puede ser utilizado varias veces en un mismo dibujo con ayuda de pocos comandos. Esta geometría debe tener la facilidad de ser borrada, copiada, de poderse mover, trasladar, escalar, etc., el procedimiento para lograr esto es primeramente seleccionar la entidad o bloque al que se le quiera aplicar la corrección, una vez seleccionado se procede a dar la instrucción que se requiere para efectuar cualquiera de las operaciones mencionadas, posteriormente se le indica el punto base en el cual realizará la operación (esto para la orden de copiar, mover, trasladar, escalar) y por último se le indica el punto destino realizando el paquete la operación deseada.

TECNICAS DE DIBUJO EN DOS DIMENSIONES

Los sistemas de 2D son muy primitivos en relación con los 3D, pero aquellos son suficientes en una gran variedad de aplicaciones y su bajo costo los hace muy atractivos. La mayoría de los dibujos de ingeniería ortográficos y circuitos eléctricos se crean en sistemas 2D.

Tanto la representación bidimensional como la de 2 1/2 dimensiones son muy útiles para figuras planas o para aquellas figuras en tres dimensiones que no representen mucha complejidad, ya que si esto sucediera se necesitaría que la persona que estuviera interpretando el dibujo contará con una gran imaginación. Es por ello que actualmente los paquetes CAD son capaces de efectuar dibujos tridimensionales, generando vistas ortogonales, acercamientos, perspectivas de un objeto para poder así tener un mejor perspectiva del modelo que se este estudiando.

Elementos de dibujo

Los dibujos de cierta complejidad se construyen a partir de elementos geométricos básicos, tales como puntos, líneas, curvas circulares y curvas no circulares, que pueden mostrarse en la pantalla de muy diversas maneras.

METODOS DE CONSTRUCCION

En la mayoría de los sistemas, las distancias se suponen

medidas desde el origen de dos ejes similares a los ejes X e Y de un gráfico. Los ejes se pueden fijar durante la creación de elementos (denominado *modo absoluto*), o también puede utilizarse la opción de desplazamiento automático, de forma tal que las distancias se pueden medir desde el final de cada sucesivo elemento (*modo incremental*).

El método de construcción adoptado por cada dibujo en particular depende fundamentalmente de la precisión requerida. La forma de presentar los elementos geométricos sobre la pantalla puede ser:

1) **BOSQUEJOS**, que son un método eficaz de creación de entidades cuando no se requiere gran precisión. Las entidades son generadas directamente sobre la pantalla mediante el posicionamiento manual del control del cursor.

2) **ENTRADA NUMERICA**, cuando se requiera un alto grado de precisión. Aquí se introduce el valor de cada coordenada cartesiana o polar a través del teclado numérico de los puntos que definen la entidad que se desea crear.

3) **INSTANTANEAS**, Que pueden proporcionar velocidad y precisión en determinadas etapas de la construcción del dibujo. En este caso la entidad se creara entre los puntos finales o medios de otra entidad o perpendicular o paralela a la misma.

Los paquetes de CAD proporcionan también facilidades automáticas tales como:

- Fileteados (uniones curvadas).
- Achaflanados.
- Rayado cruzado (asiurado con líneas diagonales)
- Llenado de áreas (asiurado con cualquier forma geométrica).
- Dimensionamiento.
- Edición.
- Recortes. (TRIM)
- Líneas elásticas. (STRECH)
- Enrejillado de la pantalla.
- Cuneiformado.
- Ampliación y panoramización. (ZOOM y PAN).
- Rotación y traslación.
- Transformaciones (ARRAYS).
- Ventanado.
- Encapamiento (LAYERS o LEVELS).

- Escalamiento

TECNICAS DE MODELADO EN TRES DIMENSIONES

Un modelo es una representación matemática de una forma geométrica que se encuentra almacenada en la memoria de un ordenador de un sistema CAD CAM. Los modelos en 2D se reconocen por el sistema como esquemas planos contorneados por un determinado número de puntos que pueden definirse mediante coordenadas cartesianas X e Y.

Se puede mantener en la memoria de un ordenador un modelo de 3D mediante la especificación de puntos de una tercera coordenada Z. Un modelo en 3D se va a visualizar en una pantalla plana. Sin embargo, para la memoria del ordenador es una figura en 3D real que se considera como un elemento pequeño dentro de los límites del espacio matemático en 3D.

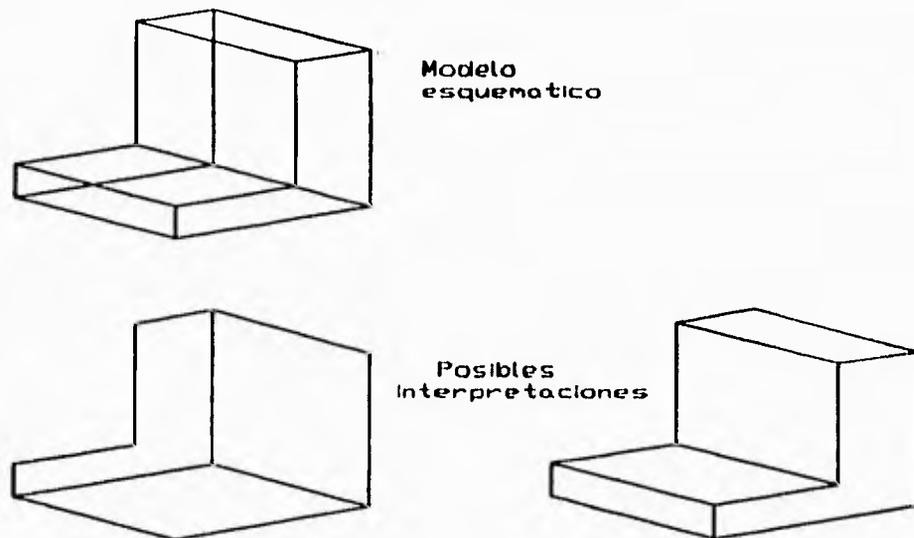


Fig. 6.1: Efecto de borrado de líneas ocultas

El concepto de coordenadas en 3D significa que cualquier adición o modificación especificada sobre una vista del modelo debe ser automáticamente comunicada a las restantes.

Existen tres maneras de crear modelos en tres dimensiones, estos son:

- Modelos alambrados. Como su nombre lo indica el modelo parece haber sido elaborado de alambres, esto se logra haciendo que los bordos del modelo sean representados con líneas y en aquellas zonas donde existen superficies curvadas

se sobreponen líneas. Los defectos de este tipo de modelos son que las líneas ocultas no se remueven de una manera automática, causando ambigüedad (figura 6.1), la incapacidad de reconocer perfiles curvados, interferencia entre componentes, dificultad en el cálculo de propiedades físicas y sombreados automáticos, principalmente.

- **Modelos sólidos.** Al utilizar este tipo de modelos, el objeto se muestra como un sólido, teniendo de esta manera una mayor interpretación de la figura, variante importante en este modelo es que pueden utilizar colores que ayudan aún más a la interpretación. Sin embargo, una gran desventaja es que para poder utilizar este tipo de modelos es necesario un sistema de cómputo más avanzado y por ende, más costoso.
- **Modelos de superficie.** Este tipo de modelo es el más utilizado para la aplicación de programas de control numérico, así como, para la generación de mallas, ya que proporciona una definición completa de la superficie de la pieza. Este tipo de modelado no es recomendado para figuras simples debido a que incrementa el tiempo de respuesta volviendo a la computadora sensiblemente lenta.

MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)

La manufactura asistida por computadora (CAM del inglés computer aided Manufacture) se refiere a cualquier proceso de fabricación automática que este controlada por computadora.

Sus principales ventajas están relacionadas con el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- a) Niveles de producción más altos con menor esfuerzo laboral.
- b) Menor posibilidad de error humano y de las consecuencias de su falta de fiabilidad.
- c) Mayor versatilidad de los objetos fabricados.
- d) Ahorro de costes por incremento de la eficiencia de fabricación (es decir, menor material estropeado) e incremento de eficiencia en el almacenamiento y ensamblaje.
- e) Repetitividad de los procesos de fabricación a través del almacenamiento de los datos.
- f) Productos de mayor calidad.

Los elementos más importantes del CAM son:

- a) Técnicas de programación y fabricación CNC.
- b) Fabricación y ensamblaje mediante robots controlados por computadora.

- c) Sistemas de fabricación flexibles (FMS).
- d) Técnicas de inspección asistidas por computadora (CAI).
- e) Técnicas de ensayo asistidas por computadora (CAT).

EL DISEÑO EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

La parte primordial dentro de cualquier proceso de manufactura es el diseño, el cual debe ser fácil de maquinar y de ensamblar, reduciendo así los costos y aumentando su funcionalidad.

Los puntos primordiales dentro del diseño son:

Primeramente lo que se tiene que hacer es obtener toda la información que pueda ser útil para el diseño, como por ejemplo, los materiales componentes, proceso. Una vez hecho este estudio se procede a establecer las representaciones gráficas y analíticas del producto, para así poder realizar la selección del material la cual será basándose en la propiedad y requerimientos funcionales, así como, el proceso de manufactura que el material llevara. Debe revisarse y corregirse el diseño basándose en sus características funcionales y económicas.

Posteriormente se debe eficientar la manufactura de la pieza, es decir, la forma en que se van a acoplar las piezas del producto reduciendo tiempos y tomando en cuenta las dimensiones y tolerancias.

La clave de un buen diseño es desarrollar un producto que sea de manufactura sencilla y por ello el ingeniero de diseño debe tomar énfasis en los aspectos mencionados.

PLANEACION DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

La base de un sistema de manufactura radica en la planeación y en el control de los sistemas. Para que se de una buena planeación es necesario que se cumplan los siguientes puntos:

1.- Planeación de requerimiento de material. Aquí se elige el material adecuado para los requerimientos del producto.

2.- Capacidad de planeación. Se estudia toda la información relacionada con la producción como es personal, herramientas, máquinas, recursos materiales.

3.- Facilidad de producción. Es el almacenamiento del material, así como, su manejo y colocación en la línea de producción.

4.- Control de inventarios. Este punto se refiere al control de inventarios y la reordenación de las diferentes etapas del proceso, controlando el tiempo de permanencia de los materiales dentro de la fabrica ya que los costos por inventarios pueden ser

muy altos si no se cuida este aspecto.

5.- Manejo de herramental. Aquí se estudia las trayectorias de las herramientas, tiempos de corte, tiempos muertos, etc.

CONTROL DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

El control de los sistemas de manufactura abarca un gran campo, ya que debe coordinar todas las actividades que se realizan dentro del sistema para que la producción sea costeable.

Se debe estar supervisando el material existente en el sistema así como su colocación en el mismo, la capacidad de planeación y la distribución del equipo en la planta, ya que una vez optimizados estos puntos el control se vuelve mucho mas sencillo y obviamente mas eficaz.

El control de un sistema de maquinado programable es sensiblemente mas complicado debido a que la comunicación existente entre las máquinas resulta compleja debido a que cada una de ellas utiliza un protocolo e interfase diferente, estando esto en función del fabricante.

Por último el diseño debe cuidarse en todas sus etapas, ya que aunque este sea excelente y con un material que tenga un costo bajo si la manufactura resulta complicada su precio se incrementara hasta resultar incosteable.

AUTOMATIZACION DE LA MANUFACTURA

Las técnicas de automatización fueron desarrolladas en el siglo XX, creando líneas de ensamble para aumentar la velocidad de producción. Estas técnicas han ido evolucionando hasta tener hoy en día sistemas de automatización de procesos, los cuales se dividen según el tipo de equipo que utilizan y sus sistemas de manejo de material en fijos y flexibles.

En si un sistema de manufactura avanzada es una colección de máquinas automáticas o semiautomáticas que trabajan juntas para crear un producto determinado.

La base de un sistema de manufactura avanzada es la forma en que los materiales son manejados a través de las diferentes estaciones o etapas del proceso. Existen muchos mecanismos por medio de los cuales estos materiales son llevados de una máquina a otra, colocados y acondicionados para que la máquina realice la operación en turno, según la forma en que se realice la operación esta transferencia se puede clasificar en:

Transferencia continua.

En este tipo de transferencia las piezas son movidas en el sistema a una velocidad constante.

Transferencia intermitente

En este sistemas las piezas al igual que en la clasificación anterior se mueven a una velocidad constante, sin embargo el proceso se detiene en algunas estaciones para una operación mayor como por ejemplo el maquinado de alguna pieza.

Transferencia no síncrona

En esta clasificación las piezas son manejadas de manera independiente es decir no existe la sincronización explicada en las dos transferencias anteriores.

MEJORAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

El mejoramiento de los sistemas de manufactura se ha vuelto una necesidad de la empresa, la cual va creciendo día a día es por ello que las características del CAD como las del CAM se han acoplado para lograr cubrir esta exigencia para ello el hardware es mejor y ha aumentado en rapidez, y el software se ha vuelto mas eficiente y ha permitido una comunicación mejor y mas directa entre las distintas máquinas involucradas en el proceso. Para que haya un mejor aprovechamiento en los sistemas CAD/CAM se deben de reunir las siguientes características:

-El sistema debe ayudar en todos los procesos, desde el diseño hasta el control numérico

-El sistema debe ayudar al diseñador a efectuar un buen trabajo, realizando aquellas tareas en que las máquinas son mas eficientes que el ser humano.

-En el diseño conceptual, el sistema debe ser capaz de presentar el objeto diseñado de una manera clara y sencilla.

Logrando estas condiciones la productividad se incrementará hasta en un 300%, teniendo numerosos beneficios como por ejemplo una mejora en la productividad como en la calidad del producto y disminuyendo la repetición del trabajo, la chatarra, el volumen de operación, el tiempo de reparación y el de preparación representando todo esto un gran ahorro de producción y trayendo como consecuencia una reducción del costo del producto elaborado.

Control Numérico NC

NC es una técnica que controla las acciones de las máquinas por medio de instrucciones en forma de un código alfanumérico. Las instrucciones codificadas se suministran a la máquina como bloques de información. Cada bloque se interpreta por la máquina NC como una instrucción para realizar una simple operación. Por ejemplo, un bloque de instrucción típica podría

comandar a una máquina NC para mover un eje relativo a la pieza de trabajo en una dirección y distancia establecidas y a una velocidad también establecida.

Un programa NC es un conjunto de bloques de instrucciones que comandan a la máquina NC para realizar una tarea específica. La más común de tales tareas es el maquinado completo de un componente de ingeniería, o pieza. Este tipo de programa NC se denomina por consiguiente *programa de pieza*, y es uno de los componentes principales de un proceso CAD CAM.

SISTEMA DE CODIFICACION

Los sistemas de codificación que existen para los programas NC son variados, sin embargo actualmente el más utilizado es el código ASCII (código estándar americano para intercambio de información), el cual utiliza números binarios de siete bits para representar todos los caracteres alfanuméricos en el lenguaje del programa de pieza.

La organización de estándares internacional (ISO) recomienda un subconjunto del código ASCII para NC y aplicaciones CNC.

Los números binarios de siete bits al ser transmitidos van acompañados de un octavo bit (al final de la cadena de siete bits) que se utiliza como un chequeo de paridad para detectar posibles errores durante la transmisión de datos, y no forma parte de la instrucción codificada.

Control Numérico por Computadora CNC

CNC utiliza los principios esenciales del NC tradicional, pero emplea un *programa almacenado* para realizar las funciones NC básicas. El ordenador está ubicado dentro de la unidad de control de la máquina y permite que se creen programas de piezas a través de su software y almacenarlos en su memoria.

El método básico de creación de programas de pieza de CNC se denomina entrada Manual de Datos (MDI) que involucra la entrada de instrucciones por el teclado que, como el ordenador, está conectado a la máquina.

El propio programa de piezas CNC no cambia el formato del NC. Se teclan los mismos bloques de instrucciones alfanuméricas en el teclado CNC que los mismos que se introducirían en la cinta perforada de la máquina NC.

Una vez creado, el programa de piezas puede ser ejecutado cuantas veces se desee directamente desde la memoria. Puede

ser almacenado permanentemente en casetes de cinta magnética o discos magnéticos floppy similares a los usados en aplicaciones CAD.

CNC tiene las siguientes ventajas sobre el tradicional NC:

a) Los programas de pieza se pueden introducir y editar directamente en la unidad de la máquina, sin tener que pasar por el proceso inicial de cinta de papel perforada.

b) El programa de pieza completo se puede almacenar en la memoria del ordenador y ejecutarse como un ciclo de producción completo en lugar de tener la máquina que realizar operaciones simples cada vez que lee un bloque de instrucciones.

c) El programa de pieza CNC sólo necesita ser cargado una vez para cualquier número de ejecuciones que se desee.

d) El software CNC puede contener procedimientos automáticos para rutinas de maquinado comunes (ciclos pre-establecidos), los cuales se pueden activar mediante simples instrucciones del programa.

e) Los programas CNC pueden incluir subrutinas para secuencias de maquinado repetidas. Una vez que programadas, se pueden llamar repetidamente en cualquier etapa posterior del programa, eliminando así la necesidad de datos de entrada idénticos.

f) El software CNC puede incluir facilidades de compensación de herramientas que permiten una versatilidad en el programa de las herramientas en la producción de un componente particular.

g) Se pueden parametrizar formas similares dentro del programa de pieza CNC, con dimensiones individuales tan variadas como se desee de la misma forma que en la creación de una macro paramétrica de estándares de dibujo de una librería CAD.

h) CNC permite comunicación directa con otro sistema informático tal como una base de datos CAD y con ordenadores de control numérico directo (DNC).

CONTROL NUMERICO DIRECTO (DNC)

La entrada manual de datos en el teclado CNC tiene el inconveniente de hacer que la máquina esté inoperativa mientras se está introduciendo o editando el programa.

En un sistema DNC se puede crear el programa de pieza en un ordenador central que alimenta directamente los datos a la máquina CNC. Se pueden acoplar diversas máquinas CNC al

ordenador principal y trabajar mientras que se está desarrollando el programa de pieza. Particularmente el DNC es auto apropiado para técnicas de programación de piezas asistidas por ordenador y para simulación gráfica de procesos de producción. También el ordenador central puede recibir datos de otros sistemas tales como CAD. DNC es así una componente vital en el enlace de un sistema CAD CAM, el cual se lleva a cabo generalmente mediante comunicación serial del ordenador con la maquina CNC a través de una interfase RS- 232.

EJES DE MOVIMIENTO

Tanto la complejidad del programa de pieza, como la versatilidad de forma del componente terminado, están influenciados por el número máximo de ejes a lo largo de los cuales se puede mover la herramienta simultáneamente en relación a la pieza de trabajo.

- Las máquinas de CONTROL AXIAL EN 2D proporcionan movimientos de herramienta programables a lo largo de dos ejes simultáneamente, las aplicaciones CNC típicas son torneado y oxicorte.
- EL CONTROL AXIAL EN 2 1/2 D proporciona movimientos de herramientas programables a lo largo de tres ejes pero sólo permite movimientos simultáneos a lo largo de un máximo de dos ejes por operación. Se utiliza normalmente para perfiles de fresado en 2D básicos que requieren profundidad programable, tales como ranuras y cavidades.
- Las máquinas de CONTROL AXIAL EN 3D proporcionan movimientos de herramienta programables a lo largo de tres ejes simultáneamente, se pueden utilizar para cortes complejos en perfiles 3D, pero su capacidad está limitada en la variación del ángulo relativo a la pieza de trabajo durante la operación.
- Las máquinas DE CONTROL DE 5 EJES proporcionan movimientos de herramienta a lo largo de tres ejes simultáneamente y permiten también el movimiento angular del husillo de la herramienta. Esto posibilita al husillo de la herramienta permanecer perpendicular a la superficie del trabajo en todo momento.

PROGRAMACION DE PIEZAS ASISTIDA POR ORDENADOR (CAPP)

Aunque el DNC se puede realizar introduciendo los códigos del programa de pieza en un ordenador central, los programas

se crean incrementalmente mediante un enlace CAD CAM directo o bien mediante paquetes de software CAPP de "usuario amigable". Los paquetes de CAPP emplean, normalmente, formas de lenguaje simplificadas, técnicas gráficas; o una combinación de ambas. La programación gráfica de piezas se realiza con pantallas VDU y se conoce habitualmente como Control Numérico Gráfico (GNC). Los sistemas gráficos pueden proporcionar, también, simulaciones de corte de herramientas y producción de datos tales como ciclos de tiempo.

El software CAPP proporciona facilidades adicionales, tales como la posibilidad de realizar cálculos trigonométricos complejos.

El formato CAPP específico depende de la empresa que escriba el paquete de software. Sin embargo, muchos paquetes se basan en sistemas APT (herramientas programadas automáticamente), que son compatibles en una amplia gama de ordenadores y máquinas CNC. APT es, efectivamente, tanto un sistema de programación como un lenguaje de programación de piezas, que se emplea internacionalmente.

ESTRUCTURA DEL SOFTWARE CAPP

La mayoría de los paquetes de software CAPP se dividen en tres secciones principales:

- Definición de la geometría
- Procesador de fabricación
- Post - procesador.

1) Definición de la Geometría

Supone la descomposición de la forma del componente de sus elementos geométricos primitivos. En el sistema APT, estas primitivas incluyen puntos, líneas, círculos, planos, cilindros, conos y esferas.

2) EL procesador de fabricación

Utiliza las definiciones geométricas para generar los datos necesarios para producir la pieza. Los datos típicos que se introducen en esta etapa son el tamaño de la herramienta de corte, la velocidad del husillo, y la velocidad de alimentación.

La información relativa a la dirección del movimiento de la herramienta y del camino de corte necesario se introduce también en el procesador de fabricación.

3) El Post-procesador

Es la parte del software CAPP que convierte las sentencias similares al inglés al lenguaje APT en instrucciones codificadas

que pueden ser entendidas por la máquina CNC (es decir Códigos G, Códigos M, etc.). Hasta esta etapa, el lenguaje CAPP no varía sea cual sea el modelo de la máquina CNC. Sin embargo, como los diversos fabricantes de herramientas de máquina varían sustancialmente la interpretación y el formato de los códigos G y M, el post-procesador debe ser la única parte del software que se acomode a una máquina CNC específica. El software CAPP, para poder ser comercial, debe entonces, disponer de una amplia gama de post-procesadores que se adecúen a los diferentes modelos de máquinas CNC más populares.

La ventaja principal de CAPP es su versatilidad y uso amigable. Una vez que se ha elegido e instalado este software, la programación de las piezas no supone tener que estar familiarizado con los diferentes sistemas de máquinas CNC y con sus complejos códigos.

Capítulo 7

MAQUINA DE MEDICION POR COORDENADAS

Las máquinas de medición por coordenadas (CMM) son herramientas de inspección de alta precisión diseñadas para la medición de piezas mecánicas. Una CMM ofrece una medición más rápida y de mayor precisión que cualquier equipo de medición convencional.

Los beneficios que ofrece una CMM son muchos. Estas máquinas son flexibles, es decir, son capaces de medir cualquier geometría sin la necesidad de usar accesorios especiales. El tiempo que se requiere para su iniciación es bastante corto y los errores que entregan son mínimos, debido a que las mediciones se toman a partir de sistemas de medición comunes y geoméricamente fijos, a diferencia de los equipos convencionales de trabajo que no cuentan con un sistema de referencia propio. Además, toda la información aparece en el monitor de la máquina, por lo que no existen errores en la lectura.

DESCRIPCION DE UNA CMM MANUAL TIPICA Y SUS ACCESORIOS

Debido a la gran variedad de CMM, y a que cada una de ellas puede tener elementos diferentes haremos una descripción general de los elementos que forman una CMM manual común, como le empleada en el desarrollo de esta tesis. En la figura 7.1 podemos ver una CMM y las partes principales que se describen a continuación.

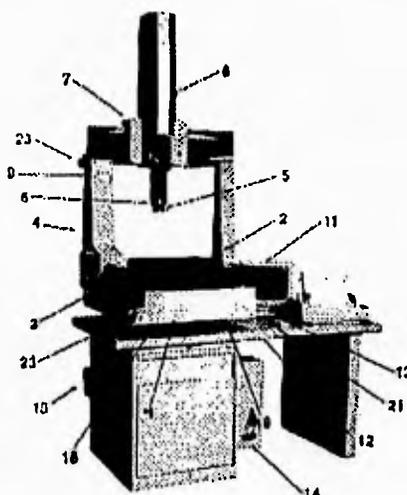


Figura 7.1: Partes básicas de una CMM

1. **BASE.** Se fabrica principalmente de aluminio fundido y está provista de tres elementos de nivelación independientes. Sostiene la mesa de granito proporcionándole rigidez y estabilidad para un correcto funcionamiento de la máquina y mediciones precisas.

2. **MESA DE GRANITO.** Montada sobre soportes de bola y en "v". Sirve para colocar y sujetar las piezas a verificar.

3. **CARRILES DEL EJE Y.** Se encuentran montados sobre la base. Funcionan como elementos guías del puente para que éste se mueva en línea recta a lo largo del eje Y.

4. **PUENTE.** Es una estructura móvil que consiste de dos brazos, junto con el carril del eje X. El puente se mueve sobre los carriles del eje Y para realizar mediciones sobre éste. El carril del eje X es la parte más alta de esta unidad y sirve como guía para que el carro se mueva en una línea recta a lo largo del eje X.

5. **DISPOSITIVO DE SUJECION PARA PALPADORES.** Se encuentra sobre el carril del eje Z y es el encargado de sujetar y nivelar los palpadores.

6. **CARRIL DEL EJE Z.** Es un carril ajustable que se mueve verticalmente en el carro para la realización de mediciones a lo largo del eje Z.

7. **CARRO X Z.** Es una estructura que se mueve en el carril del eje X para realizar mediciones a lo largo de éste. Contiene

colchones de aire tanto para el carril del eje X, como para el carril del eje Y.

8. **PERILLA DE AJUSTE DE CONTRAPESO.** Es la encargada de ajustar el cilindro de contrapeso, si existen variaciones en el peso de los palpadores.

9. **FRENOS DE LOS EJES (X, Y,Z).** Sirven para frenar o liberar los ejes de la máquina.

10. **PROBADOR O PALPADOR.** Pueden ser mecánicos o de señal de contacto. Se emplean para registrar todos los puntos necesarios de la pieza a verificar.

11. **MONITOR.** Es un monitor generalmente monocromático. Proporciona caracteres grandes y de fácil lectura. A través del monitor, es posible leer mediciones, menús y alarmas propias de la máquina.

12. **MESA O BANCO.** Sostiene a la máquina, al gabinete electrónico a la unidad de suministro de aire y al monitor.

13. **LAPIZ OPTICO.** Se emplea conjuntamente con el monitor para la entrada de datos y selección de menús.

14. **GABINETE ELECTRONICO.** Se encuentra montado en la mesa. En él se encuentra el CPU y la unidad de suministro de energía eléctrica.

15. **UNIDAD DE SUMINISTRO DE AIRE.** Proporciona y distribuye aire a los diferentes colchones para un movimiento suave y libre de fricción del puente, carro y carril del eje Z a lo largo de sus diferentes trayectorias.

16. **COLCHONES DE AIRE.** Proporcionan un movimiento libre de fricción al puente, carro y carril del eje Z a lo largo de sus diferentes trayectorias.

17. **SISTEMA DE MEDICION.** Sistema óptico eléctrico capaz de enviar señales electrónicas al monitor y CPU.

18. **NIVELADORES DE LA MAQUINA.** Son tres placas con sus respectivos tornillos que sirven para aislar a la máquina de vibraciones, así como para nivelarla.

19. **PERNOS DE APOYO.** Son dos pernos que evitan que la máquina se desnivele, en caso de que la carga sobre la mesa de granito no se encuentre distribuida.

20. **NIVELADORES DE LA MESA DE GRANITO.** Son tres bolas y tres tornillos colocados en la parte superior de la base que proporcionan apoyo a la mesa de granito.

21. **CONTROLADOR MANUAL.** Se emplea conjuntamente con palpadores mecánicos para hacer mediciones además, enciende y apaga a los palpadores de señal de contacto. Está provisto de una tecla que cumple con la misma función de la tecla

"ENTER" de cualquier computadora.

22. MODULO DE MEMORIA. Se conecta al gabinete electrónico. Su función es la de almacenar datos y/o programas.

23. PERILLA DE AJUSTE PRECISO. Permite el perfecto ajuste de cada uno de los tres ejes de la máquina.

Palpadores

La selección del palpador óptimo de acuerdo a la labor de medición que se va a desarrollar, es clave para obtener el mejor funcionamiento de la CMM. La exactitud de la medición y la eficiencia de la máquina dependen mucho del palpador seleccionado. Existen fundamentalmente dos tipos de palpadores:

- Palpadores mecánicos
- Palpadores de señal de contacto (Touch Trigger Probe)

Los palpadores mecánicos pueden ser de punta de bola, cónicos, cilíndricos, universales o para propósitos especiales. Los palpadores de bola, son los considerados como estándar por el número de aplicaciones a las que es útil, la bola es fabricada de carburo de 2 a 10 mm de diámetro. Los cónicos y cilíndricos son para determinar la localización de agujeros y para medir placas delgadas respectivamente; ambos tipos de palpadores determinan únicamente coordenadas bidimensionales, por lo cual, las superficies a medir deben estar previamente niveladas. Los palpadores universales tienen una punta de bola, cuya orientación puede ser cambiada para medir caras laterales o inclinadas de una pieza de trabajo. Los de propósitos especiales pueden tener varias formas, por ejemplo, con punta semiesférica para medir contornos de superficies, con zanco largo para medir agujeros profundos, etc.

Los palpadores de señal de contacto son dispositivos altamente sensitivos al tacto que generan una señal inmediatamente después de un contacto con la pieza a verificar. Son elementos pequeños y de construcción sumamente precisa. Existen varios tipos de palpadores de señal, algunos de ellos se mencionan a continuación. Los palpadores de barrido, que son palpadores de detección tipo contacto provisto de un cojinete de aire, el desplazamiento de la punta es retroalimentado al sistema de la CMM, permitiendo una medición de barrido de las superficies de las piezas. El palpador de señal de contacto de 3D, detecta a través de su cabeza los desplazamientos de la punta en las tres direcciones (X, Y, Z). El palpador de baja fuerza

de medición realiza mediciones ejerciendo una fuerza de medición pequeña y es usado para piezas de trabajo suaves o elásticas que pueden ser deformadas por la fuerza de palpación normal.

FUNCIONAMIENTO DE LA CMM

El funcionamiento de una máquina de coordenadas se puede explicar dividiendo sus acciones básicas, como son:

1. **ALINEACION DEL EJE Y DEL PLANO.** Es necesario que el plano de referencia esté paralelo con la superficie de la mesa de verificación, así como el eje de referencia de la pieza tiene que estar también alineado con la dirección de la medición, es por eso que el CPU de la máquina de coordenadas efectúa los alineamientos establecidos en un sistema de coordenadas de la pieza quedando así la pieza a medir siempre fija.

2. **PUNTO MEDIO.** Primeramente el CPU de la máquina emplea comandos para especificar los tipos de medición que se vayan a realizar, como es el caso de ángulos, diámetros, etc. Cada comando requiere

que un número determinado de puntos sea introducido en la máquina, una vez hecho esto la máquina determina un punto específico conocido como punto medio.

3. **PLANO Y EJE DE REFERENCIA.** El plano de referencia de una pieza de trabajo corresponde al plano de proyección de un dibujo de ingeniería; sirve como el plano base hacia el cual los puntos introducidos son proyectados para tipos específicos de procesamiento de datos. Si se desprende determinar el diámetro del barreno de una pieza cuyo plano de referencia se encuentre en el plano X-Y, cualquier punto medio en torno a la circunferencia del barreno será proyectado al plano mencionado sin importar el eje Z.

4. **ENTRADA DEL PUNTO FALSO.** El punto falso se registra en el espacio para poder especificar la dirección de compensación del radio del palpador. La dirección de compensación es opuesta a la dirección del punto falso.

5. **SISTEMA DE COORDENADAS.**

A) *Sistema de coordenadas de la máquina.* El sistema de coordenadas de la máquina está formado por los ejes X, Y, Z de la máquina de medición por coordenadas en sí misma y es usado como referencia para determinar el desplazamiento a lo largo de cada eje de la máquina, almacenamiento de los datos de las coordenadas en la unidad de procesamiento de datos y

operaciones de control numérico.

B) *Sistema de coordenadas de la pieza*. Este sistema está definido mediante la medición de las superficies a verificar y se establece de una forma independiente al sistema de coordenadas de la máquina empleando la superficie de referencia de la pieza de trabajo.

6. ORIGEN DE REFERENCIA. El origen de la máquina se pone automáticamente en el centro del palpador en el momento en que la máquina se pone a funcionar.

7. MODO DE APRENDIZAJE. Este modo mejor conocido como modo de repetición almacena como un programa de la pieza de un archivo una serie de operaciones secuenciales que son usadas para medir una pieza de trabajo, siendo de gran utilidad cuando se ejecutan mediciones repetidas de piezas de un mismo lado.

8. MODO DE REPETICION. Aquí los procedimientos de medición han sido guardados como programas de las piezas y son llamados para ejecutar el programa.

9. FUNCION DE EDICION. Esta función se usa para modificar un programa de pieza en el archivo previamente creado o bien, crear procedimientos de medición del teclado sin ejecutar realmente las mediciones.

10. CALIBRACION DEL PALPADOR. Con el fin de asegurar mediciones exactas se calibra el diámetro de la bola del palpador bajo las mismas condiciones en que la pieza está expuesta durante la medición, esto puede hacerse mediante un bloque de calibración midiendo tanto su cara interna como la externa o bien, mediante una esfera maestra la cual permanece fija a la máquina.

SOFTWARE

El software empleado por las CMM's, se puede clasificar en dos grandes grupos: los programas de medición y los programas para procesamiento de datos medidos.

PROGRAMAS DE MEDICION

Son programas para la medición de contornos, para las rutinas de alineación (traslado del origen a un punto específico, rotación del origen, etc.), rutinas de medición como la medición de elementos (puntos, líneas, círculos, etc.), medición de distancias, de ángulos, desviación de forma (esfericidad, conicidad, cilindridad, etc), orientaciones (paralelismo, perpendicularidad, etc.), intersecciones entre líneas, o bien, programas para la calibración del palpador.

PROGRAMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIDOS

Estos pueden ser programas de procesamiento estadístico como desviaciones estándar, media, polígonos de frecuencia, y en general la mayoría de las funciones estadísticas que son útiles al realizar mediciones, y los programas de generación de certificados de inspección.

CONDICIONES NECESARIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CMM

Las condiciones ambientales afectan las mediciones de la CMM en términos de exactitud, eficiencia en la medición y mantenimiento, por ello para un funcionamiento óptimo de la CMM es necesario que se tenga un ambiente controlado en el área de trabajo de la máquina.

EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

La estabilidad absoluta de las dimensiones de una pieza no está asegurada ni aún en las sustancias que aparentemente están estabilizadas como las rocas; los cambios de temperatura y las variaciones en humedad afectan por ejemplo la geometría de las mesas de planitud de granito. El efecto de las variaciones de temperatura sobre el tamaño y forma de las piezas, así como también de las condiciones de unión de los ensambles son conocidos comúnmente, aunque no siempre son considerados y respetados adecuadamente.

Entre los efectos más importantes producidos por las variaciones de la temperatura destaca la expansión y contracción térmica que sufren los materiales en general y que afecta considerablemente las dimensiones de las piezas.

Los requerimientos esenciales para las mediciones finas, como las que realiza una CMM, se pueden lograr en un recinto bien ventilado libre de corrientes y de fluctuaciones bruscas de temperatura.

La interdependencia entre la humedad y la temperatura debe tomarse en cuenta cuando se establecen las condiciones ambientales requeridas para el buen funcionamiento de la CMM. La ISO recomienda una humedad relativa permisible del 60 al 70% y un intervalo de temperatura entre los 18 y 22 grados centígrados, pero para mantenerse dentro de los límites de $\pm 5\%$ en humedad relativa, el cambio de temperatura del aire al circular por el recinto normalmente deberá ser del 1%.

Para las CMM, normalmente se recomienda trabajar a una

temperatura de 20 grados centígrados y una humedad relativa alrededor del 50% con el fin de evitar la formación de óxidos en las superficies ferrosas con acabados superficiales finos, obviamente una humedad relativa menor sería más favorable, sin embargo, por razones fisiológicas, no debe secarse al aire ambiente por debajo de 40% de humedad relativa, estableciéndose un margen de 50 \pm 10%.

Por otro lado, la CMM, los accesorios normales, los instrumentos de medición y la pieza que se va a medir, deben estar por lo menos 24 horas en el ambiente donde se va a hacer la prueba.

POLVO

La filtración del aire no es un requisito indispensable, pero debe considerarse como una condición contribuyente a la exactitud de las mediciones. En las mediciones de fracciones de micrómetro, como las que es capaz de realizar la CMM, por ejemplo, se requiere la filtración de partículas de hasta 0.5 micrómetros.

Las partículas mayores de 10 micrómetros son las que tienden a depositarse por gravedad, el filtrado de partículas de 1 micrómetro o mayores es adecuado para la mayoría de los trabajos de medición de la CMM. Este control puede lograrse usando filtros secos o de tipo viscoso en los ductos de entrada de aire y mejorarse a través de filtros de recirculación localizados en el interior del recinto controlado, los cuales servirán para eliminar el polvo generado internamente.

VIBRACIONES

El mejor seguro contra las vibraciones es la juiciosa ubicación de la CMM. Si no se pueden evitar las vibraciones, se deberán aislar los instrumentos utilizando dispositivos o lechos antivibratorios, los cuales son usualmente adecuados para la mayoría de las mediciones. Otro método de amortiguamiento empleado con frecuencia es colocar los instrumentos sobre una plataforma relativamente pesada, tal como una placa de acero, la cual a su vez esta soportada en colchones de hule parcialmente inflados que descansan sobre el banco de trabajo. Si se encuentra que los dispositivos de amortiguamiento comerciales no son satisfactorios puede, ser necesario el diseño propio asegurándose que tenga una frecuencia natural inferior a dos hertz.

Las tolerancias permisibles para la variación dependen del tipo

y del instrumento de medición así como de la naturaleza de la propia medición; para la CMM se acepta frecuentemente que las aceleraciones lleguen hasta 0.002g.

Las frecuencias que afectan el laboratorio deberán ser de preferencia bajas. Otra buena solución para evitar vibraciones consiste en la colocación en todo el suelo de una caja o loza de concreto de unos 25 cm de espesor, separada en bloques de menos de dos metros de ancho por bandas de madera u otro material similar.

Capítulo 8

APLICACION: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS MODELOS PARA EL PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA A TRAVES DE INGENIERIA INVERSA

El objetivo de este capítulo es el de ilustrar detalladamente el uso del proceso de Ingeniería Inversa para obtener los modelos necesarios para el proceso de moldeo a la cáscara, así como el diseño de los elementos de los mismos, para tener una mejor comprensión de los procesos descritos anteriormente. Los resultados obtenidos se mencionaran conforme se describa el desarrollo de cada parte del procedimiento.

PROCEDIMIENTO

En el presente trabajo, el primer proceso en desarrollarse fue el de Ingeniería Inversa, debido a que era necesario tener una idea bien clara de la pieza que se iba a fundir, sus dimensiones y características, y así diseñar los elementos necesarios del modelo y seleccionar la mezcla de moldeo a utilizar (recordemos que las proporciones de los componentes de la mezcla de moldeo dependen de la complejidad de la superficie del modelo).

Selección de la pieza

Este inciso fue clave en el desarrollo, debido a que muchos factores dependían de la pieza seleccionada, tal pieza debía

cumplir con dos requerimientos básicos, que mostrara la potencialidad y flexibilidad del proceso de Ingeniería Inversa, y por otro lado, que ilustrara la capacidad del proceso de moldeo a la cáscara. Por tales razones se selecciono un avión de juguete (figura 8.1) de un tamaño pequeño (5 x 7 x 1.5 cm aproximadamente), el cual además de presentar superficies curvas y sinuosas, que nos ayudarían a demostrar el poder de los paquetes de CAD, CAM, de la CMM, y de el centro de maquinado CNC, tiene secciones con espesor de pared delgada (las alas y el empenaje).



Figura 8.1: Avion seleccionado para la aplicación

El avión seleccionado tiene superficies que para poder maquinar requieren movimiento simultaneo en los tres ejes coordenados (X, Y, Z)

Digitalización de la pieza seleccionada

Para realizar la digitalización del avión se utilizó la CMM del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (figura 8.2), para la captura de las coordenadas que iban surgiendo de la digitalización se utilizó una computadora conectada en serie con la CMM a través de una interfase RS-232. Los equipos y sistemas utilizados para este fin son los siguientes:

- Máquina de Medición por Coordenadas marca Brown & Sharpe, modelo MicroVal, con el Software Micromeasure II

Plus.

- Sistema de transferencia de datos CADD Inspector versión 1.6.
- Paquete CADKey, versión 3.55.

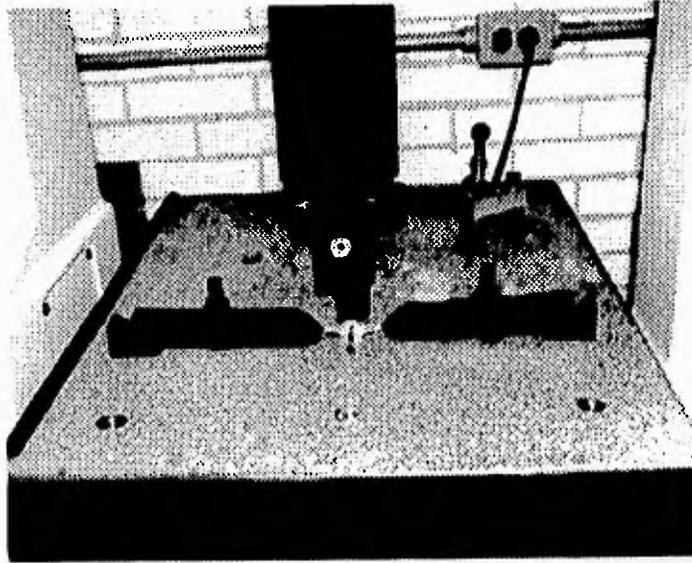


Figura 8.2: Digitalización del avión en la CMM

- Computadora ACER 80386SX.

Los elementos mencionados anteriormente constituyen el sistema denominado CopyCad, este sistema es capaz de realizar inspecciones interactivas rápidas, así como también el proceso de Ingeniería Inversa. Ambas características hacen de este sistema una poderosa herramienta en para la Ingeniería Mecánica.

DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS

El paquete de Diseño Asistido por Computadora CADKey tiene como principal característica el hacer muy fácil el trabajo de dibujo en 3D. Es un programa que trabaja con el sistema de árboles de menus.

La máquina de medición por coordenadas Micro Val es una herramienta de inspección de alta precisión tridimensional fabricada por Brown & Sharpe. Las características de ésta máquina se mencionan a continuación:

- a) Exactitud lineal: 0.006 mm
- b) Resolución: 0.0005 mm
- c) Presión mínima del aire de entrada: 4.8 bar
- d) Consumo de aire: 45 l/min

- e) Consumo de energía: 190 W
- f) Area de trabajo: 457 mm (eje X)
610 mm (eje Y)
381 mm (eje Z)
- g) Dimensiones totales: 743 mm (longitud)
730 mm (ancho)
1340 mm (altura)

Esta máquina es de tipo puente vertical, cuya estructura esta hecha de fundición de aluminio, los rieles de aluminio y la superficie de trabajo de granito negro.

EL CADDInspector es un software que enlaza a la CMM con CADKey. Permite la digitalización directa de puntos, líneas, círculos, arcos y polilíneas bi y tridimensionales.

CADDInspector y CADKey tienen un lenguaje común denominado CADL (CADKey's Advanced Design Language). Ambos programas ofrecen bases de datos normalizadas y traductor IGES.

El CADDInspector es el enlace que permite realizar funciones de Ingeniería Inversa y de inspección. La inspección se aplica a piezas manufacturadas, con la finalidad de compararlas con especificaciones de diseño. En lo que se refiere a Ingeniería Inversa, hace posible la digitalización de una pieza manufacturada de la cual no existe mayor información que la



Figura 8.3: Puntos digitalizados (isométrico)

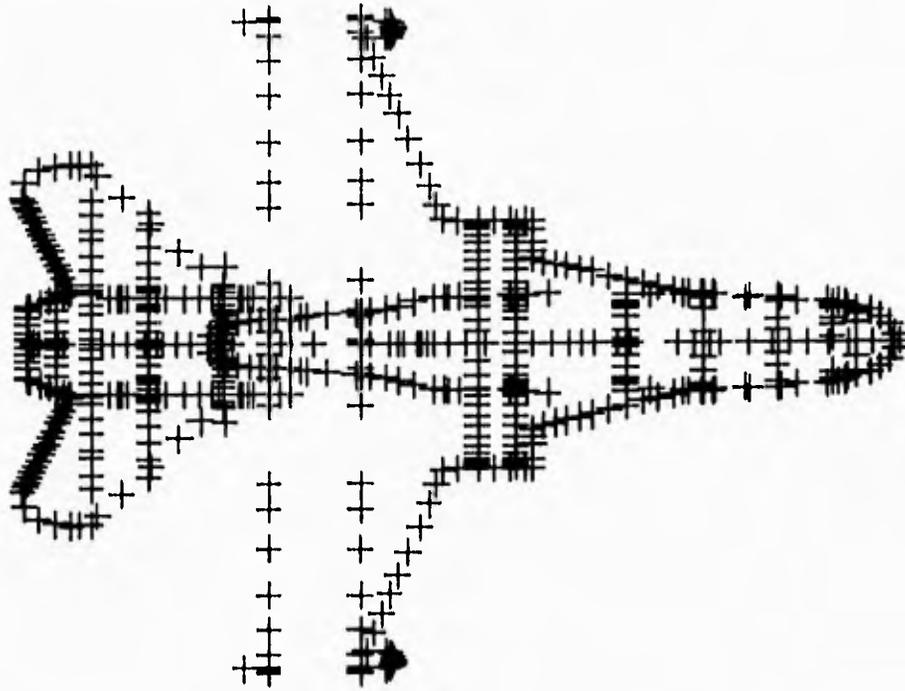


Figura 8.4: Puntos digitalizados (vista superior)

pieza misma.

Estando listo el enlace entre la CMM y la PC se procedió a digitalizar el avión, para lo cual se decidió, para obtener las superficies de importancia, digitalizar sobre 3 planos perpendiculares entre sí (X-Y, Y-Z, X-Z) la mitad superior del avión, es decir, se digitalizó el contorno del avión, el perfil del avión y superficies de nivel perpendiculares al eje longitudinal del avión, para cada uno de los planos de digitalización de utilizaron colores diferentes para la representación de los puntos en el paquete CADKey. En la figura 8.3 y 8.4 podemos observar la forma en que los puntos digitalizados aparecen en pantalla.

La mitad inferior del avión no se digitalizó por dos razones, la parte inferior del avión que utilizamos tenía ruedas demasiado burdas y, por otro lado, el detalle de las turbinas se perdía completamente, por lo cual, y aprovechando lo que aparentaba ser una desventaja, se decidió llevar un proceso de ingeniería convencional para la obtención de esta parte.

Edición de las geometrías obtenidas

Una vez obtenidos los puntos a través de la digitalización de la mitad superior del avión de juguete, comenzamos a editar las

geometrías obtenidas en una computadora 80486DX con el paquete CADKey. En el momento de revisar las diferentes vistas de los puntos que definen la geometría del avión con ayuda de funciones de CADKey descubrimos errores que era necesario corregir antes de comenzar la unión de los puntos, algunos de los errores detectados fueron los siguientes:

- El eje longitudinal del avión no se encontraba perfectamente alineado con el eje longitudinal de la CMM.
- Lo anterior ocasiono que los puntos no se encontraran contenidos en planos perpendiculares entre sí.
- Habíamos digitalizado puntos fuera del avión.

Una vez corregidos estos errores se procedió a la edición de la geometría del avión. La edición consistió en unir los puntos de cada una de las superficies digitalizadas a través de polilíneas de superficie (SPLINES). Con esto obtuvimos la parte superior del avión en un diagrama de alambre generado con SPLINES (figura

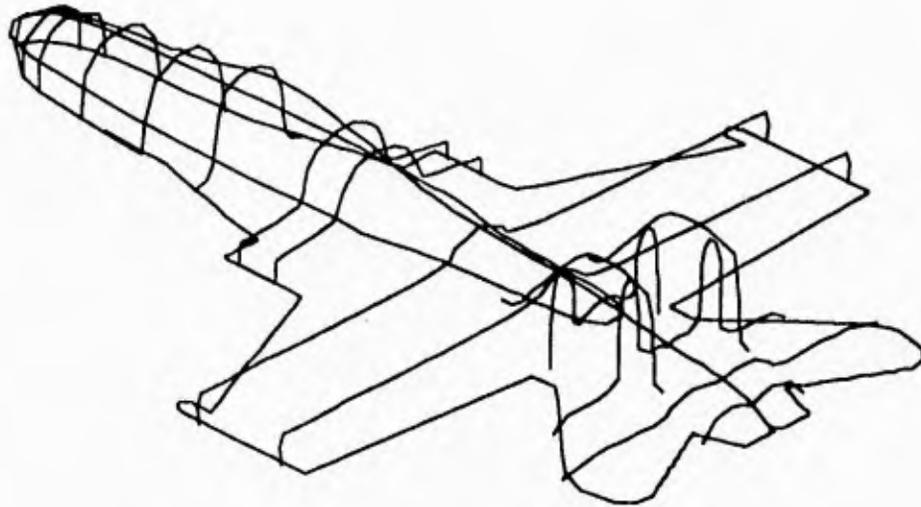


Figura 8.5: SPLINES de la parte superior del avión

8.5).

La parte de abajo del avión fue dibujada apoyándonos en libros de aviación militar para determinar la forma y proporciones aproximadas de las turbinas del avión, y ésta fue generada también a través de SPLINES (figuras 8.6 y 8.7).

En este momento también duplicamos la escala del avión para poder maquinarlo y mostrar con mas detalle la superficie del avión, así como también para mostrar la flexibilidad del proceso.

Se utilizaron SPLINES para definir el diagrama de alambre del avión debido a que este tipo de polilíneas no describen una recta entre dos puntos, sino que, basándose en la totalidad de los puntos por los cuales ha de pasar describe una curva que se ajusta matemáticamente a cada nodo, además los SPLINES

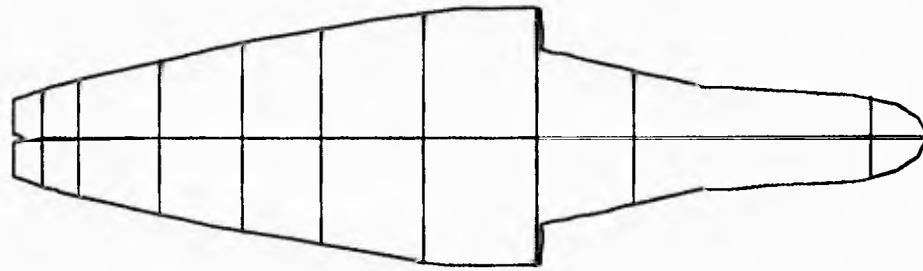


Figura 8.6: SPLINES de la parte inferior del avión

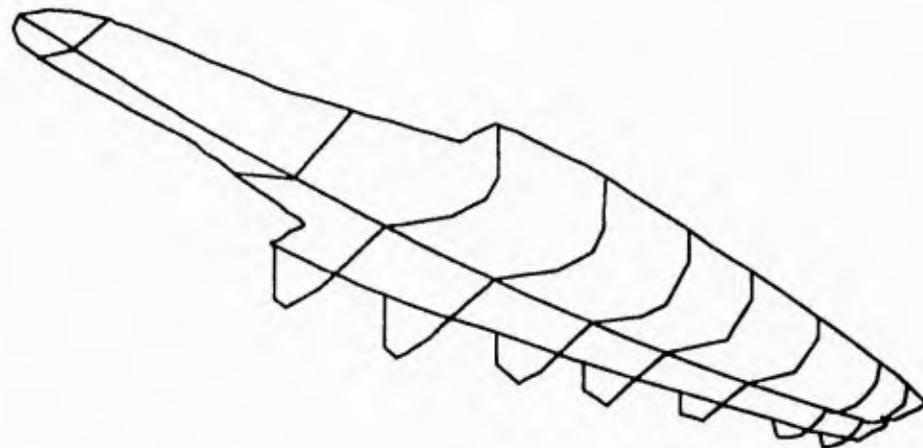


Figura 8.7: SPLINES de la parte inferior del avión

sirven de guía para la generación de las superficies.

Una vez teniendo generados los modelos en alambre de la parte superior e inferior del avión, se procedió a unirlos para ubicar un mismo cero pieza y revisar si éstas coincidían perfectamente (figura 8.8).

Generación de las superficies del avión

Para la generación de las superficies del avión se utilizó un paquete de Programación de Piezas Asistidas por Computadora (CAPP) llamado Master CAM, la comunicación entre CADKey y

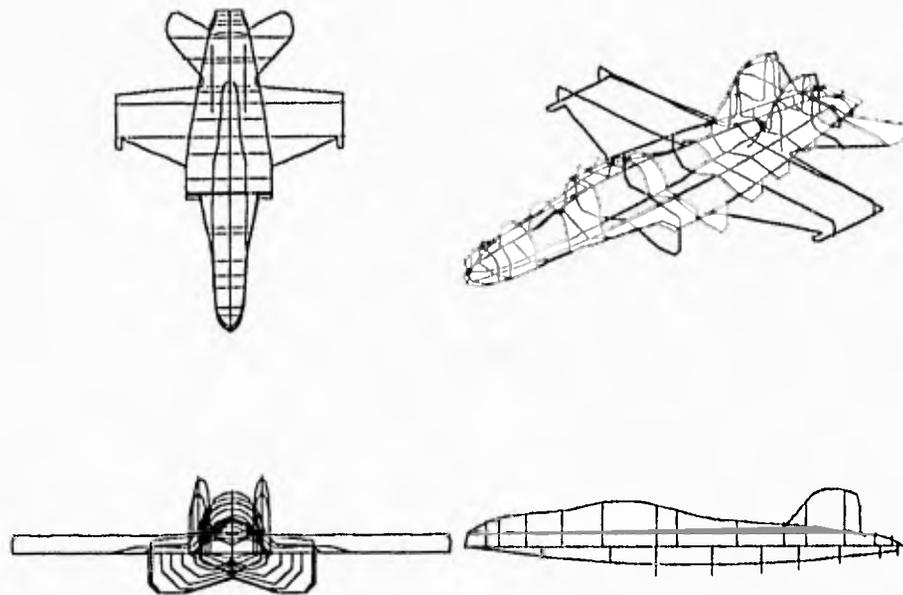


Figura 8.8: Ensamble del avión en diagrama de alambre

Master CAM se realizó por medio del lenguaje CADL, dicha comunicación es completamente transparente, es decir, todos los tipos de entidades que genera CADKey son íntegramente respetadas por Master CAM, para la utilización de este último paquete se utilizó una computadora 80486DX, sin embargo, a pesar del modelo de la máquina su funcionamiento es lento debido a la gran capacidad de procesamiento de demanda Master CAM, estas superficies sirven de guía para saber como está quedando el avión, pero fundamentalmente las superficies las utiliza Master CAM para generar los códigos de control numérico para maquinar el avión.

Para economizar el tiempo máquina CNC, se diseñaron otras dos superficies para cada parte del avión que más tarde se convertirían en cortes de la pieza, en otras palabras, las superficies auxiliares (figuras de la 8.9 a 8.12) definieron dos cortes burdos o desbastes, en los cuales se utilizaron parámetros de corte mayores, dejando el último corte (figuras 8.13 y 8.14) como el corte de acabado delicado, que define la superficie del avión.

En este paso también se insertan las placas en el dibujo que en conjunto con el avión funcionarían más adelante como modelos, se definen las velocidades de corte, el avance, la velocidad de giro de la herramienta, la profundidad de corte, el

número de pasos que realizará la máquina antes de llegar al corte final y el traslape de la herramienta de corte, esto para decirle al post procesador de Master CAM, como se va a realizar el

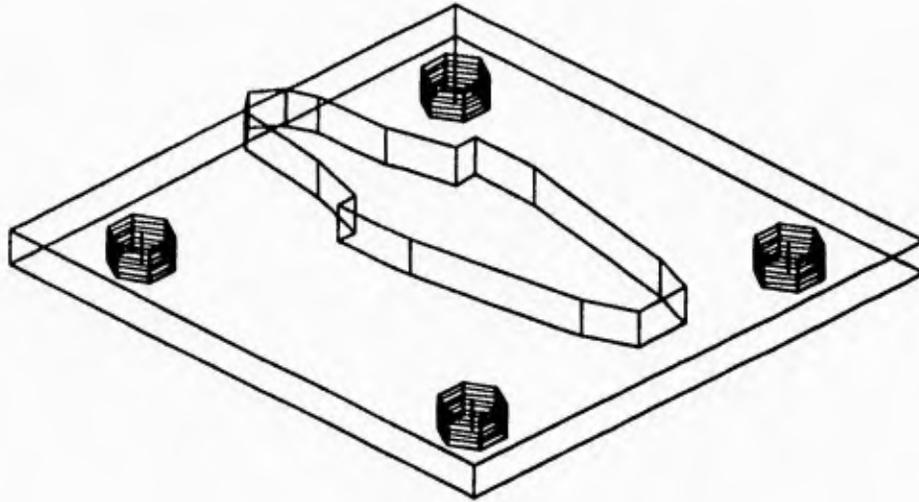


Figura 8.9: Primer desbaste para la parte inferior

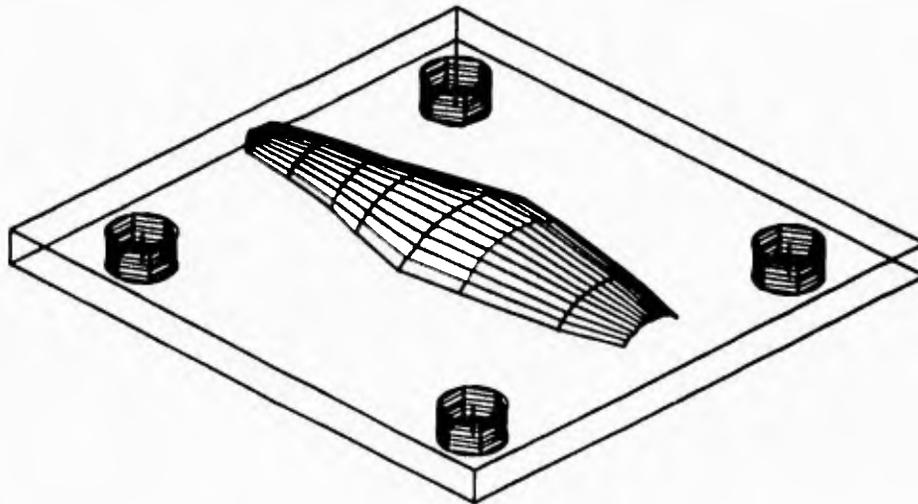


Figura 8.10: Segundo desbaste de la parte inferior

maquinado.

Para los desbastes iniciales del primer y segundo corte para ambas placas de bronce se utilizaron cortadores de 1/4", y para el corte final un cortador de bola de 1/8" . Para cada uno de los

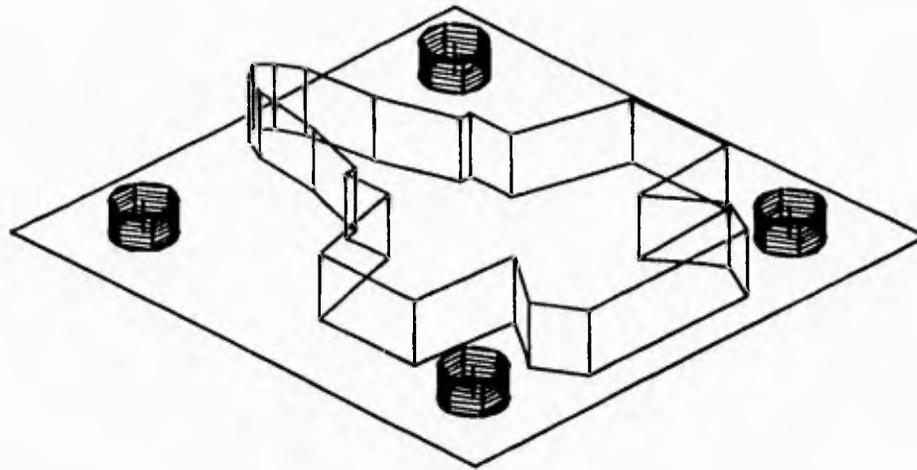


Figura 8.11: Primer desbaste para la parte superior

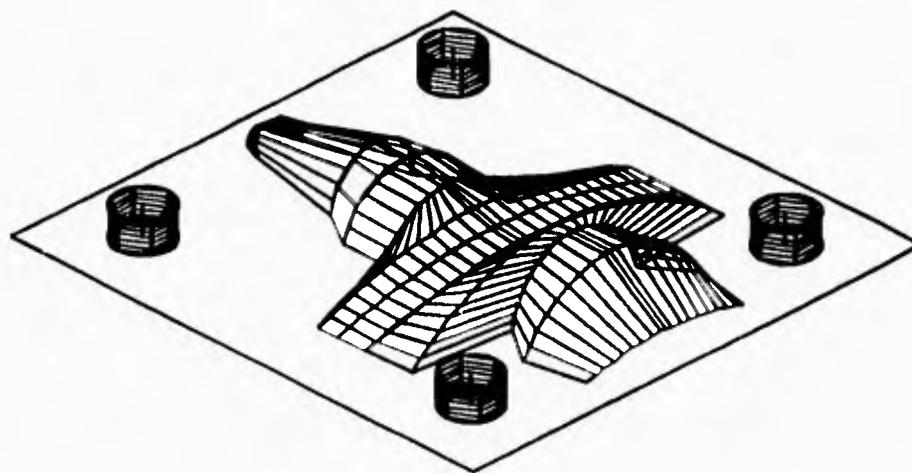


Figura 8.12: Segundo desbaste para la parte superior

desbastes se generaron los códigos de control numérico.

Master CAM proporciona la facilidad de simular el maquinado en la PC para corregir las posibles fallas en los programas, una vez corregidos los programas se pueden transmitir al centro de maquinado vertical de CNC. Los programas que generó Master CAM fueron tan grandes debido a la complejidad de la pieza, que fue necesario dividirlos en programas de 50 KBytes de tamaño

máximo para que pudieran ser almacenados en la memoria de

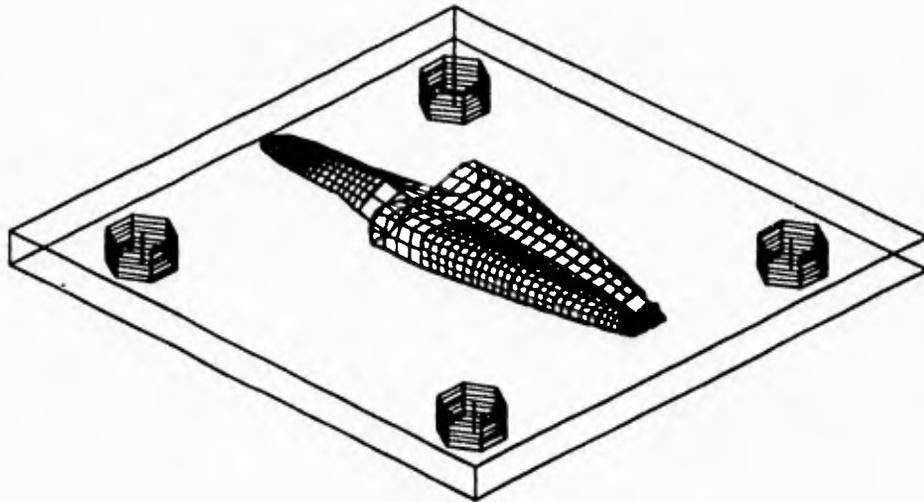


Figura 8.13: Corte final de la parte inferior

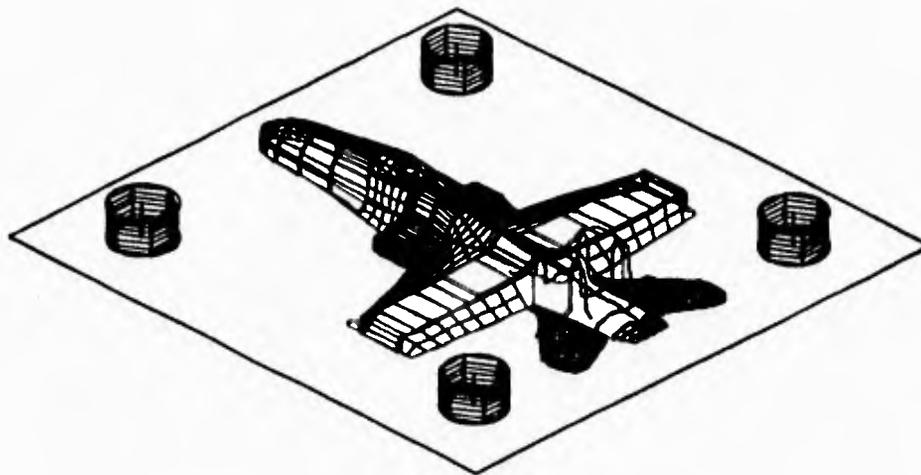


Figura 8.14: Corte final de la parte superior

la máquina CNC

Las placas en bruto sobre las cuales se maquinó fueron de bronce por consideraciones en el diseño del proceso de moldeado a la cáscara, como se discutirá más adelante, debido a que comercialmente no es posible comprar una placa del tamaño que requeríamos, fue necesario hacer un molde en arena en verde con las dimensiones aproximadas a nuestras necesidades y fundir el bronce para poder maquinar después sobre él. Una vez obtenidas las placas fundidas de bronce, fue

máximo para que pudieran ser almacenados en la memoria de

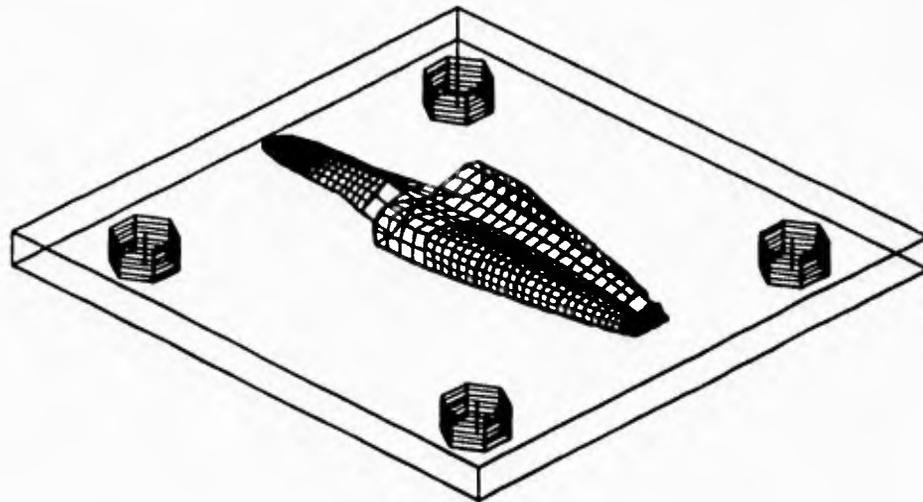


Figura 8.13: Corte final de la parte inferior

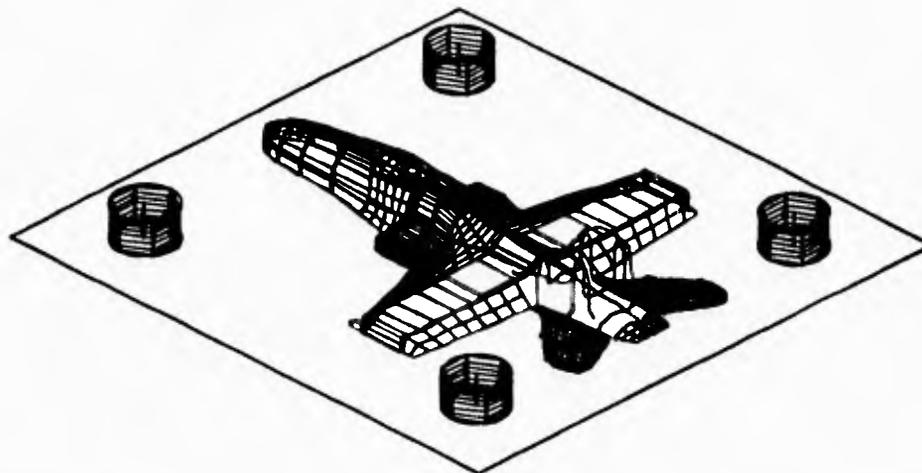


Figura 8.14: Corte final de la parte superior

la máquina CNC

Las placas en bruto sobre las cuales se maquinó fueron de bronce por consideraciones en el diseño del proceso de moldeado a la cáscara, como se discutirá más adelante, debido a que comercialmente no es posible comprar una placa del tamaño que requeríamos, fue necesario hacer un molde en arena en verde con las dimensiones aproximadas a nuestras necesidades y fundir el bronce para poder maquinar después sobre él. Una vez obtenidas las placas fundidas de bronce, fue

necesario maquinas para dejarlas a escuadra y con superficies planas, teniendo que ser ambas placas del mismo tamaño, para después poder montarlas en la prensa de la máquina CNC.

Maquinado de la pieza

Una vez que se han generado los códigos de control numérico, que se han hecho todas las correcciones necesarias, y que el tamaño de los programas se ha ajustado para que la máquina CNC los pueda almacenar, se procede a la comunicación entre la PC que contiene los programas y el centro de maquinado vertical CNC, la comunicación se realiza por medio de una interfase RS-232 y con la ayuda del programa SP. En la figura 8.15 podemos observar el centro de maquinado

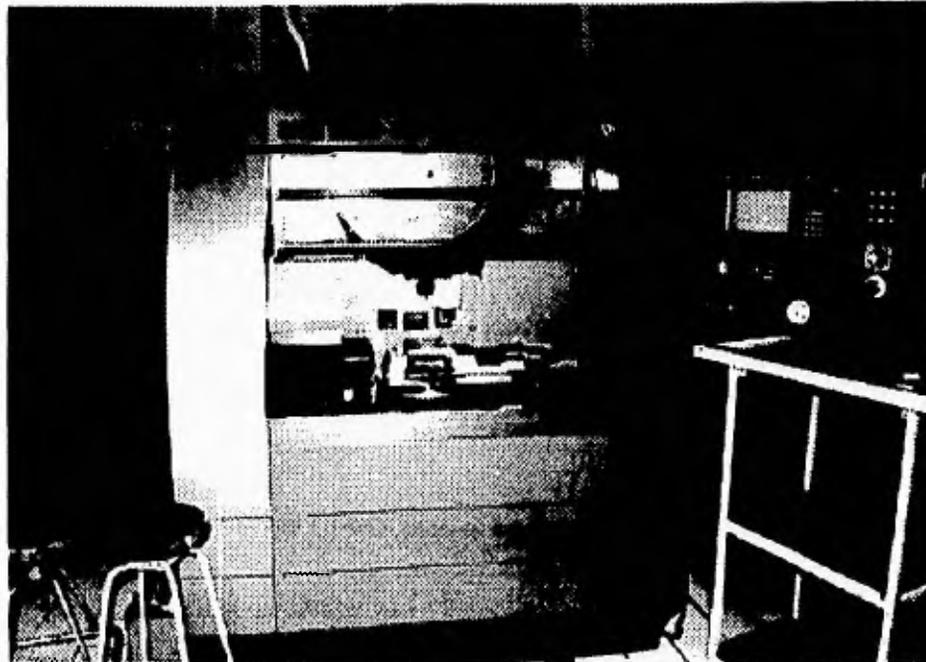


Figura 8.15: Centro de maquinado utilizado

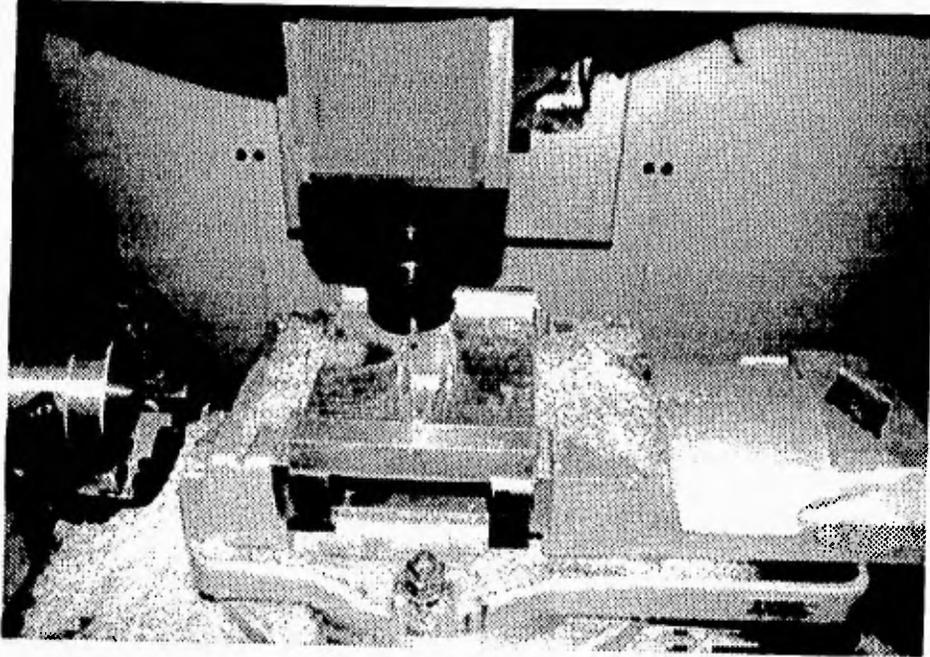
utilizado.

Debido a las limitaciones de memoria del centro de maquinado, se debe enviar desde la PC un solo programa de 50 KB máximo, ejecutarlo, desecharlo de la memoria y entonces mandar el siguiente programa.

Lo más complicado de la operación de maquinado es la puesta en marcha de la máquina que consiste en el alineamiento de la pieza en bruto, colocación y compensación de las herramientas y puesta en cero de la pieza. Una vez montada la

pieza en bruto no puede moverse de su posición hasta estar completamente maquinada, debido a que cualquier variación en su posición hace que se pierda el cero pieza.

Una vez colocada la pieza en bruto, se procede a maquinar, ejecutando programa por programa y avanzando en el maquinado conforme los desbastes mostrados en las figuras 8.9 a 8.12, en las figuras 8.16 y 8.17 se muestra el proceso de maquinado en la máquina CNC de la parte inferior y superior del



Figuar 8.16: Maquinado de la parte inferior del modelo

avión.

Las características de la máquina CNC utilizada, son las siguientes:

- Centro de maquinado vertical marca EMCO modelo VMC300
- Es una máquina de 4 ejes
- Motor 240 V
- Velocidad de giro de 200-5000 RPM
- Torre con capacidad de 12 herramientas
- Area de trabajo máxima de 70 cm (eje X), 50 cm (eje Y), 40 cm (eje Z)
- Controlador marca SIEMENS modelos Sinumerik 810M con las siguientes características: campo de visualizaciones, campo de teclas, pantalla gráfica de 9" con teclas de funciones

integradas, panel de mando de máquina integrado con 24 elementos de manejo con funciones fijas asignadas, capacidad asignada de 56 KB, puede ejecutar 9999 programas principales y 999 subprogramas, simulación en pantalla de maquinado, alarmas de control lógico de programación y NC, programación por medio DNC y

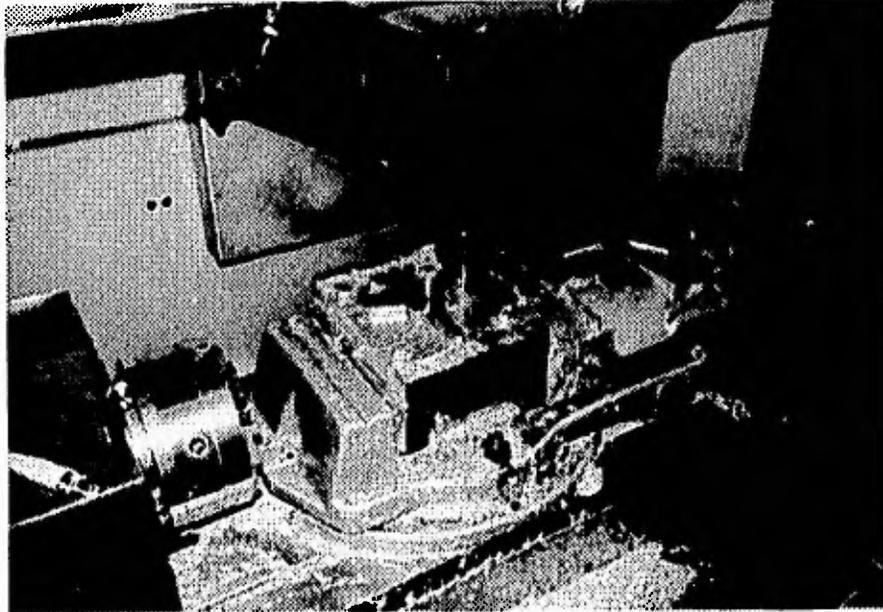


Figura 8.17: Maquinado de la parte superior del modelo

manualmente.

Cuando las piezas se terminaron de maquinar la superficie de los modelos no tenían el acabado superficial suficiente para que la mezcla de moldeo no se quedara pegada a los modelos, razón por la cual fué necesario pulir los modelos a mano, habiendo realizado esto, los modelos se encontraron listos para insertar los elementos del modelo.

Diseño de lo elementos del modelo

Antes de entrar a esta parte del desarrollo, es conveniente explicar el uso de bronce como material base de los modelos, en la descripción del proceso shell (capítulo 2) se recomienda el uso de dos metales con los cuales se puede fabricar el modelo, hierro fundido y bronce, sin embargo, el hierro fundido se recomienda para volúmenes de producción altos y condiciones de trabajo severas, como puede ser una línea de producción, en nuestro caso, los modelos no van a estar sometidos a condiciones de trabajo extremas, además que el uso

de hierro fundido hubiera elevado el costo del proceso, debido a la utilización de un mayor número de cortadores para el maquinado del modelo, por las razones anteriores consideramos apropiado el uso de bronce como material de fabricación del modelo.

DISEÑO DEL REBOSADERO

Una vez que se desarrolló el proceso de Ingeniería Inversa para obtener el modelo, se prosiguió a diseñar uno de los elementos principales de la fundición, el rebosadero, éste es de vital importancia, debido a que de él depende que la pieza final obtenida de la fundición sea obtenida libre de contracciones, el rebosadero, las compuertas y el bebedero, son elementos que no fueron fabricados en una sola pieza con el modelo debido a que son piezas de revolución y por la disposición que tienen en el modelo, resultaría en un tiempo mayor de maquinado, el cual se refleja en costos.

Para llevar a cabo el diseño del rebosadero se utilizó el Método del Módulo, descrito en el capítulo 3, para determinar el tamaño del rebosadero que asegurara la duración de la disponibilidad del metal durante la fundición, este método tiene una ventaja fundamental sobre los demás, es bastante flexible para el cálculo aún para piezas de sección compleja.

Para poder aplicar el método, es necesario conocer la zona de concentración de masa, esto se logró a través del paquete AUTOCAD, se importaron los dibujos con las superficies generadas desde Master CAM por medio del traductor IGES, en AUTOCAD se solidificarón ambas partes del avión mediante el módulo AME, para poder obtener el centro de masa del avión.

Debido a que en el modelo la mayor cantidad de masa se concentra en la parte central del fuselaje, se tomaron las dimensiones de éste para aplicar el método y obtener el factor de forma y utilizar la gráfica 3.12 (a).

Largo: $L = 145 \text{ mm}$

Ancho: $W = 42 \text{ mm}$

y la sección más delgada del fuselaje es de 10 mm aproximadamente, por lo tanto consideramos $T = 10 \text{ mm}$, utilizando la fórmula para el factor de forma obtenemos:

$$\text{Factor de Forma (FF)} = \frac{L+W}{T} = \frac{145+42}{10}$$

realizando las operaciones tenemos: **FF = 18.7**

Utilizando este valor de FF en la gráfica tenemos:

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.3$$

donde V_r es el volumen del rebosadero que asegura la duración de la de la disponibilidad del metal, y V_c es el volumen de la fundición.

Para obtener V_c consideramos el volumen total del avión. Debido a la forma irregular del modelo utilizamos las herramientas del paquete AUTOCAD para calcular el área del fuselaje, alas y empenaje en la superficie que forma la línea de partición del mismo .

El siguiente paso fué calcular la altura promedio del fuselaje alas y empenaje para obtener el volumen del avión multiplicando el área de la base por la altura promedio, obteniendo lo siguiente:

Área total del corte transversal del avión: 7370 mm²

Altura promedio del avión: 7.16 mm

Por lo cual el volumen promedio del avión es de 52,769.2 mm³

Teniendo la relación $V_r/V_c = 0.3$, calculamos el volumen del rebosadero:

$$V_r = 15830.76 \text{ mm}^3$$

El nomograma de la figura 3.17 (b) no lo utilizamos debido a que el bebedero cumple la función de rebosadero, de tal manera que teniendo un volumen del bebedero mayor o igual al calculado del rebosadero se asegura la duración de la disponibilidad del metal.

DISEÑO DEL BEBEDERO Y COMPUERTAS

Una vez ubicado el centro de masa del avión y debido a que el bebedero cumple la función de rebosadero, la altura del mismo está en función del tamaño máximo que podría haber en el horno de metalografía de los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, UNAM, esto se debe a que se seleccionó un sistema de alimentación horizontal con el bebedero en forma normal a la placa del modelo para evitar los problemas que se describieron en el capítulo de "Diseño de los Elementos de la Fundición", teniendo este valor ($h = 85 \text{ mm}$) y tomando en cuenta que regularmente se recomienda un bebedero con diámetro promedio de 20 mm, tomamos como diámetro mayor 25 mm y realizamos los cálculos (descritos en la figura 3.17) para determinar el área menor (área de la sección transversal menor de la compuerta de alimentación) obteniendo que al área A_2 era igual a 53.2427 mm², valor con el cual se dimensionó la

compuerta de alimentación del modelo.

En la parte inferior del bebedero se agregaron dos secciones más que servirían como depósito de metal fundido, ya que el volumen del bebedero no era suficiente para asegurar la duración de la disponibilidad del metal para evitar contracciones, además estas secciones sirvieron como elementos para disminuir la turbulencia durante la entrada del metal.

Como la forma del bebedero es cónica con el diámetro mayor en la parte superior, era imposible que la cáscara pudiera salir completa, por lo cual, el bebedero se insertó de tal manera que fuera desmontable y así removerlo antes de separar la cáscara del modelo.

El bebedero y sistema de compuertas se colocaron en la parte inferior del avión para que el metal fundido entrara por el simple efecto de la gravedad en las cavidades de las derivas, lo cual de otra forma, además de entrar el metal en una zona de sección transversal muy delgada, hubiera tenido que llenar la cavidad en contra del efecto de la gravedad.

Cuando los modelos estuvieron completamente listos, se procedió a la fabricación de las cáscaras para formar moldes, la mezcla de moldeo utilizada se adquirió ya preparada, pero sin descuidar que las proporciones de los elementos de la mezcla fueran las adecuadas al uso que se le dió, la temperatura práctica de los modelos para su recubrimiento y la necesaria para el curado final de la cáscara, coincidió en forma bastante aproximada a la señalada en el capítulo 2, así como el tiempo de estancia de los modelos en la caja de volteo de arena y en el horno para el endurecido final de los moldes.

En un principio los pernos guía de los moldes se rompían al separar los moldes de los modelos, esto se corrigió aumentando en ángulo de salida de los orificios que forman los pernos guías en el modelo inferior.

Una vez fabricadas las cáscaras se procedió a su ensamble para formar moldes completos y vaciar después el metal fundido, el cual en nuestro caso fue aluminio, el tiempo de solidificación de los aviones es bastante rápido (aproximadamente 3 minutos), lo cual habla de la transferencia de calor tan eficiente de las cáscaras; ya que el avión solidificó, se desmoldaron las fundiciones, este paso fue rápido debido a la buena coloapsabilidad de las cáscaras y gracias a que prácticamente no queda arena adherida a la fundición; los aviones se obtuvieron sin defectos como contracciones, la superficie presentó muy buen acabado superficial y las zonas de sección transversal

delgada se llenaron completamente de metal, en algunas partes del avión se observa un poco de porosidad, sin embargo, esto no se debe a algún defecto del proceso, sucedió porque las cáscaras fueron utilizadas casi 8 días después de haber sido fabricadas, lo cual provocó que fueran objeto de múltiples manipulaciones y en consecuencia, algunos granos de arena se desprendieron de su posición, así que, si las cáscaras se hubieran utilizado el mismo día que fueron fabricadas o no hubieran sido manipuladas tan continuamente, este defecto no estaría presente.

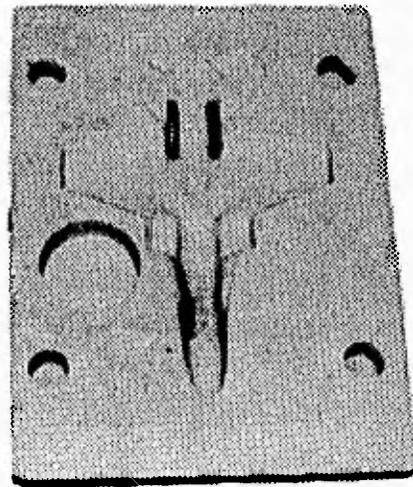


Figura 8.18: Molde superior para el avión

Capítulo 9

CONCLUSIONES

A lo largo de esta tesis hemos hablado detalladamente de las características del proceso de Ingeniería Inversa y del proceso de moldeado a la cascara, ambos tienen un gran número de ventajas sobre la Ingeniería tradicional y sobre el moldeo en arena en verde, describiremos las conclusiones de cada proceso por separado para tener un panorama individual de cada uno de ellos, para después concluir respecto al gran potencial de desarrollo que representan ambos procesos trabajando conjuntamente.

INGENIERIA INVERSA

Cuando comenzamos a investigar respecto a la ingeniería inversa y sus elementos ya podían percibirse algunas ventajas que éste presenta, sin embargo, fue necesario estar trabajando con él para descubrir el potencial que tiene como herramienta para la ingeniería mecánica.

Es un proceso versátil con el que podemos obtener no solamente el dibujo de una pieza hecha, de la cual no tenemos los planos, su aplicación va mas allá, podemos hablar del control de calidad en las líneas de producción de la industria manufacturera donde fácilmente se pueden inspeccionar las dimensiones y características de las piezas que se están fabricando y compararlas directamente con las especificaciones de diseño y dimensiones en los dibujos mecánicos.

El potencial y flexibilidad de la ingeniería inversa en el proceso de diseño es tan amplio que permite desarrollar piezas

terminadas en un rango de tiempo corto con tolerancias y precisiones hasta de micrómetros que difícilmente se consigue con procesos de manufactura tradicionales, sin embargo, la ingeniería inversa en su desarrollo no es excluyente de la ingeniería tradicional, ambos procesos se pueden combinar para obtener mejores resultados.

En cuanto a los costos es económicamente rentable, suponiendo que una compañía se tiene el proceso CAD CAM, la inversión inicial no es alta para adquirir el software y la CMM y así completar los elementos básicos necesarios para la ingeniería inversa.

El proceso de ingeniería inversa puede utilizarse para la producción en serie de una o varias piezas o para el diseño y manufactura de modelos y moldes para fundición, inyección de plásticos, forja y un sin número de aplicaciones de esta naturaleza en la ingeniería mecánica.

PROCESO DE MOLDEADO A LA CASCARA

Tradicionalmente se utiliza el moldeo en arena en verde para la manufactura de piezas con formas complejas con las que no es rentable el maquinado directo partiendo de un bloque de material en bruto y el salto hacia otros procesos de fundición en dado, en molde permanente, o la fundición de precisión (investment casting), o incluso hacia de deformación plástica con la forja, representa grandes gastos debido a que debe adquirirse todo el herramental necesario para la implantación de cualquiera de estos procesos. Sin embargo, el proceso de moldeo a la cascara (proceso shell) proporciona muchas ventajas sobre los procesos antes mencionados, ofrece mejor acabado superficial (similar al que se puede obtener por forja si se trabaja correctamente) que en el proceso de moldeo en arena en verde, la precisión dimensional que se obtiene es competitiva cuando no se requiere que la pieza fundida se utilice directamente, sin un maquinado posterior en las superficies críticas (si existen), los ángulos de salida requeridos por el proceso shell son mucho menores que los requeridos en el proceso de moldeo en arena en verde, por lo cual el desperdicio de metal se reduce considerablemente.

El herramental y equipo necesario para el proceso de moldeo a la cascara no difiere mucho del utilizado en el proceso de moldeo en arena en verde, todo el ciclo de recuperación de la arena se puede hacer con las mismas maquinas, incluso los

Proceso Shell

modelos no son substancialmente diferentes, y las características de la pieza fundida son mucho mejores.

Por otro lado el proceso no depende de que tan bien haya sido comprimida la arena, de no dejarla demasiado floja que el molde se desmorone, ni demasiado apretada que el molde no tenga la permeabilidad suficiente.

Los tiempos de solidificación son mucho mas cortos gracias a que la cascara que forma el molde es tan delgada que la transferencia de calor hacia el medio ambiente es mas eficiente.

Incluso, se puede sustituir con el moldeo a la cascara el proceso de forja u otros procesos de fundición, cuando estos procesos proveen a la pieza final características que hasta cierto punto pueden sobrepasar las especificaciones de diseño , pero que la fundición en arena en verde no es capaz de satisfacer, reduciendo el herramental y el equipo necesario, y obviamente los costos de operación.

El costo de la preparación de la mezcla de moldeo para el moldeo a la cascara se absorbe rápidamente tomado en cuenta que la cantidad de arena-resina que se utiliza es mucho menor que la cantidad de arena-aglutinante que el modelo en arena en verde requiere.

El proceso de limpiado de las fundiciones es prácticamente inexistente, debido a la buena colapsabilidad de las cáscaras el material de moldeo adherido a la fundición es casi nulo.

Por otro lado, la transferencia de calos de las cáscaras tan eficiente evita choques térmicos drásticos, como los que se presentan en el moldeo en arena en verde, lo cual se refleja en un tiempo de duración mayor de la arena.

Los tiempos de producción son muy bajos; fabricar una cáscaras lleva aproximadamente 5 minutos, el tiempo de ensamble de los modelos es despreciable, la solidificación dentro del molde del metal fundido es más rápida y el desmoldeo casi instantáneo, lo que permite tener volúmenes de producción elevados, amortizando el herramental y equipo en un menor tiempo.

Si se utilizan juntos ambos procesos (Ingeniería Inversa y moldeo a la cáscara) la precisión de las piezas obtenidas se mejora considerablemente el tiempo de producción de los modelos e incluso la complejidad de las superficies de los mismos.

Para fabricar una pieza que ya existe y no se tiene más que la pieza en sí, se hace innecesario hacer dibujo tras dibujo y prototipos hasta alcanzar el resultado deseado, basta con aplicar el proceso de Ingeniería Inversa para obtener dibujos con las mismas características de la pieza original, que pueden interactuar con programas de simulación y utilizar CAD CAM para llegar a un modelo y comenzara a fabricar la pieza, cuyas "copias" tendrán las mismas características, todo esto en un lapso de tiempo menor al que se utilizaría con la Ingeniería tradicional.

Con el desarrollo de este trabajo, no pretendemos innovar, todo lo utilizado ya existía, sin embargo, tratamos de enfatizar que existe una amplia gama de recursos y herramientas que a pesar de existir y de saber su existencia no estamos conscientes de todo lo que podemos hacer con ellas, de sus ventajas y simplemente las dejamos pasar.

Por último cabe resaltar que en una industria como la actual en la que impera la calidad, lo presentado en esta tesis puede ser un ejemplo a seguir, ya que se puede combinar una tecnología de punta como lo es la ingeniería inversa con procesos no tan modernos como es el caso de la fundición en cascara, dando resultados altamente precisos, con mayor flexibilidad y que cumplen con las mas rigurosas normas existentes.

Bibliografía

Abella Robert J.; Daschbach, James M. CMM APLICACION IN REVERSE ENGINEERING-INTEGRATING CMM WITH CAD/CAM FOR EXISTING PARTS WITHOUT DRAWINGS, Society of Manufacturing Enginners, EUA., 1989

Askeland, Donald LA CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES Ed. Grupo Editorial Iberoamerica. México 1987.

Barry Hawkes, CAD CAM. Ed Paraninfo. Madrid España 1988

Beeley, P.R. FOUNDRY TECHNOLOGY. Ed. London Butterworths. Inglaterra. 1972.

Doyle Lawrence, Keyser Carl, Leach James MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA PARA INGENIEROS ED Prentice Hall Tercera edición México 1988.

Farag, Mahmoud M. SELECTION OF MATERIALS AND MANUFACTURING PROCESSES FOR ENGINEERING DESIGN. Ed Prentice Hall. Inglaterra. 1989.

Hewish, Mark. THE ENCYCLOPEDIA OF WORLD AIR POWER. Ed. Crescent Books. 9ª Edición. New York, E.U. 1987.

Mompín Poblet José, CAD/CAM/CAE Sistemas: DISEÑO Y FABRICACIÓN POR COMPUTADORA, Ed. Marcombo, Barcelona España, 1986

Owen Jean V., CMM's FOR PROCESS CONTROL, Manufacturing Engineering Magazine, Agosto 1991, pp. 39-41

Bibliografía

Schey, John A. INTRODUCTION TO MANUFACTURING PROCESS. Ed. Mc Graw Hill. Boston, E.U.A. 1977

Wulff John, Taylor Howard, Shaler Amos METALLURGY FOR ENGINEERS. Ed John Wiley and Son. New York E.U.A. 1956

Zeid Ibrahim, CAD/CAM THEORY AND PRACTICE. Ed Mc Graw Hill, N.Y. 1991.

METAL HANDBOOK , American Society for metal. Volumen 15, CASTING. Novena edición. E.U.A 1980.

MOLDING METHODS AND MATERIALS, American Foundryman Society. Primera edición. Illinois E.U.A. 1962.

Material de apoyo del SEGUNDO CONGRESO DE METROLOGIA Y CONTROL DE LA CALIDAD, 17 de marzo de 1986.

QUETZALCOATL

QUETZALCOATL

Quetzalcóatl, fue quizás el más complejo y fascinante de todos los Dioses mesoamericanos. Su concepto primordial, sin duda muy antiguo en el área, parece haber sido el de un monstruo serpiente celeste con funciones dominantes de fertilidad y creatividad. A este núcleo se agregaron gradualmente otros aspectos: la leyenda lo había mezclado con la vida y los hechos del gran Rey sacerdote Topiltzin, cuyo título sacerdotal era el propio nombre del Dios, del que fue especial devoto. En el momento de la conquista, Quetzalcóatl, considerado como Dios único desempeñaba varias funciones: Creador, Dios del viento, Dios del planeta Venus, héroe cultural, arquetipo del sacerdocio, patrón del calendario y de las actividades intelectuales en general, etc. Un análisis adicional es necesario para poder desentrañar los hilos aparentemente independientes que entran al tejido de su complicada personalidad.



FALLA DE ORIGEN

IMPRESO EN LOS TALLERES DE:

Editorial Quetzalcoatl, S.A.

Medicina No. 37 Locales 1 y 2 (Entrada por Pasaje de las
Facultades, Frente a la Curva de la Facultad de Medicina de
Ciudad Universitaria).
México, 21, D.F. C.P. 04360 Tels: 658-71-66 y 658-70-88