



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN MOLDE DE FUNDICIÓN A PRESIÓN

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA MECÁNICA

P R E S E N T A :

MIGUEL ANGEL CONTRERAS MEDINA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. UBALDO E. MARQUEZ AMADOR

2008



AGRADECIMIENTOS

A mi madre Enriqueta y padre Miguel por darme el soporte y educación necesarios para poder lograr esta meta, a mi hermana Angélica por ser una buena amiga.

A mi esposa Rebeca por siempre motivarme a mejorar en todo los aspectos de nuestras vidas en cada momento.

A mi primo Juan Carlos, por su ayuda.

Y en general a toda la familia y amigos por ser una fuente de inspiración y motivación para seguir adelante siempre.

Muchas Gracias a todos.

	PÁGINA
ÍNDICE	1
PRÓLOGO	4
CAPÍTULO 1	
MANUFACTURA	
1.1 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA	5
1.2 LOS MATERIALES EN LA MANUFACTURA	6
1.3 ALEACIONES	6
1.4 FUNDICIÓN	13
1.5 TÉCNICAS DE FUNDICIÓN	14
CAPÍTULO 2	
FUNDICIÓN A PRESIÓN	
2.1 INTRODUCCIÓN	17
2.2 APLICACIONES	17
2.3 CANTIDADES RENTABLES PARA PRODUCCIÓN	17
2.4 DEFINICIÓN	18
2.5 VENTAJAS DEL PROCESO	18
2.6 DESVENTAJAS DEL PROCESO	18
2.7 CLASIFICACIÓN	19
2.8 MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE CÁMARA CALIENTE	19
2.9 MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE CÁMARA FRÍA	20
2.10 FUNDICIÓN A PRESIÓN CON RECÁMARA FRÍA	20
2.11 ETAPAS DE INYECCIÓN	21
2.12 CICLO COMPLETO DEL PROCESO DE INYECCIÓN	26

CAPÍTULO 3

PARTES DE UN MOLDE DE FUNDICIÓN A PRESIÓN, SU FUNCIÓN Y DEFECTOS COMUNES EN EL PROCESO

3.1 PARTES DEL MOLDE CAVIDAD FIJA	28
3.2 PARTES DEL MOLDE CAVIDAD MÓVIL	30
3.3 DEFECTOS COMUNES EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN	32
3.4 DEFECTOS EXTERNOS	32
3.5 DEFECTOS INTERNOS	39

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN MOLDE DE FUNDICIÓN A PRESIÓN

4.1 ANÁLISIS DE LA PARTE	44
4.2 CÁLCULO DE LA COLADA	44
CÁLCULO DE CANALES DE LA COLADA	45
CÁLCULO DE SALIDAS DE AIRE	47
CÁLCULO DEL CENTROIDE	48
4.3 CÁLCULOS DE LA MÁQUINA	48
FUERZA DE LOS INSERTOS	50
INSERTOS MECÁNICOS	51
INSERTOS HIDRÁULICOS	52
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL PISTÓN DE INYECCIÓN	53
4.4 TERMOREGULACIÓN	53

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN

5.1 ALCANCES DEL PROGRAMA	57
5.2 RESULTADOS QUE SE PUEDEN ANALIZAR	58
5.3 CASO DE ESTUDIO	59
SECCIÓN DE ATAQUE	59
5.4 CÁLCULOS DE LA COLADA	60
CÁLCULO DE SALIDAS DE AIRE	63
5.5 CÁLCULOS DE LA MÁQUINA	64
VELOCIDAD DEL PISTÓN	64
PRIMERA SIMULACIÓN	65
SEGUNDA SIMULACIÓN	67
5.6 TERMORREGULACIÓN	75
5.7 RESULTADOS FINALES	77
CÁLCULO DEL CENTROIDE	81

CAPÍTULO 6

6.1 RESULTADOS Y OBSERVACIONES	84
6.2 CONCLUSIONES	86
6.3 ANEXO 1	88

PRÓLOGO

Este trabajo tiene el objetivo de presentar, por medio de un ejemplo, las ventajas de usar un simulador que utiliza diferencias finitas como método de solución en el diseño de un molde de inyección a presión. Con el desarrollo de la tecnología es posible hoy en día el uso de este tipo de herramientas que hace algunos años era prácticamente imposible, como toda herramienta que se use en cualquier aplicación cuenta con ventajas y desventajas, lo importante es hacer notar que con un adecuado uso, las ventajas en tiempo y la posibilidad de analizar cualquier tipo de diseño o cambio, hace de ésta una ventaja significativa sobre el método tradicional, de prueba y error, además de los costos que esto implica.

En el capítulo 1 se define el término manufactura, materiales y aleaciones prestando especial atención en la parte de fundición y sus variantes de proceso.

La explicación más detallada del proceso de fundición a presión se expone en el capítulo 2, la clasificación y detalle de algunas etapas importantes durante el proceso de la formación de la parte, además de tratar las ventajas y desventajas del proceso, continuando con las descripciones de las partes que componen típicamente un molde permanente de función a presión y los principales defectos que presentan estos productos se resumen en el capítulo 3.

El diseño se explica en el capítulo 4 tratando los temas más relevantes en los cuales una simulación brinda ayuda al momento de tomar decisiones de diseño del molde, existen muchas otras maneras de correlacionar los resultados de una simulación con respecto al diseño de un molde, pero el objetivo es mostrar los aspectos más sobresalientes de esta aplicación, así como la importancia que tiene la toma de decisiones en cuanto a la calidad de la pieza y el concepto del molde.

La aplicación de una herramienta de simulación se expone en el capítulo 5, de una manera práctica y sencilla se explican los puntos importantes en los resultados obtenidos durante el proceso del diseño del molde de una pieza, como se analizan varias propuestas de diseños, hasta llegar al óptimo, así como la colocación de líneas de refrigeración y excedentes de material para eliminar los defectos de manera adecuada en el molde, sin necesidad de hacer pruebas físicas de ningún tipo, el objetivo final es tener el diseño óptimo para la fabricación del molde de fundición a presión, cabe mencionar que como todos los programas de simulación de procesos de manufactura requieren de una buena experiencia del proceso el cual se está analizando para poder ingresar las variables adecuadas e interpretar los resultados de manera correcta.

CAPÍTULO 1

MANUFACTURA

1.1 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA.

El empleo de herramientas y técnicas para fabricar objetos y mejorar el entorno es una característica que distingue al hombre. Otra es su capacidad para organizarse a sí mismo y a otros para alcanzar un nivel de vida mejor para todos. Estos dos aspectos se combinan en un campo de actividades que llamamos “**manufactura**”.

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (mano) y facturus (hacer); la combinación de ambas significa hecho a mano. La palabra manufactura tiene varios siglos de antigüedad, y “hecho a mano” describe en forma adecuada los métodos manuales que se utilizaban cuando se acuñó la expresión. La mayor parte de la manufactura moderna se lleva a cabo por medio de maquinaria automatizada y controladas por computadora que se supervisan manualmente [1].

La manufactura se puede definir de dos maneras: una tecnológica y la otra económica. En el sentido tecnológico, es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos; la manufactura también incluye el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual.

En el sentido económico, es la transformación de los materiales en artículos de valor mayor por medio de una o más operaciones de procesamiento o ensamblado. La clave es que la manufactura agrega valor al material cambiando su forma o propiedades, o mediante combinar materiales distintos también alterados.

La manufactura moderna incluye una siempre creciente variedad de procesos, y el reto para la persona que desea realizar cualquier producto es seleccionar la combinación de los procesos más económicos para hacer un producto de alta calidad a un precio competitivo. Los productos van desde objetos de alto precio para autos concepto o naves espaciales, como por ejemplo motores a reacción que se fabrican en pequeños volúmenes, hasta los de uso cotidiano, como navajas de afeitar que se fabrican por millones, en un mercado en extremo competitivo. Para enfrentarse a este reto, es necesario tener amplios conocimientos de la forma en que los materiales pueden procesarse, así como de los objetos que pueden obtenerse mediante estos procesos.

1.2 LOS MATERIALES EN LA MANUFACTURA.

Los procesos elementales de manufactura de un producto pueden considerarse como la transformación de la materia prima básica en una forma apropiada para su posterior uso. La materia prima básica que necesita convertirse en paquete, lingote, barra, lámina, alambre o cualquier forma adecuada para la tarea por realizar.

La mayor parte de los materiales para ingeniería se clasifican en una de las tres categorías básicas: metales, cerámicos y polímeros. Sus características químicas son diferentes, sus propiedades mecánicas y físicas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse para obtener productos de ellos. Además de las tres categorías básicas hay compuestos, mezclas no homogéneas de los tres tipos fundamentales.

METALES.

Los metales que se emplean en la manufactura, por lo general son elementos, que están compuestos de dos o más metales para formar aleaciones. Los metales se dividen en dos grupos básicos: ferrosos y no ferrosos.

Los metales ferrosos se basan en el hierro: el grupo incluye aceros y hierro colado. Dichos metales constituyen el grupo comercial más importante, más de las tres cuartas partes del peso total de los metales de todo el mundo. El hierro puro tiene un uso comercial limitado, pero cuando se mezcla con carbono tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado.

Los materiales no ferrosos incluyen los demás elementos metálicos y sus aleaciones. En casi todos los casos, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen los metales puros y aleaciones de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales [1].

1.3 ALEACIONES.

Una aleación es un metal compuesto de dos o más elementos, al menos uno de los cuales es metálico. Las dos clasificaciones principales de aleaciones son:

- 1- Solución sólida.- es una aleación en la que un elemento se disuelve en otro para formar una estructura de fase única. El término fase describe una masa homogénea de material, como la de un metal en el que todos los granos tienen la misma estructura cristalina. En una solución sólida, el solvente o elemento base es metálico, y el elemento disuelto puede ser metálico o no metálico, dentro de estas soluciones se puede presentar de dos tipos: la sustitucional, en la que los átomos del elemento solvente son reemplazados en su celda unitaria

por el elemento disuelto y la intersticial, en la que los átomos del elemento solvente se acomodan en los espacios vacíos entre los átomos del metal base.

- 2- Fases intermedias.- Por lo general hay límites a la solubilidad de un elemento en otro. Cuando la cantidad del elemento solvente en la aleación excede el límite de solubilidad sólida del metal base, en la aleación se forma una segunda fase. Para describirla se emplea el término fase intermedia debido a que su composición química es intermedia entre los dos elementos puros. Su estructura cristalina también es diferente. Estas aleaciones de fases intermedias son importantes porque pueden formularse y ser tratadas térmicamente para darles una resistencia significativamente más elevada que la de las soluciones sólidas.

Una de las aleaciones más usadas en los procesos de fundición a presión son las aleaciones de aluminio, ya que presenta una buena conductividad eléctrica y térmica, su resistencia a la corrosión es excelente debido a la formación de una película superficial de óxido, delgada y dura. Es un metal muy dúctil y es notable la capacidad que tiene para adquirir la forma deseada, se puede tratar térmicamente para mejorar sus propiedades y puede competir con algunos aceros, en especial cuando el peso es una consideración importante [1].

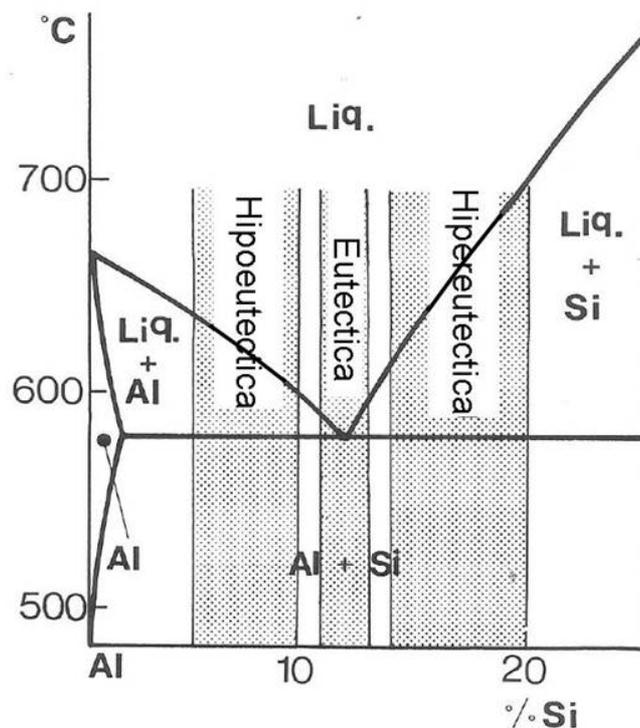


Figura 1.1. Parte del diagrama de fases de Al-Si, muestra los rangos de composición de varios tipos de aleaciones [2].

Elementos importantes en las aleaciones de Aluminio [3].

Los siguientes elementos son importantes para las aleaciones de aluminio y afectan sus propiedades físicas que son muy importantes tanto en el proceso de formado como para la funcionalidad final de la pieza:

Silicio (Si)
Hierro (Fe)
Magnesio (Mg)
Manganeso (Mn)
Cobre (Cu)
Zinc (Zn)
Titanio (Ti)
Níquel (Ni)
Berilio (Be)
Estroncio (Sr)
Boro (B)
Calcio (Ca)

Deben mantenerse exactamente los valores en porcentaje de todos los elementos de la aleación, porque solamente así se pueden garantizar los resultados en las piezas inyectadas. Todos los elementos de la aleación tienen un valor mínimo y un valor máximo, los demás valores que solo llevan un valor máximo, son impurezas metálicas, entre estas impurezas se encuentran elementos como Plomo (Pb), Estaño (Sn), Cadmio (Cd), Bismuto (Bi) etc. (La información se muestra en la Tabla 1.1).

Características de los elementos en la Aleación de Aluminio

Las propiedades de estos elementos en la aleación brindan características especiales durante el proceso y son las siguientes:

Características del elemento:

Silicio (Si)

- Mejora la viscosidad, a mayor contenido mayor fluidez
- Mejora la solidificación, junto con el magnesio, aumenta la resistencia pero disminuye el coeficiente de expansión térmica.

Hierro (Fe)

- Disminuye la adherencia al acero.
- Aumenta la resistencia y la dureza.
- Reduce considerablemente la elongación.

Magnesio (Mg)

- Aumento de la resistencia a la corrosión.
- Reduce la viscosidad.
- Hay que tener cuidado ya que aumenta la tendencia a la pérdida de éste elemento durante la fusión.

Manganeso (Mn)

- Su adición compensa en parte las propiedades negativas del hierro, ya que en porcentajes de contenido elevado pueden sustituir al hierro.

Cobre (Cu)

- Aumenta la capacidad calorífica de la aleación.
- Con contenidos superiores al 3,8 % aumenta la tendencia a los rechupes por contracción.
- A partir del 0.1 % empeora la resistencia a la corrosión.

Zinc (Zn)

- Aumento de la fluidez.
- Junto con el Hierro (Fe) en caso de valores elevados, aumenta la dureza y resistencia.
- A partir del 0.15 % empeora la resistencia a la corrosión.

Titanio (Ti)

- Aumento en la formación de núcleos de solidificación, especialmente con contenidos elevados de magnesio, se usa como refinador del tamaño de grano.

Níquel (Ni)

- Aumento de la capacidad calorífica de la aleación.
- Junto con Cobre (Cu) mejora la resistencia térmica, disminuye la viscosidad y aumenta la formación de rechupes durante la solidificación.

Berilio (Be)

- Mejora la oxidación de la aleación, especialmente con altos contenidos de magnesio
- Es un elemento tóxico y no conviene utilizarlo (máximo 50 ppm).

Estroncio (Sr)

- Este elemento es un formador de núcleos para la solidificación, pero según la aleación tiene que haber un mínimo de 300 ppm. También se utiliza como un refinador permanente.

Boro (B)

- El elemento es un formador de núcleos para la solidificación, especialmente con altos contenidos de Silicio (Si) y Cobre (Cu).
- Aumenta la tendencia a generar porosidad y las fracturas en caliente.

Calcio (Ca)

- Mejora la fluidez de las aleaciones de Aluminio Magnesio (AlMg).
- En aleaciones de Aluminio Silicio (AlSi) generan mayor tendencia a la adherencia al molde.

Además de las impurezas metálicas naturalmente también hay impurezas no metálicas. Estas últimas tienen un efecto menor causado sobre la resistencia a la corrosión que sobre los datos de resistencia y valores de elongación. Esto es fácil de imaginar cuando existen grandes acumulaciones de óxidos.

Aleaciones para la fundición a presión

Componentes de aleación y valores máximos para las adiciones permitidas (en porcentaje de masa).

Tabla 1.1, Elementos que constituyen las principales aleaciones de Aluminio [3].

Aleación	Denominación DIN 1725	Cu	Zn	Si	Fe	Ti	Ni	Mn	Mg	Pb	Sn
226	GD-ALSi9Cu3	2.0-3.5	1.2	8-11	1.2	0.15	0.3	0.1-0.5	0.1-0.5	0.2	0.1
231	GD-ALSi12(Cu)	1.2	0.5	10.5-13.5	1.2	0.15	0.2	0.1-0.5	0.4	-	-
230	GD-ALSi12	0.1	0.1	10.5-13.5	1.0	0.15	-	0.001-0.4	0.05	-	-
239	GD-ALSi10Mg	0.1	0.1	9-11	1.0	0.15	-	0.001-0.4	0.2-0.5	-	-
341	GD-ALMg8(Cu)	0.2	0.4	0.01-1.3	1.2	0.2	-	0.2-0.5	6.0-9.5	-	-
349	GD-ALMg9	0.05	0.1	0.01-2.5	1.0	0.15	-	0.2-0.5	7.0-10.0	-	-

Propiedades físicas y mecánicas básicas de las aleaciones de aluminio.

Tabla 1.2 Propiedades físicas y mecánicas de las aleaciones [3].

Aleación	Resistencia a 0.2 [N/ mm ²]	Resistencia máxima [N/ mm ²]	Elongación [%]	Dureza HB 5/250	Liq-Sol [°C]	Densidad [g/ mm ³]	Soldado	Maquinado arranque de viruta
226	140-240	240-310	0.5-3	80-120	600-490	2.75	Limitada	Muy buena
231	140-200	220-300	1-3	60-100	580-530	2.65	Limitada	Buena
230	140-180	220-280	1-3	60-100	580-570	2.65	Limitada	Buena
239	140-200	220-300	1-3	70-100	600-550	2.65	Limitada	Buena
341	120-140	160-240	1-3	60-80	620-520	2.6	No aplica	Excelente
349	140-220	200-300	1-5	70-100	620-530	2.6	No aplica	Excelente

Características generales

Aleación

226

Aleación universal. Caracterizada por una menor tendencia a producir contracciones superficiales e internas. Muy buena para maquinar con arranque de virutas. Especialmente buena para fundición a presión. Aleación de usos múltiples, también para piezas fundidas con geometrías complejas.

231

Aleaciones eutécticas con excelente facilidad para el llenado del molde, alta resistencia a las fracturas en caliente y excelentes propiedades para la inyección. Para piezas fundidas complejas y de paredes delgadas (menores a 2 mm).

230

Aleación eutéctica con excelente facilidad para el llenado del molde, alta resistencia a la fractura en caliente y excelentes propiedades de inyección así como alta resistencia a los productos químicos.

La 231, para piezas fundidas sometidas a grandes esfuerzos, resistentes a la corrosión y resistentes a las vibraciones.

239

Aleación cercana del punto eutéctico con excelentes propiedades de colada, buena resistencia a las fracturas en caliente, buena en procesos de maquinado y altamente resistente a los productos químicos.

Para piezas fundidas con geometrías complejas, de paredes delgadas, a prueba de presión y vibraciones con alta resistencia después de la solidificación y con una excelente resistencia a la corrosión.

341

Fácil de pulir, apropiada para la técnica de oxidación anódica con aspecto no decorativo.

Piezas de fundición a presión aptas para el pulido para elevadas exigencias en cuanto a la calidad superficial y la resistencia a la corrosión.

349

Fácil de pulir, apropiada para la técnica de oxidación anódica con aspecto no decorativo.

Para piezas con elevadas exigencias a la resistencia a la corrosión y aspecto superficial, maquinaria de oficina y aparatos domésticos.

Ejemplos de aplicación

Aleación

226

Piezas complicadas de maquinaria y motores para la industria automotriz, electrónica, minera, etc., cajas de cigüeñal y otras carcasas, piezas para motores eléctricos, placas y soportes de cojinete, cabezas de motor, revestimientos, etc.

231 y 230

Piezas de maquinaria, piezas sometidas a golpes vibraciones, cabezas y bloques de motor, carcasas de motor, de cigüeñal y de bombas, ruedas de aletas, radiadores de aletas, carcasas de paredes delgadas, caballetes y placas de montaje difíciles.

239

Piezas de maquinaria difíciles y sometidas a grandes esfuerzos, como las cabezas de motor, cajas de cigüeñal, zapatas de freno, piezas para motores y ventiladores con rango de velocidad alto, etc.

341

Piezas para máquinas domésticas y de oficina, aparatos ópticos, etc.

Piezas para máquinas domésticas y de oficina, aparatos ópticos, piezas para la industria de alimentos.

PROCESOS DE FUNDICIÓN.

1.4 FUNDICIÓN.

La fundición es el proceso de vaciar un material en forma líquida en un molde y dejar que se solidifique para obtener el objeto deseado. Esta transición de líquido a sólido se puede lograr por calentamiento o enfriamiento, por disolución y precipitación, o por reacción química de acuerdo con las características del material que se trabaje.

Los moldes utilizados se pueden hacer de varios materiales, lo cual depende de los materiales por fundir y del acabado superficial requerido. El proceso más antiguo de fundir que todavía está en uso es la fundición en arena, que se utiliza no sólo en su forma original, sino en otras variedades modernas. Otros materiales que se emplean son yeso, metal e incluso hule. El molde se puede hacer de un modelo o patrón, o la forma del objeto por producirse se puede cortar en el material del molde mismo [4].

Fundiciones en arena.

Existen dos métodos para producir piezas fundidas en arena, clasificadas según el tipo de modelo que se utilice. Estos métodos son el de modelo o patrón desmontable y el de modelo desechable.

Con un modelo desmontable se apisona arena alrededor del modelo, de manera que la cavidad se pueda partir y retirar el modelo. Los modelos desechables, por otra parte, se comprimen de manera semejante en arena, pero permanecen en su posición y son destruidos por el metal caliente cuando este se vacía. Usualmente estos modelos están hechos de materiales como el poliestireno, que se vaporiza al contacto con el metal fundido.

Los moldes se clasifican según los materiales empleados para su fabricación.

Moldes de arena verde.

Este término “verde” se refiere al hecho de que la arena no es curada. El molde es formado en una caja y cuenta con dos partes: la cavidad superior y la inferior. En caso de que la parte sea más compleja y sea necesario un molde con partes centrales, la parte central recibe el nombre de corazón,

Moldes de arena seca

En este caso al igual que el moldeo en arena verde, la arena del molde contiene un material aglutinante. Pero antes de usarse, los moldes se secan en horno para endurecerlos y secarlos. Los moldes de arena seca conservan mejor su forma cuando se hace el vaciado y causan menos problemas con gases debidos a la presencia de humedad.

Moldes de CO₂

En este proceso el material aglutinante mezclado con arena es silicato de sodio. Después de formar el molde se introduce CO₂ a presión en el molde, lo que hace que la mezcla se endurezca.

1.4 TÉCNICAS DE FUNDICIÓN.

Cada una de estas otras técnicas de moldeo implica algún modo de hacer la cavidad que finalmente forma la parte.

Molde Simétrico.

Para partes simétricas sencillas esto se puede hacer al dar forma a la arena mediante una pieza de forma especial que se introduce en la superficie del molde superior o del inferior, para hacer un hueco por rotación que corresponda a la parte.

Moldeo en Cáscara.

Si se agrega una resina y un acelerador a la arena seca, y se mezclan, el material se endurece en cierto tiempo y resulta un molde duro. Este curado puede acelerarse mediante la aplicación de calor. La mezcla de resina es costosa, por eso se utiliza, para dar forma a una cáscara alrededor del modelo. Esta cáscara es soportada con arena seca que ocasionalmente se usará como material completo de moldes si la parte es muy pequeña.

Fundición a presión.

Para obtener piezas fundidas de buen acabado, lo cual reduce la necesidad de un posterior maquinado, se pueden usar moldes de metal con el metal fundido alimentado a presión. Estas técnicas se limitan a materiales con bajo punto de fusión, porque de otra manera, puede haber fusión entre el metal que se vacía y el molde.

Esta técnica de fundición en moldes de metal se conoce como “fundición a presión”. No se utiliza modelo, ya que la parte interna de los moldes se maquina al perfil deseado, que son básicamente de dos partes que se separan para liberar la parte fundida. Se utilizan pernos expulsores para garantizar la separación de la parte fundida del molde.

Existen varios procesos para fundición a presión. El que más se utiliza es el de inyección a presión. Aquí el metal fundido es forzado a presión para entrar en el molde.

La clasificación y explicación más detallada de los conceptos de fundición a presión con molde permanente se analiza en el **capítulo 3, FUNDICIÓN A PRESIÓN**.

Fundición a baja presión.

En el proceso de fundición a baja presión, el molde de metal se coloca sobre un horno de inducción. Se introduce un gas inerte a crisol del horno, y esto empuja al metal fundido hacia arriba por un alimentador hasta el molde, en donde se enfría. Se puede aplicar vacío al molde para ayudar al llenado y eliminar aire atrapado. La pieza fundida es densa, sin inclusiones ni oxidación, y de buena precisión dimensional. El tiempo de ciclo es razonablemente rápido, teniendo pocos excedentes de material que se usan para la alimentación de la pieza y eliminación de defectos, que se reciclan.

Fundición por gravedad.

En éste método, el molde metálico se afianza y se calienta y posteriormente el metal se vacía directamente en el molde. No se utiliza presión, aún cuando el molde puede estar provisto con un cuello largo para obtener una columna de metal que será un depósito de metal caliente y una pequeña columna de presión para ayudar a eliminar las contracciones.

Fundición hueca.

Es una variante del proceso de fundición por gravedad. Se vacía metal fundido en el molde, que luego se invierte para permitir que escurra cualquier metal que no se haya enfriado en el dado y resulta una pieza fundida hueca, cuyo grosor de paredes dependerá de la rapidez de enfriamiento del molde

Fundición por compresión.

Aquí una cantidad predeterminada de metal se vacía en el molde y se introduce un émbolo en la cavidad, forzando el metal contra las paredes de la cavidad. Cuando el metal está frío se quita el émbolo y se abre el molde, y se obtiene así una pieza fundida que presenta un hueco con forma del émbolo utilizado.

Fundición centrífuga.

Se emplea para obtener tubos y piezas semejantes. Aquí cuele una cantidad medida de metal fundido en un molde giratorio, y la fuerza centrífuga lo extiende de manera homogénea alrededor de las paredes del molde.

Moldes de yeso o de cerámica.

Se han perfeccionado procesos en donde se utilizan moldes de yeso o de cerámico. El material del molde se selecciona para adaptarse a las necesidades de

temperatura del material fundido, y para obtener un molde que retenga estabilidad dimensional y resista la erosión del metal líquido durante el vaciado.

Fundición a la cera perdida.

El modelo que se utiliza para preparar el molde se hace de cera o, a veces, de plástico. Los moldes preparados se calientan en un horno poco a poco para secar el refractario y derretir la cera, posteriormente se aumenta la temperatura para hornear el refractario y quemar cualquier residuo de cera. Después de esto, se reduce la temperatura para obtener una temperatura del molde adecuada para la colada.

REFERENCIAS

- [1] Mikell P. Groover, **Fundamentos de Manufactura Moderna**, Editorial Mc Graw Hill, Tercera edición 2007, Cap. 1,6,11.
- [2] Lennart Bäckerud, **Solidification Characteristics of Aluminum Alloys**, Volume 2 Foundry Alloys, AFS/SKANALUMINIUM, Sweden 1990, Cap. 5.
- [3] Marcel Wermelinger Instructor, **Metallurgy**, Buhler Druckguss AG, Uzwil 1999, Curso Marzo 2002.
- [4] Amstead, B.H., PH Ostwald, **Procesos de Manufactura**, Versión SI, Ed. CECSA, 13ª reimpresión, México, 1998.

CAPÍTULO 2

FUNDICIÓN A PRESIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN.

A mediados del siglo XIX se originaron las modernas máquinas de fundición a presión en moldes permanentes, las raíces de su invención están en las necesidades de la industria editorial, para satisfacer a una población letrada, cada vez más grande y ávida de lectura. El linotipo, inventado y desarrollado por O. Mergenthaler [1] en las últimas décadas del siglo XIX, es una máquina que produce tipos de imprenta. Se dice que es una máquina de fundición porque funde una línea de caracteres a partir de un metal en este caso plomo para usarse en las placas de imprenta. El nombre linotipo deriva del hecho que la máquina produce una línea de tipos (caracteres) durante cada ciclo de operación. La máquina se usó por primera vez con éxito comercial en la ciudad de Nueva York por el diario The Tribune en 1886.

El linotipo demostró la capacidad y velocidad de las máquinas de fundición mecanizadas. La primera máquina de fundición a presión en molde permanente la patentó H. Doehler [1] en 1905. En 1907, E Wagner desarrolló la primera máquina de fundición a presión en molde permanente que utilizaba el diseño de cámara caliente. Se usó primero durante la Primera Guerra Mundial para fundir partes para binoculares y mascarillas contra gas.

Las operaciones de fundición en molde permanente a presión se llevan a cabo en máquinas especiales. Las máquinas modernas de fundición están diseñadas para mantener un cierre de las dos o más partes del molde así como un control total de todo el ciclo, mientras el metal fundido permanece a presión dentro de la cavidad.

2.2 APLICACIONES.

La fundición a presión es el método preferido para hacer piezas complicadas, de metales no ferrosos (tales como aleaciones de Aluminio, Zinc, Magnesio), para artículos de producción en masa, como automóviles (cabezas de motor o bloques de motor que pueden llegar a pesar más de 30 Kg.), artefactos domésticos, motores de fuera de borda, herramientas de mano, herrajes para edificios, piezas electrónicas, interruptores eléctricos, equipo periférico de computadoras, máquinas de oficina, equipo óptico y fotográfico, juguetes, etc.

2.3 CANTIDADES RENTABLES PARA PRODUCCIÓN [2].

Para producción en grandes cantidades, el costo de las herramientas está en relación con el precio de la pieza; en estos casos, la fundición a presión es la que presenta mayores ventajas respecto a la inversión, cuando el costo de los moldes se debe amortizar con un número pequeño de piezas, hay que evaluar con detenimiento los costos totales, incluso de maquinado, con respecto a los costos en que se incluiría con otros procesos de

manufactura. A menudo, un total de 5000 a 10000 piezas puede justificar el costo de los herramientas.

Los moldes para fundición a presión son costosos; cuanto más elevadas sean su exactitud dimensional y los detalles especificados en los planos. Un molde sencillo de inyección para una pieza pequeña sin complicaciones puede tener un costo moderado; un molde integrado para una pieza compleja, como la caja de una transmisión automática para vehículo, puede llegar a costar cientos de miles de dólares.

La duración de los moldes, por su costo, es un factor económico importante. En el caso normal, un molde para piezas de aluminio o magnesio dura aproximadamente 125000 inyecciones, uno para zinc trabajará un millón o más y uno para latón solo servirá para entre 5000 y 50000 inyecciones, según sea el peso de la pieza y el material del molde.

2.4 DEFINICIÓN [1].

El proceso de fundición a presión consiste en inyectar metal líquido en una cavidad de un molde de acero a alta velocidad y alta presión.

Las velocidades de inyección pueden ir desde los 20 hasta los 90 m/s y las presiones desde los 100 hasta los 1200 bar, por lo cual el tiempo de llenado de la cavidad se realiza en milésimas de segundo los rangos oscilan entre los 10 y 200 milisegundos.

Los moldes son normalmente fabricados de acero H13 y es necesario mantener una temperatura del orden de los 150 a los 250 °C, para una adecuada producción de piezas.

2.5 VENTAJAS DEL PROCESO [3].

- Alta producción de partes por hora.
- Bajo costo en comparación con otros procesos de fundición.
- Los diseños pueden reducir operaciones de maquinado y ensamble.
- Buen control dimensional de las piezas, esto es que es repetible el proceso.
- Excelentes superficies de acabado
- Buenas propiedades mecánicas.
- Se pueden producir piezas con espesores de pared muy delgadas.

2.6 DESVENTAJAS DEL PROCESO.

- Las piezas a realizar tienen una limitación en cuanto a tamaño (Máquina en la cual se va a inyectar el producto, fuerza de cierre y tamaño del molde).
- Requieren de una alta inversión inicial para la fabricación de los moldes.
- Se requiere esperar largo tiempo para la primera producción de piezas.
- Se requieren grandes volúmenes para que el proceso sea rentable.
- Los defectos por aire atrapado, gas y contracciones, así como porosidad pueden prevalecer en la parte con lo que se reducen sus propiedades mecánicas.

2.7 CLASIFICACIÓN.

Existen dos tipos principales de máquinas de fundición a presión, 1) de cámara caliente y 2) de cámara fría; la principal diferencia radica en la forma en que se inyecta el metal en la cavidad.

2.8 MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE CÁMARA CALIENTE

En las máquinas de cámara caliente, el metal se funde en un recipiente adherido a la máquina y se inyecta en el molde usando un pistón de alta presión. Las presiones típicas de inyección son de 1000 a 5000 lb/pulg² (7 a 35 MPa). La fundición se resume en la figura 2.1. Son velocidades características de producción de hasta 500 partes por hora. La fundición en cámara caliente impone una dificultad especial en el sistema de inyección, porque gran parte de dicho sistema queda sumergido en el metal fundido. Por esa causa, las aplicaciones del proceso quedan limitadas a metales de bajo punto de fusión que no atacan químicamente al pistón y a otros componentes mecánicos. Estos metales incluyen al zinc, al estaño, al plomo y a algunas aleaciones de magnesio.

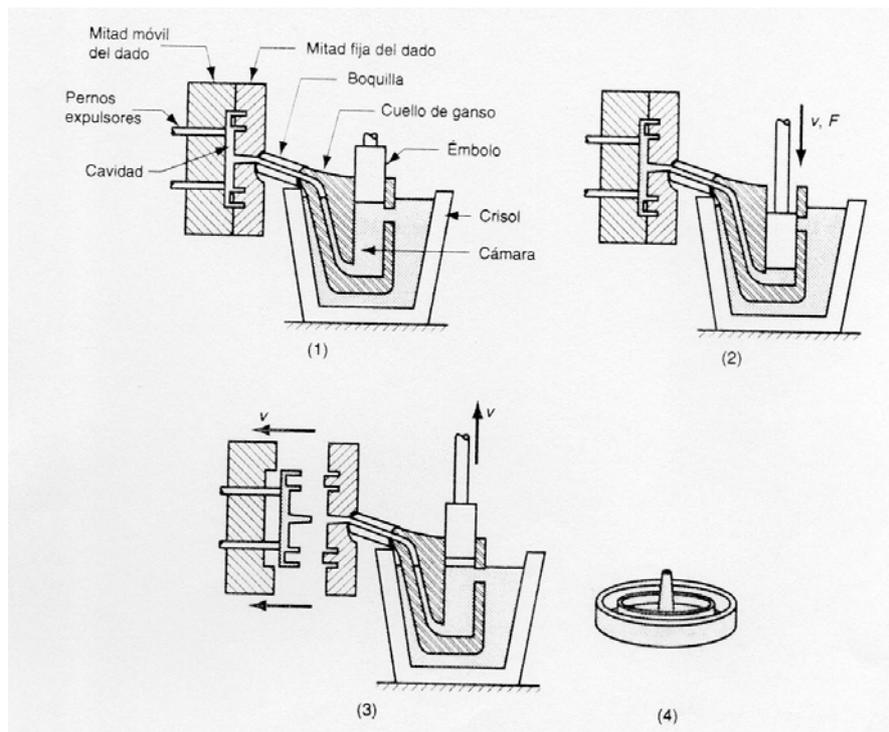


Figura 2.1 [1], el ciclo de fundición en cámara caliente: (1) el metal fluye en la cámara con el molde cerrado y el émbolo levantado; (2) el émbolo fuerza al metal de la cámara a fluir hacia la cavidad, manteniendo la presión durante el enfriamiento y la solidificación, y (3) se levanta el émbolo, se abre el molde y se expulsa la parte solidificada. La parte terminada se muestra en (4).

2.9 MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE CÁMARA FRÍA.

En las máquinas de fundición a presión en cámara fría, el metal fundido procedente de un contenedor externo, se vacía en una cámara sin calentar y se usa un pistón para inyectar el metal a alta presión en la cavidad del molde. Las presiones de inyección usadas en estas máquinas van típicamente de 2000 a 20000 lb/pulg² (14 a 140 MPa). La velocidad del ciclo no es tan rápida con respecto a las máquinas de cámara caliente, debido a que es necesario un sistema de dosificación del metal líquido desde una fuente exterior de la cámara. Sin embargo, este proceso de fundición es una operación de alta producción. Las máquinas de cámara fría se usan típicamente para fundiciones de aluminio, latón, y aleaciones de magnesio. Las aleaciones de bajo punto de fusión (zinc, estaño, plomo) pueden también fundirse en estas máquinas de cámara fría, pero las ventajas del proceso de cámara caliente favorecen más el uso de estos metales.

Los moldes que se usan en operaciones de fundición en molde permanente se hacen generalmente con aceros de herramienta y acero para moldes refractarios. El tungsteno y el molibdeno con buenas cualidades refractarias también se utilizan, especialmente en los intentos para fundir el acero y el hierro en moldes permanentes. Los moldes pueden tener una cavidad o múltiples. Además requieren de pernos expulsores para remover la parte del molde cuando éste se abre. Estos pernos empujan la parte de manera que puedan removerse de la superficie del molde. También es necesario rociar lubricante en las cavidades para prevenir el pegado de la parte.

Como los materiales del molde no tienen porosidad natural y el metal fluye rápidamente en la cavidad durante la inyección, se deben construir barrenos o vías de paso en el plano de separación del molde para evacuar el aire y los gases de la cavidad. Aun cuando los orificios son bastante pequeños, se llenan con el metal durante la inyección, pero este debe quitarse después. También es común la formación de rebaba en lugares donde el metal líquido a alta presión penetra entre los pequeños espacios del plano de separación o en los claros alrededor de los insertos y de los pernos de expulsores. La rebaba debe cortarse de la fundición junto con los excedentes y el sistema de alimentación.

2.10 FUNDICIÓN A PRESIÓN CON CÁMARA FRÍA.

En esta sección se explicará a detalle la fundición a presión con recámara fría, que es la que se utiliza en la simulación de la parte propuesta para este trabajo.

En la figura 2.2 se muestran las partes de una máquina de inyección a presión con cámara fría.

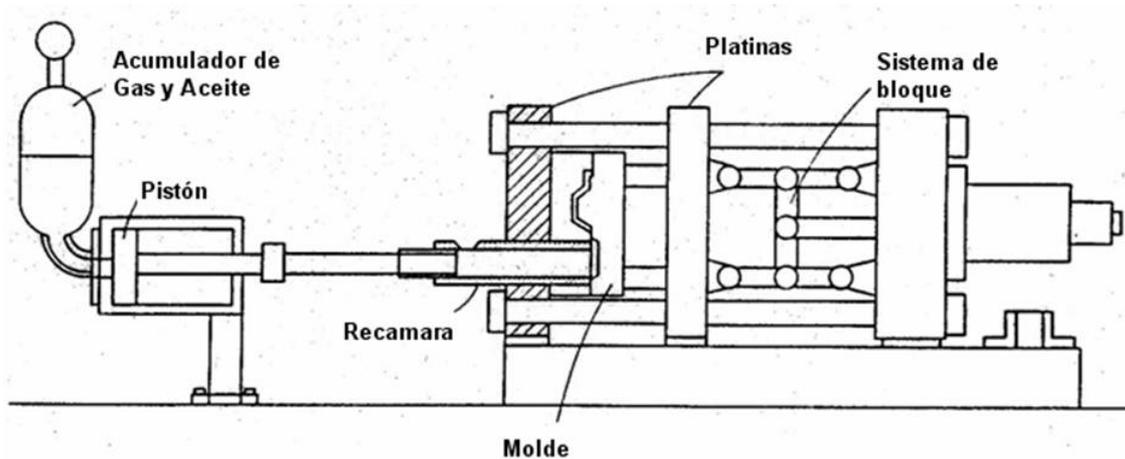


Figura 2.2. Máquina de inyección a presión de cámara fría [4].

De lo que está constituida principalmente una máquina de inyección a presión, es de un sistema de sujeción y presión para el molde, un pistón y un sistema para presionar el metal dentro de la cavidad, las máquinas actuales cuentan con un control completo y muy detallado de todas las partes y variables de inyección.

2.11 ETAPAS DE INYECCIÓN.

Las etapas en el proceso de fundición a presión en molde permanente son las siguientes:

ETAPA 1

El molde está cerrado, el pistón en posición inicial, y el metal es vaciado en la cámara por algún dispositivo de dosificación, figura 2.3.

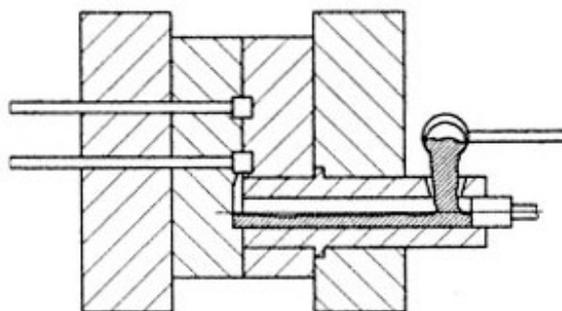


Figura 2.3. Vaciado del metal en la cámara de inyección [4].

ETAPA 2

Se inicia el movimiento del pistón hasta que la cavidad se llena con el metal líquido y posteriormente se incrementa la presión hasta que se solidifica la parte, figura 2.4.

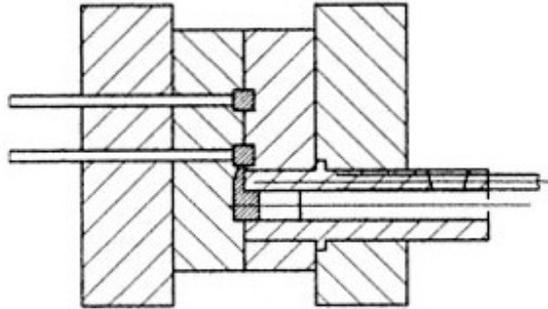


Figura 2.4. Llenado de la cavidad [4].

ETAPA 3

La solidificación de la parte está completa, el molde se abre y los pernos expulsores sacan la pieza de la cavidad móvil, figura 2.5.

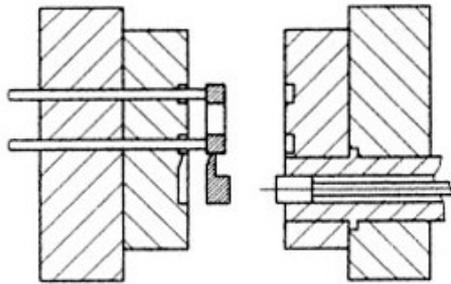


Figura 2.5. Apertura y expulsión de la parte [4].

ETAPA 4

La etapa siguiente es sólo para preparar el molde para la siguiente inyección, y consiste en aplicar lubricante mezclado con agua y aire.

El llenado y la solidificación de la pieza se pueden ver en los siguientes diagramas de velocidad, presión y recorrido del pistón contra el tiempo.

En la primera fase de llenado se dosifica el metal en la cámara, figura 2.6, las curvas de velocidad y presión del pistón (figura 2.7) se incrementan muy poco, ya que en esta etapa debe ser muy lenta la carrera del pistón para no provocar turbulencia y atrapar aire, que pueden provocar graves problemas a la parte en etapas posteriores de la inyección.

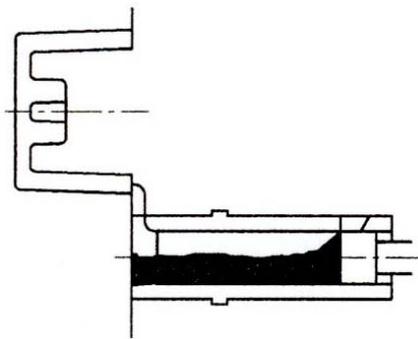


Figura 2.6. El metal es colocado en la cámara [4].

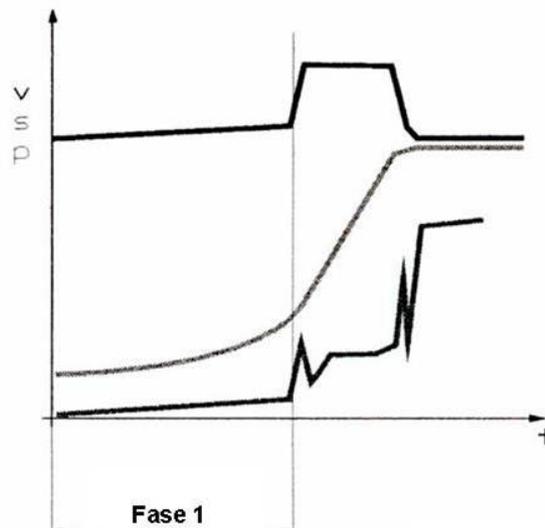


Figura 2.7. Curvas representativas del proceso, indicando de arriba hacia abajo primero esta la de velocidad, recorrido, y finalmente la presión del pistón con respecto al tiempo [4]

En esta etapa de llenado, es importante hacer notar la relevancia de una adecuada evolución del llenado de la cámara, para lo cual muchas máquinas modernas de inyección a presión cuentan con funciones específicas para el llenado correcto de esta etapa, en la figura 2.8 se muestra un llenado convencional donde se atrapa aire y uno utilizando una función del control para un llenado adecuado denominada optimizada, eliminando la turbulencia y el aire atrapado (Esta función la tienen las máquinas modernas).

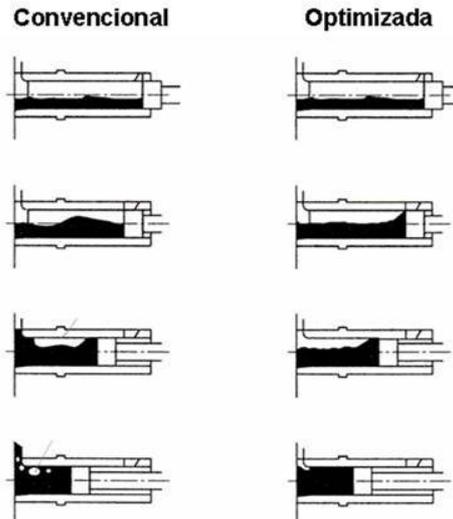


Figura 2.8. Fase uno llenado adecuado de la cámara de inyección [4].

La siguiente fase es el llenado de la cavidad en la cual el metal se encuentra en la zona de ataque de la pieza, la velocidad aumenta rápidamente igual que la presión.

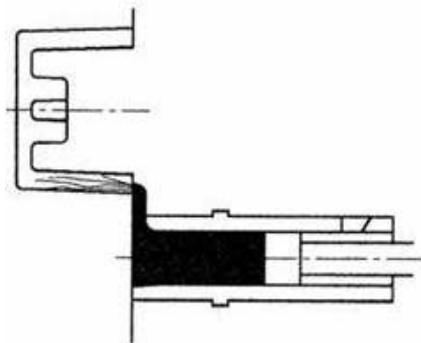


Figura 2.9. Fase dos llenado de la cavidad, se muestra el inicio de llenado del metal en la cavidad [4].

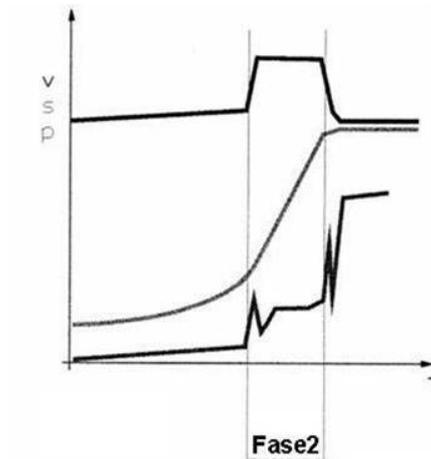


Figura 2.10. Fase dos curvas representativas, de abajo hacia arriba muestra la presión y la velocidad con un incremento en un corto desplazamiento (S) del pistón [4].

La fase tres es la intensificación de presión, en esta etapa la cavidad está llena, la velocidad del pistón decrece y la presión se incrementa para compactar la pieza, hasta su solidificación, el pistón llega a su carrera máxima en la inyección.

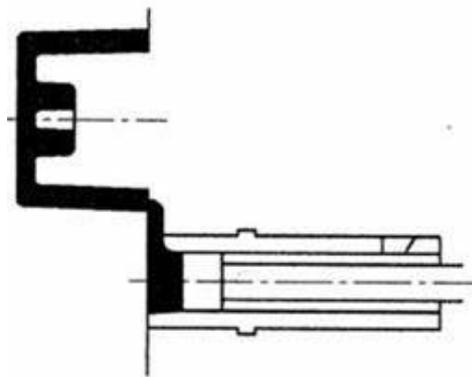


Figura 2.11. Fase tres compactación de la parte, muestra el llenado total de la cavidad [4].

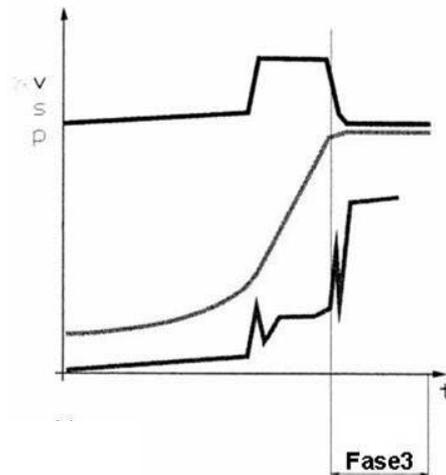


Figura 2.12. Fase tres compactación, muestra las curvas de presión, desplazamiento y velocidad, en esta etapa se compacta el metal hasta su solidificación [4].

2.12 CICLO COMPLETO DEL PROCESO DE INYECCIÓN.

En la tabla 2.1 podemos apreciar de manera resumida todas las etapas involucradas en un ciclo del proceso de inyección a presión.

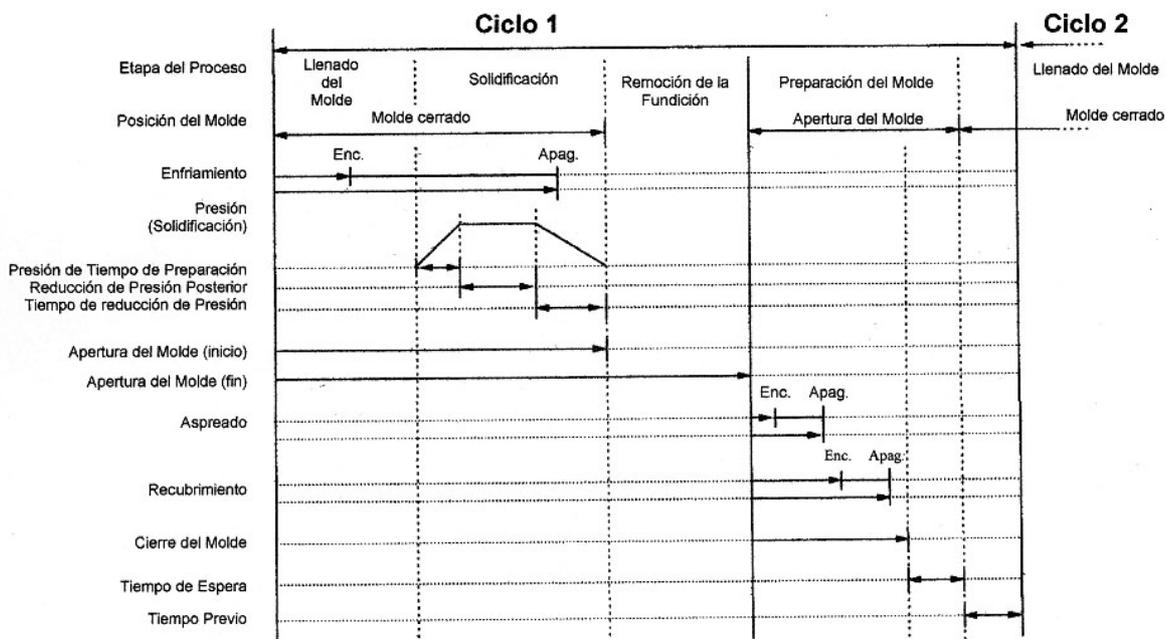


Tabla 2.1. Ciclo completo del proceso de inyección a presión [4].

Como podemos apreciar en la tabla 2.1 de manera gráfica las etapas de un ciclo completo, la tabla se divide en tres secciones principales, la primera es cuando el molde se encuentra cerrado, esto implica el llenado de la cavidad, el incremento de la presión para compactar la pieza y la solidificación de la pieza, la siguiente etapa es la remoción de la fundición ó colada al accionar los pernos expulsores del molde, la ultima etapa son los preparativos del molde para la siguiente inyección, que principalmente son lubricar y refrigerar las partes del molde, así como de asegurarse de que el molde no tenga residuos de la aleación del ciclo anterior y se encuentra listo, cerrándose en la parte final de esta etapa y preparado para el siguiente ciclo.

En este capítulo se explico el proceso de inyección a presión, así como su clasificación, es necesario conocer todos lo aspectos que involucran el proceso para poder realizar una adecuada inyección y simulación que es el objetivo de este trabajo.

REFERENCIAS

[1] Mikell P. Groover, **Fundamentos de Manufactura Moderna**, Editorial Mc Graw Hill, Tercera edición 2007, Cap. 11.

[2] James G. Bralla, **Manual de Diseño de Productos para Manufactura Guía Práctica para Producción a Bajo Costo**, Tomo II, McGraw Hill, Traducción de la 1a edición en ingles, Impreso en México 1993

[3] Larry Kopka Instructor, **Introduction to Die Casting**, Curso Septiembre 2001, DaimlerChrysler

[4] Marcel Wermelinger Instructor, **Mold Die Casting Design (Manual)**, Buhler Druckguss AG, CH-9240 Uzwil 1998, Curso Octubre 2001.

CAPÍTULO 3

MOLDES DE INYECCIÓN A PRESIÓN PARA METALES

3.1 PARTES DEL MOLDE CAVIDAD FIJA.

Se considera la cavidad fija al lado fijo del molde, la cual no se mueve y se sujeta en la platina de la máquina (Figura 3.1).

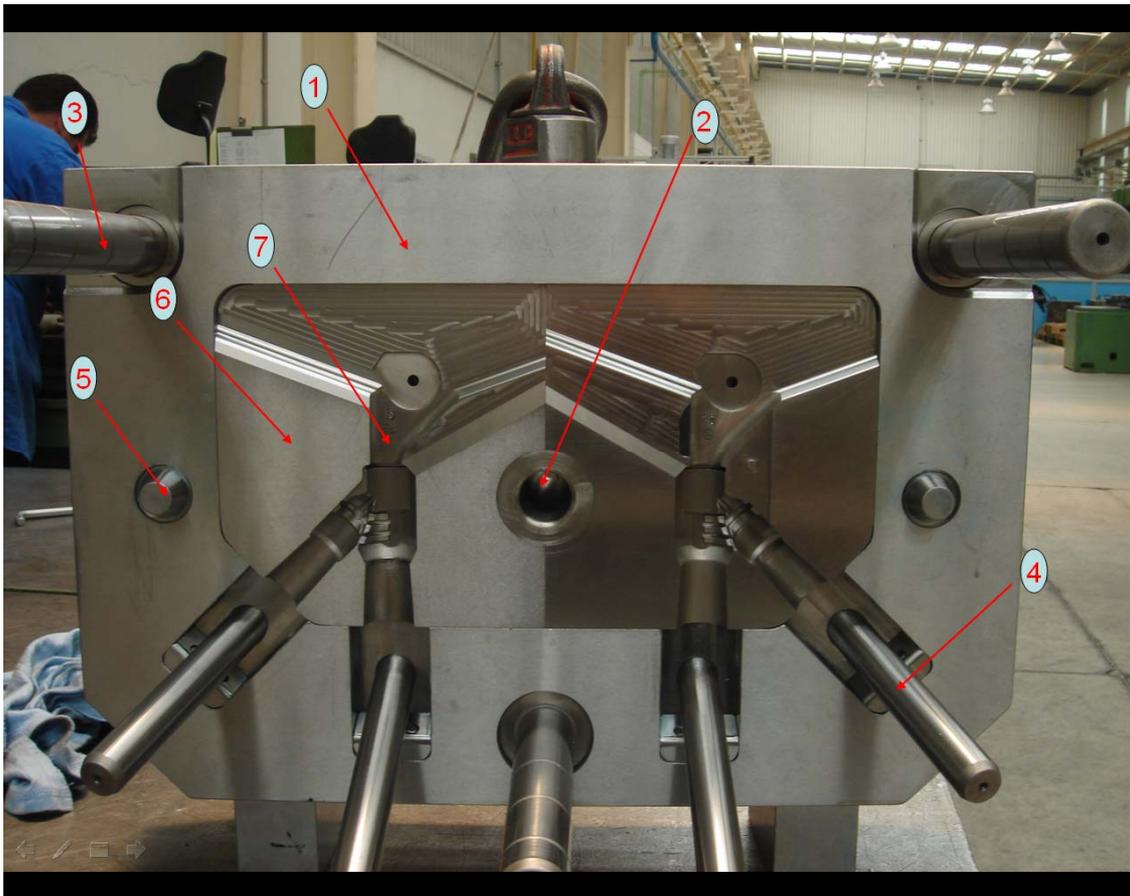


Figura 3.1 Muestra las partes del molde cavidad fija [2].

Para esta imagen se van a describir las partes de un molde de inyección a presión para Zamak 5 (aleación de Zinc-Al) para máquina de cámara caliente las cuales presentan algunas diferencias la principal está en el canal de comunicación de la cámara al molde que para la aplicación de cámara fría es diferente (punto 2 de la imagen), aun cuando las partes en general son las mismas.

1.- Porta molde lado fijo; Tiene la función de contener todas las partes del molde del lado fijo así como la sujeción a la platina fija de la máquina.

2.- Canal central de alimentación; para este caso se conecta directamente con el canal de la recamara del sistema de dosificación y para el caso de cámara fría es la parte final de la recamara de inyección (conocida en el gremio de fundidores como galleta), tiene la función de distribuir la aleación a los canales de alimentación y debe estar calculada y diseñada para no generar problemas con turbulencia y poder aportar el material para compactar adecuadamente la pieza.

3.- Columnas guías; sirven de guía entre la parte fija y la móvil comúnmente se tienen cuatro columnas en este caso en particular tenemos solo tres por la configuración geométrica de las piezas a producir.

4.- Columnas guías de los insertos, sirven para guiar los insertos mecánicos en el caso de insertos hidráulicos solo se presenta la cavidad donde se aloja el pistón o bien el pistón mismo según sea el requerimiento del producto.

5.- Registros de cierre; ayudan al ajuste final de las dos cavidades para la perfecta alineación de estas.

6.- Cavidad del producto lado fijo; son las que forman la geometría del producto del lado fijo, estas pueden dividirse en más de una depende de la cantidad de piezas y la complejidad de la geometría, ya que muchas veces estratégicamente se segmentan en más de dos piezas para facilitar su reemplazo, reparación o mantenimiento, en la figura 3.1 se muestran dos.

7.- Maquinados del producto lado fijo; es donde se encuentra la geometría del perfil del producto del lado fijo y donde hay que prestar especial cuidado, desde el acabado, dureza, etc.

3.2 PARTES DEL MOLDE CAVIDAD MÓVIL.

La cavidad móvil, es como su nombre lo dice es el lado móvil del molde, el cual se mueve, abriendo y cerrando con el sistema de cierre de la máquina de inyección (Figura 3.1), a continuación se describen las partes del lado móvil.

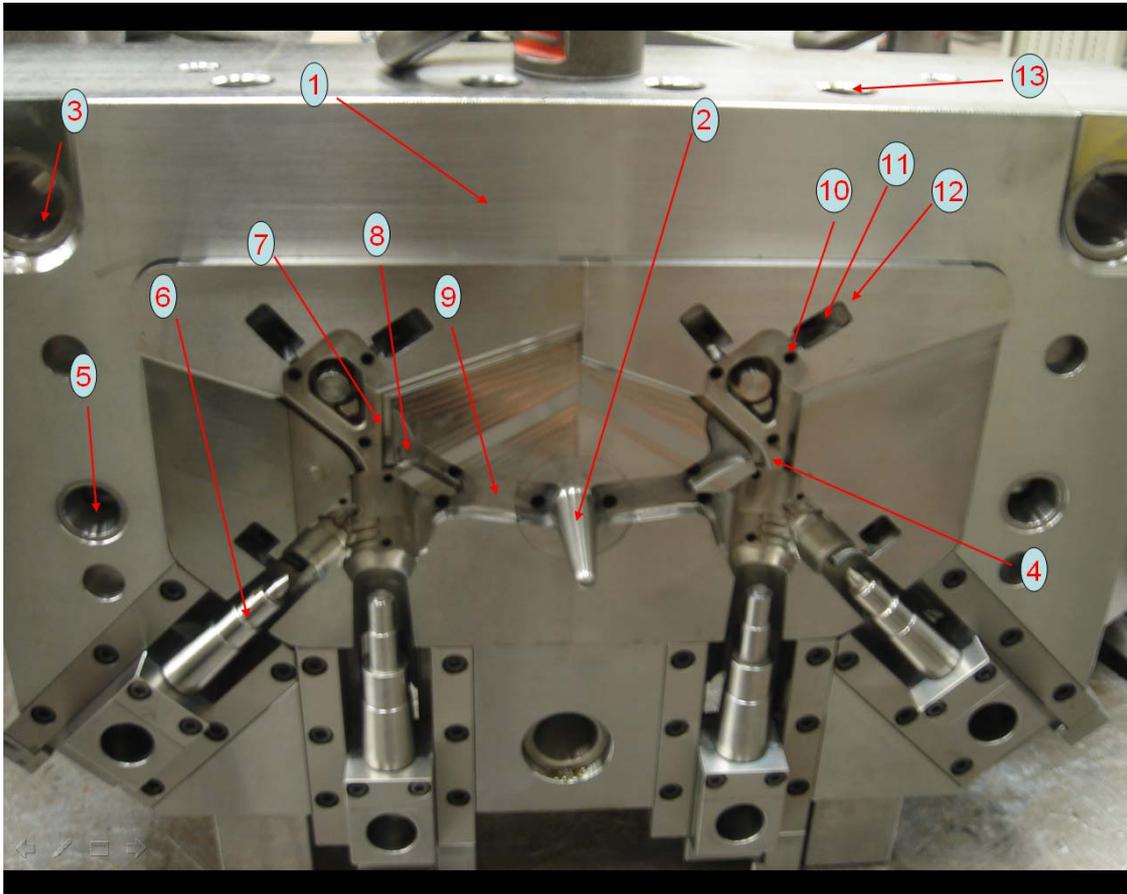


Figura 3.2 Muestra las partes del molde de la cavidad móvil [2].

1.- Porta molde lado móvil; tiene la función de contener todas las partes del lado móvil y sujetarse a la platina móvil de la máquina.

2.- Difusor; Tiene la función de dividir el flujo a los canales de alimentación de las piezas a producir, para el caso de cámara fría no existe un divisor de este tipo el flujo se dirige en un sólo canal que asciende del final de la cámara y se distribuye a los diferentes canales.

3.- Bujes guías; funcionan para guiar las columnas de la parte fija, cabe hacer notar que no siempre se presenta esta configuración, es decir es posible que los bujes y otros componentes del molde se encuentren en el lado móvil.

4.- Maquinado del producto lado móvil; es donde se encuentra el perfil de la pieza del lado móvil.

5.- Registros de cierre; ayudan a guiar el cierre final del molde.

6.- Insertos mecánicos; son los encargados de formar la geometría interna de la pieza, en este caso son pernos, los insertos hidráulicos cumplen la misma función sólo que su movimiento esta controlado por pistones hidráulicos.

7.- Entradas de material; son la unión entre los canales y el producto, es donde se presentan las máximas velocidades ya que el llenado de la pieza debe ser rápido pero que no cause problemas de turbulencia o erosión, se diseñan para cumplir con estas variables y una separación facial y con la menor área de marcas entre el sistema de alimentación y la pieza.

8.- Canales de alimentación; la función es conducir la aleación del canal principal hacia las entradas de material.

9.- Canal principal; este canal comunica al divisor con los canales de alimentación o bien en el caso de cámara fría el canal central.

10.- Pernos de eyección o botadores; la función es expulsar la colada completa de la cavidad móvil, estos se encuentran en todas las partes que componen la colada, es decir canal central, canal principal, canales de alimentación, piezas, y excedentes de material, la cantidad depende del producto y el diseño del molde.

11.- Excedentes de material; el objetivo es eliminar problemas que se puedan presentar en la pieza, como aire atrapado, material frío, óxidos e impurezas, la cantidad depende de la complejidad de la pieza y del concepto de inyección, la unión con la pieza es similar a las entradas de material para facilitar su desprendimiento.

12.- Salidas de aire; la función principal es expulsar el aire contenido en la cavidad y lograr un adecuado funcionamiento de los excedentes de material.

13.- Conexiones para las líneas de refrigeración y calefacción; ayudan a la regulación de la temperatura del molde tanto para aumentar la temperatura como para disminuirla y se encuentra tanto en la cavidad fija como en la móvil y pueden estar en cualquier lado de los porta moldes.

Las partes aquí mencionadas son sólo las más comunes ya que existen muchas otras aplicaciones especiales y como ya se mencionó la posición de algunos componentes puede variar de acuerdo a las necesidades de diseño y fabricación del producto a realizar.

3.3 DEFECTOS COMUNES EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN A PRESIÓN.

TIPOS DE DEFECTOS.

En este punto se explicarán los defectos más comunes que existen en el proceso de fundición a presión, estos defectos se presentan tanto en el tipo de cámara fría como en el de cámara caliente, lo más importante es contar con la mayor cantidad de información respecto al defecto, es decir, una explicación breve del defecto, y toda la información relevante a cerca de las variables que pueden afectar el proceso de fundición a presión, como serian, parámetros de la máquina (programa de inyección), operador, cavidad en la cual se presenta el problema, frecuencia del defecto, hora a la cual se presentó, temperatura del molde, etc.

Es importante conocer la mayor cantidad de información para poder encontrar la causa del problema, estos se dividen principalmente en defectos externo e internos.

3.4 DEFECTOS EXTERNOS.

Los defectos externos son comúnmente visibles en la superficie de la pieza, aun cuando pueden existir en la parte interna, existen diferentes categorías dependiendo del proceso de fundición que se utilice.

La clasificación de estos defectos los podemos encontrar en la literatura con diferentes nombres dependiendo del lugar geográfico aun cuando describen el mismo problema.

Los principales problemas externos son:

1.- Flujo frío.- Este defecto es usual, referido al flujo del metal y se caracteriza por irregularidades en la superficie de la fundición cuando alguna o algunas zonas presentan problemas con la unión de dos o más flujos de metal, estos problemas pueden ser debidos a metal frío, molde frío, tiempo de llenado prolongado o mal diseño del sistema de alimentación.



Figura 3.3 Defecto de flujo frío [1].

2.- Marcas durante la eyección.- Se reconocen por las marcas en el producto como son rayones, principalmente se deben a falta de ángulos de salida en algunas secciones o bien problemas con material adherido o soldados al molde.



Figura 3.5 Marcas en la extracción de la pieza [1].

3.- Grietas en el herramental.- Son fisuras en el herramental que afectan directamente el acabado de la pieza las causas son fatiga térmica, erosión, tratamiento térmico inadecuado que se traduce en una dureza no adecuada para las cavidades, canales de refrigeración muy cercanos a la superficie.



Figura 3.6 Grietas en el herramental [1].

4.- Llenado incompleto.- Es problema de llenado y es cuando alguna o algunas áreas de la cavidad no llenan debido a algunas de estas causas, baja temperatura de la aleación, molde frío o áreas en el molde muy frías, tiempo de llenado muy lento, geometría complicada, paredes delgadas, mal diseño del sistema de alimentación, áreas de ataque mal calculadas o mal ubicadas.

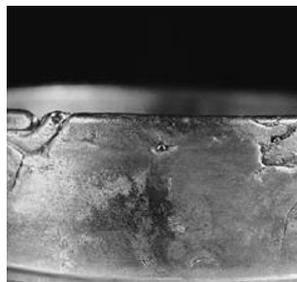


Figura 3.7 Llenado incompleto [1].

5.- Líneas de flujo.- Son marcas visuales debidas a la solidificación de la superficie de la cavidad que atrapan lubricante, óxidos o alguna otra sustancia del proceso, en general son solo problemas de apariencia, se pueden controlar con una mejor dosificación del lubricante, ajustar la velocidad de llenado, control de la aleación, metal frío, molde frío, tiempo del ciclo muy lento.



Figura 3.8 Líneas de flujo [1]

6.- Laminación.- Se puede detectar como su nombre lo indica, observando pequeñas láminas en la superficie de ciertas áreas que se pueden o no desprender, resultados de la solidificación de la superficie de la cavidad mientras el resto aun esta líquida y en proceso de llenado, normalmente se controla con un adecuado control de la curva de inyección, ajustar las áreas de ataque o canales de alimentación.

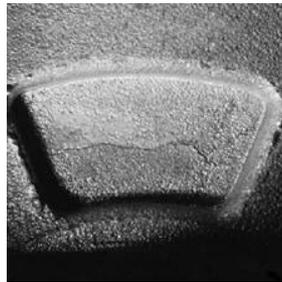


Figura 3.10 Laminación [1].

7.- Erosión por flujo a alta velocidad en las zonas de entrada.- Se observan como protuberancias, debida principalmente por un mal diseño de las entradas de material o una velocidad excesiva del pistón de inyección, la superficie de la cavidad se erosiona y causa turbulencia y aire atrapado, así como defectos superficiales.

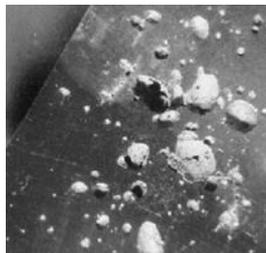


Figura 3.11 Erosión por alta velocidad [1].

8.- Deformación por eyectores.- Esos problemas son fácil de identificar ya que las marcas se deben a un mal ajuste de los pernos de eyección o botadores en bajo relieve, sobre relieve o fugas de material, pueden presentarse en cualquier parte de la colada, otra causa puede ser un mal diseño del sistema de eyección o de la pieza en los ángulos de salida resultando en grandes fuerzas que causarían estas deformaciones.

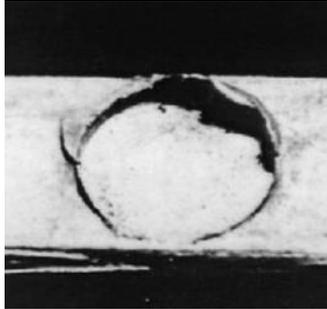


Figura 3.12 Deformación por pernos de eyección [1].

9.- Ampollas por gas atrapado.- Algunas causas son problemas debido a turbulencia en el proceso de llenado por mal diseño de las áreas de entrada, mal diseño de los canales, mala optimización de la pieza, gas atrapado en la aleación por algunos componentes de la aleación, exceso de lubricante, fugas de refrigerante o aceite de calefacción en las cavidades y se identifican por protuberancias.



Figura 3.13 Ampollas por gas [1].

10.- Porosidad por turbulencia (aire atrapado).- Las posibles causas pueden ser las mismas que para las ampollas solo que el problema se presenta como un cráter en la superficie de la pieza.



Figura 3.14 Porosidad superficial [1].

11.- Olas y lagos.- La solidificación superficial mas rápida de ciertas zonas de la aleación que entran en contacto primero con algunas áreas de la cavidad del molde causan este tipo de defecto superficial, se observan como líneas o áreas de diferente color y acabado, en realidad la diferencia se presenta en el tamaño, algunas causas son la velocidad de llenado, la temperatura y composición química de la aleación y del molde.

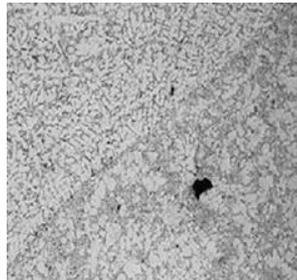


Figura 3.15 Olas y lagos [1].

12.- Contracción.- Una de las propiedades físicas de los metales es que ocupan más volumen en estado líquido que sólido y esto se manifiesta en problemas de contracción, algunas de las causas son, mal diseño de las secciones de ataque, canales y en general sistema de alimentación, mala optimización de las piezas para ser manufacturadas en estos proceso con paredes muy gruesas o áreas con concentración de material excesivas, se pueden identificar por depresiones en la superficie.



Figura 3.16 Contracción [1].

13.- Soldado.- Es cuando en la pieza o en el molde encontramos algún defecto por adhesión de otro material diferente, es decir la pieza presenta material del molde y viceversa, esto puede ser causado por algún agente externo en la aleación, defectos superficiales en el acabado del molde o el tratamiento térmico de las cavidades, exceso de temperatura en el molde o la aleación, fracturas en el molde.

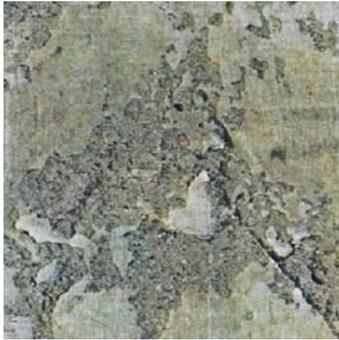


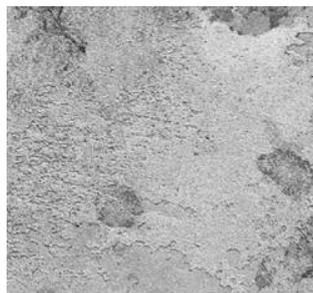
Figura 3.17 soldado [1].

14.- Fracturas en las piezas.- Normalmente se presentan por esfuerzos residuales en el proceso de solidificación de la pieza, principalmente debidos a un mal diseño de la pieza o el molde, otras veces es debido a malos acabados superficiales de las cavidades y deficientes tratamientos superficiales.



Figura 3.18 Fracturas en las piezas [1].

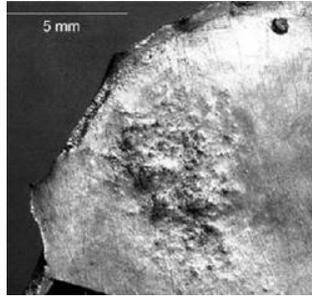
15.- Impurezas.- Se deben principalmente a agentes extraños en la aleación o el lubricante, causando desde problemas estéticos (manchas) hasta funcionales.



Figuras 3.19 Impurezas [1].

16.- Erosión en las cavidades.- La erosión de las cavidades no siempre se presenta en las áreas de ataque que por diseño es donde se presentan las máximas velocidades, se pueden presentar en otras áreas de la cavidad debidas principalmente a un mal diseño del

producto, tiempo de llenado muy corto (velocidad alta), alta temperatura de la aleación, alta temperatura del molde.



Figuras 3.20 Erosión en la cavidad [1].

17.- Deformaciones geométricas.- Se identifican cuando la pieza o alguna sección de esta se encuentra deformada, alguna de las siguientes causas pueden ser el mal diseño estructural de la pieza y ángulos de salida, los esfuerzos residuales por el proceso de solidificación, un diseño deficiente del sistema de extracción tanto en cantidad como en posición, paredes demasiado delgadas.

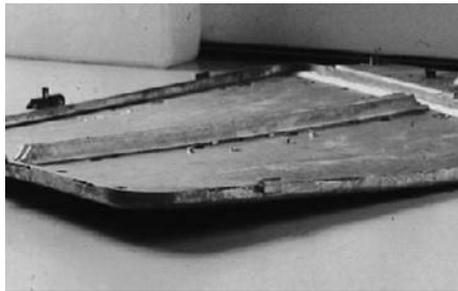


Figura 3.21 Deformaciones geométricas [1].

19.- Porosidad por excedentes de lubricantes y otros materiales.- al igual que los problemas por aire atrapado o turbulencia estos problemas generan cráteres, la diferencia está en la coloración, dependiendo del material o el tipo de lubricante se esté usando.

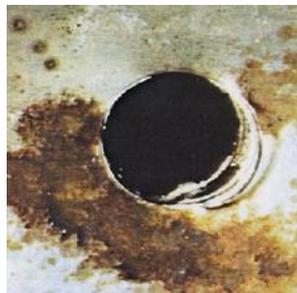


Figura 3.22 Porosidad por lubricantes y otros materiales [1].

20.- Fugas.- El problema consiste en excedente de material en toda la línea de división de las piezas y la colada, generalmente este es causado por una deficiente fuerza de cierre en el molde, una velocidad de inyección muy rápida, una fase de compactación con demasiada presión, o bien que el molde tenga problemas de sello.

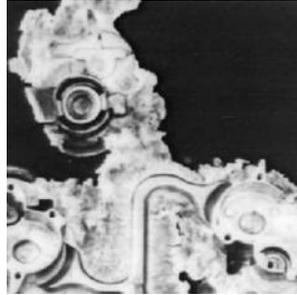


Figura 3.23 Problemas de sello del molde, fugas [1].

3.5 DEFECTOS INTERNOS.

Los defectos internos como su nombre lo dice no son visibles en la superficie de la pieza, existen diferentes categorías dependiendo del proceso de fundición que se utilice.

Los principales problemas internos son:

22.- Porosidad por flujo, aire y contracción.- es igual que los problemas de aire atrapado la diferencia es que aquí no salen a la superficie se quedan en la parte interna de la pieza, las causas principales son una mala optimización de la pieza, paredes muy gruesas o zonas de acumulación de material, los podemos encontrar también en las últimas zonas de llenado, y se pueden controlar ajustando al curva de inyección, áreas de ataque, diseño del sistema de alimentación, adición de excedentes de material, salidas de aire.

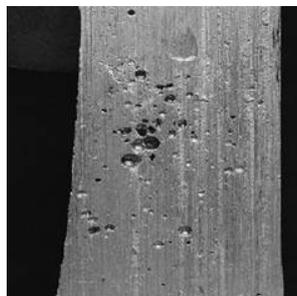
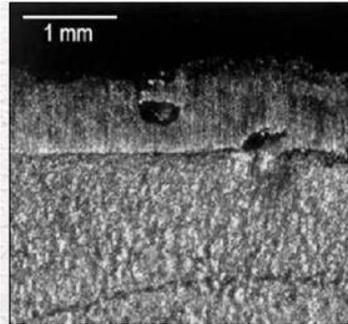


Figura 3.24 Poros por aire atrapado en el llenado [1].



Figuras 3.25 Poros por contracción [1].

23.- Inclusiones.- Principalmente se encuentran en la aleación, si la pieza es sometida a otros procesos de manufactura se pueden presentar problemas ya que regularmente estos materiales son muy duros y al maquinarse alguna superficie pueden ocasionar la ruptura o daño de las herramientas.



Figura 3.26 Inclusiones [1].

24.- Formación de hojuelas.- Se deben a las solidificaciones prematuras de la superficie de contacto con la cavidad que se desplazan a la parte interna de la pieza, los problemas más críticos se presentan en las propiedades mecánicas ya que no se tiene una unión adecuada en los granos en ciertas zonas, se puede controlar monitoreando la zona en temperatura y adicionando o ajustando los excedentes de materiales y salidas de aire de estas secciones, así como también incrementar la temperatura de la aleación.

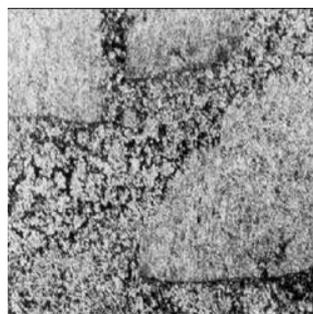


Figura 3.27 Formación de hojuelas [1].

25.- Lagos interiores.- En algunos casos cuando los problemas de porosidad son muy críticos y hay secciones de concentración de material se forman grandes cráteres con ángulos agudos debidos a la contracción del material durante el proceso de solidificación, es posible controlar estos problemas ajustando la curva de inyección, los sistemas de alimentación, optimizando la pieza o adicionando excedentes de material cerca de las zonas con problemas así como también salidas de aire.

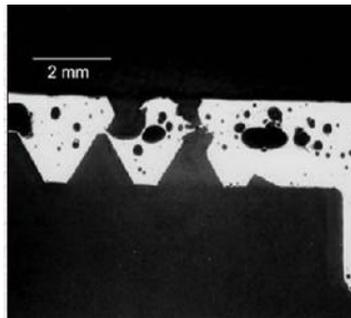


Figura. 3.28 Lagos internos por contracción [1].

A continuación se describen algunos factores que tienen relación con los problemas de fundición, son mencionados en secuencia de mayor a menor importancia de acuerdo a los que tienen mayor efecto en la mayoría de defectos antes mencionados tanto externos como internos, no son todos pero se consideran que son los más relevantes.

Espesor de pared - Un espesor de pared promedio (2 mm) es usado para la mayoría de las piezas fundidas a presión, el espesor de pared es un factor crítico para los defectos superficiales.

Forma de la fundición - La geometría de la parte, la distancia y algunas condiciones de la pieza son factores críticos en el flujo de material.

Tiempo de llenado – El tiempo que tarda en llenar completa la cavidad de metal fundido.

Patrón de Flujo – El patrón de flujo es determinado por el diseño del sistema de alimentación o colada, y la geometría de la parte.

Temperatura del molde – La temperatura de la superficie del molde cuando el metal fluye por éstas.

Temperatura del metal – La temperatura del metal cuando entra al molde.

Velocidad del metal en la colada – La velocidad del metal cuando entra a los canales.

Metalurgia – El efecto de los constituyentes de la aleación en las propiedades de la pieza y en el proceso de llenado y solidificación (capítulo 1).

Sistema de salida de aire – La eficiencia del molde en relación al aire y a los gases atrapados. Esto concierne directamente a la porosidad, aun cuando este problema repercute en el flujo de material, presión de aire en la cavidad y aire atrapado, para este punto en particular hay una técnica especial de inyección, que lo que se adiciona es una bomba de vacío y desde luego el molde se prepara para un sellado hermético, la finalidad es extraer todo el aire contenido en las cavidades y sistemas de alimentación para reducir los problemas de porosidad por aire atrapado, el costo tanto en los equipos adicionales de proceso y control así como las características especiales del molde, resultan en un proceso mucho más costoso y sólo se aplica bajo ciertas condiciones que el producto lo requiera y amerite esta inversión adicional.

Es importante mencionar que las características de calidad de una pieza pueden variar de una inyección a otra, ya que la temperatura del molde, así como la presión de inyección tienen pequeñas variaciones que pueden afectar la calidad de las piezas producidas, el tema de defectos y soluciones es muy extenso y solo se explicaron los más representativos de estos puntos para dar un panorama general.

REFERENCIAS

[1] NADCA, **Die Casting Defects, Causes and Solutions**, 9701 West Higgins Road, Suite 880, Rosemont, IL 60018, USA, Electronically Edition 2005.

[2] Imágenes de molde, Empresa Bocar Querétaro 2006.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN MOLDE DE FUNDICIÓN A PRESIÓN.

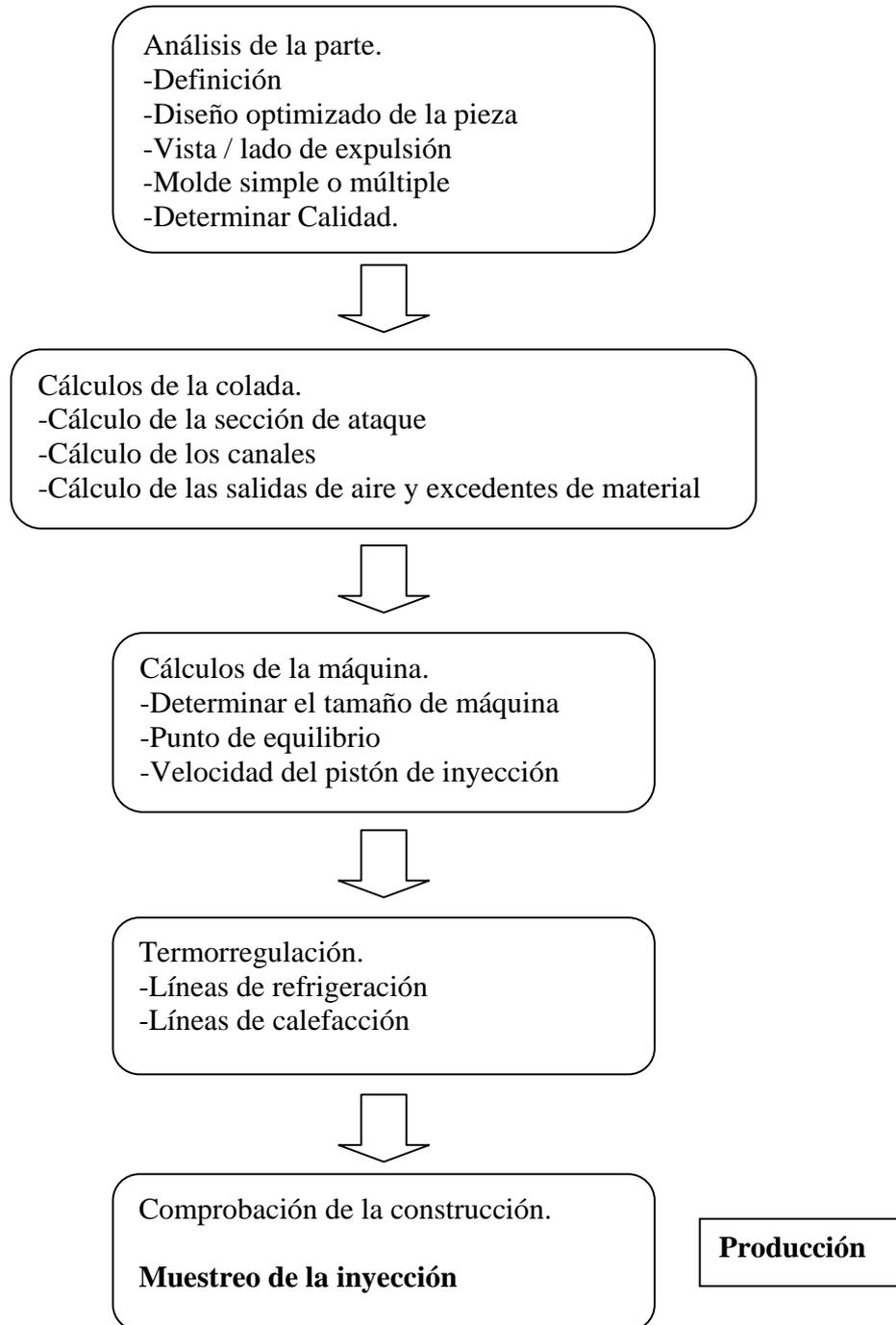


Figura 4.1. Muestra la secuencia de análisis para producir una pieza en fundición a presión.

4.1 ANÁLISIS DE LA PARTE.

En este punto es muy importante saber los requerimientos del cliente, esto es para qué sirve la pieza (esta sometida a esfuerzos estructurales), qué requerimientos debe tener para un adecuado funcionamiento (requiere alguna prueba especial) y así lograr un adecuado diseño del molde.

Una vez analizada esta información se procede al concepto de molde, determinando cual será la parte fija, cual la parte móvil, si es necesario colocar insertos y de que tipo serán, cuantas cavidades en base al volumen requerido por el cliente, que aleación se utilizara, así como identificar zonas críticas, para colocar salidas de aire o algún otro dispositivo para la eliminación de posibles problema. Es conveniente en ésta etapa la optimización de la pieza, eliminando probables problemas durante la fundición (ángulos de salida, ahorradores de material, condiciones geométricas no deseadas en el molde, etc.).

Definir que calidad requiere la pieza a fabricar, es una pieza que esta sometida a cargas o es necesario que la pieza sea hermética, este punto repercute directamente en el cálculo de la potencia para la máquina que se requiere en la fabricación de la parte ya que a mayores requerimientos mayor será la presión de inyección y por ende mayor será la fuerza de cierre de la máquina.

4.2 CÁLCULO DE LA COLADA

SECCIÓN DE ATAQUE.

El paso siguiente es obtener la sección de ataque, así como el área por dónde se desea llenar la pieza (la figura 4.3 muestra la sección de ataque). La ecuación para obtenerla es la siguiente:

Sección de ataque S_A

$$S_A = \frac{V_A}{V_{MA} * t_F} = \frac{m_A}{\rho * V_{MA} * t_F} \quad \text{----- (Ecuación 4.1) [1].}$$

En donde:

S_A = Sección de entrada o ataque en [mm^2]

V_A = Volumen a partir del ataque en [cm^3]

V_{MA} = Velocidad en la zona del ataque en [m/s]

t_F = Tiempo de llenado en [s]

m_A = Peso a partir del ataque en [g]

ρ = densidad del aluminio en estado líquido [2.43 g/ cm^3]

La velocidad de ataque se puede determinar bajo las siguientes consideraciones de los fabricantes de máquinas de inyección a presión, tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tabla de velocidades de inyección [1].

Metal de inyección.	Velocidad	Tipo de inyección
Aluminio	20 – 60 [m/s]	Estándar
	15 –30 [m/s]	Vacío
Zinc	30 –50 [m/s]	Estándar
Magnesio	40 –90 [m/s]	Estándar

Para el tiempo de llenado de la pieza existe una pequeña tabla que sirve como guía para seleccionar un tiempo adecuado de llenado, esta selección toma el criterio del mínimo espesor de pared [P] que existe en la pieza, tabla 4.2:

Tabla 4.2. Tiempos de llenado de acuerdo al mínimo espesor de pared de la pieza [1].

P [mm]	t_F [milisegundos]
1.5	10 – 30
1.8	20 – 40
2.0	20 – 60
2.3	30 – 70
2.5	40 – 90
3.0	50 – 100
3.8	50 – 120
5.0	60 – 200

4.3 CÁLCULO DE CANALES DE LA COLADA.

Una vez establecidas la o las zonas de entrada de material se procede al cálculo de los canales de alimentación, para ello existen algunas recomendaciones de los fabricantes.

El canal que alimenta una sección de ataque debe tener la siguiente sección transversal, así como el perfil, como se muestra en la figura 4.2 y 4.3.

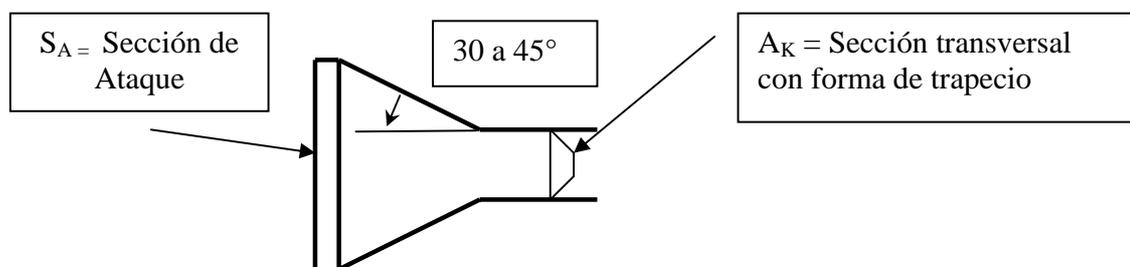


Figura 4.2. Vista de planta de una sección de la colada [1].

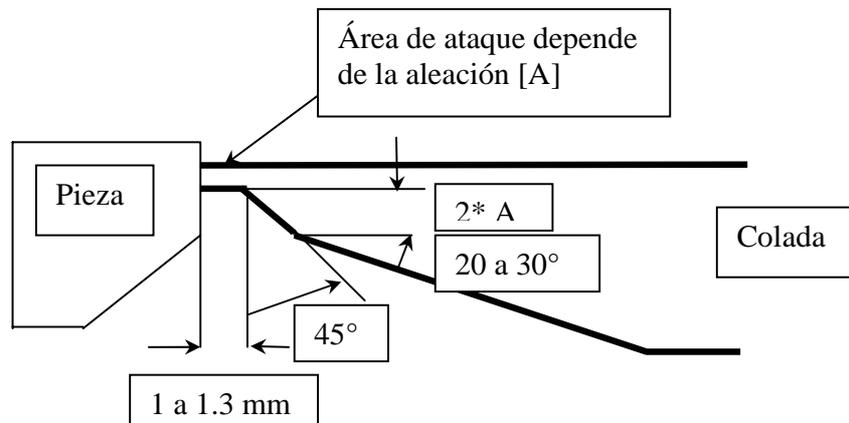


Figura 4.3: Vista de perfil de una sección de la colada [1].

$$A_K = (1.8 \text{ a } 2.5) * S_A \text{ ----- (Ecuación 4.2) [1].}$$

El valor de 1.8 se usa cuando la aleación sea aluminio y la de 2.5 cuando sea magnesio, se utilizan estos valores para garantizar que la velocidad en los canales es cuando menos 40% menor que la del ataque, para evitar problemas de turbulencia y erosión por alta velocidad.

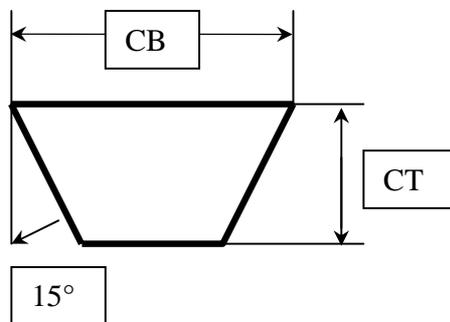


Figura 4.4: Sección transversal de un canal de alimentación [1].

$$CB = 1.5 \text{ a } 2.5 * CT \text{ ----- (Ecuación 4.3) [1].}$$

La relación anterior se representa en la figura 4.4, donde el valor de 1.5 se usa cuando la parte requiere de una mayor presión en la fase de compactación y el valor de 2.5 se utiliza cuando se requiere mayor velocidad en el llenado de alguna sección de la pieza, la razón de este tipo de diseños es por la manufactura del canal en el molde ya que si se analiza desde el punto de vista de dinámica de fluidos una sección circular se comporta mucho mejor que una sección del tipo trapezoidal como es la forma común de

los canales de alimentación, la razón es costos y tiempo de maquinado ya que para una sección circular es necesario maquinar dos medios círculos uno en cada cavidad del molde y para el tipo trapezoidal sólo se requiere el maquinado de una sola cavidad del molde, tratando de compensar con la geometría de la sección transversal para lograr un adecuado comportamiento dinámico de la aleación.

Otro punto importante es que cuando se requiera de un cambio de sentido o sección transversal en el canal, este debe ser lo más suave posible en cuanto a los radios que se utilizan, ya que de no ser así se pueden presentar problemas por turbulencia y aire atrapado por un cambio de sentido muy grande.

4.4 CÁLCULO DE SALIDAS DE AIRE.

El siguiente punto a calcular son las secciones de salida de aire que se requieren, para éste se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_V = Q_M / 200 \text{ ----- (Ecuación 4.4) [1].}$$

Donde:

S_V = Sección de salida de aire [mm^2]

Q_M = Caudal [cm^3/s]

El factor de 200 [m/s] es el límite de velocidad que el aire alcanza a la salida de la cavidad.

Para el cálculo de Q_M

$$Q_M = \frac{m_A}{\rho * t_F} \text{ ----- (Ecuación 4.5) [1].}$$

Con este valor de sección de salida de aire se procede a calcular el número de excedentes de material (se denominan excedentes de material como su nombre lo dice a pequeñas cantidades de material dispuestas en el perímetro de la o las piezas que se colocan con el fin de eliminar turbulencia, óxidos, material frío, etc.) que es donde se localizan las salidas de aire. El espesor de la salida de aire se establece de acuerdo a que aleación se usa para la fabricación de la parte, ya que si es muy grande la salida de aire se pueden presentar fugas de material en el molde o inclusive fugas líquidas de material por estas secciones, con una relación lineal se puede conocer el número mínimo de excedentes de material que requiere la pieza, cabe hacer notar que no todos los excedentes de material llevan salida de aire esto es principalmente por que muchas veces la geometría del molde no lo permite, aunque lo ideal es que todos la tengan.

En este punto es importante hacer mención de algunos beneficios y criterios de cómo seleccionar el tamaño de los excedentes de material para eliminar los defectos de fundición.

- Los excedentes de material de gran volumen tienen un efecto limpiador de óxidos, material frío y aire atrapado, etc...
- De preferencia deben tener una salida de aire al exterior del molde en donde lo importante es el espesor de conexión con la pieza de acuerdo a la aleación utilizada.
- Los excedentes de material de gran volumen también funcionan para transferir calor a ciertas zonas donde se presentan enfriamientos de material.
- Se recomienda que todos los excedentes de material cuenten con un perno expulsor para que no se presenten problemas con material atorado en la cavidad que puede provocar muchos problemas en la producción, por lo cual se recomienda que las entradas de los excedentes de material sean del orden de 1.0 a 2.0 mm para que este quede adherido a la pieza.

Un criterio que manejan los fabricantes de máquinas de inyección a presión es que los excedentes de material no excedan el 15 % del peso de la pieza, aunque esta recomendación no se cumple al cien por ciento y algunas piezas por su compleja geometría requieren exceder este porcentaje y desde luego esto repercute directamente en el costo de producción de la pieza.

En esta etapa es cuando tiene mayor influencia el uso de un software de simulación ya que brinda las herramientas para modificar y llegar a un diseño adecuado de la colada y los excedentes de material, así como para la ubicación de los canales de los sistemas de refrigeración y calefacción necesarios.

4.5 CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA FUNDICIÓN.

El punto de equilibrio es necesario para colocar de manera adecuada el molde en la máquina de inyección, esto se logra calculando el centroide de la o las partes, excedentes de material y colada:

$$Y_s = \frac{\sum Y_i * A_i}{\sum A_i} \text{ ----- (Ecuación 4.6) [1].}$$

Y_s = Centroide en el eje Y

El cálculo del centroide solo se realiza en el eje Y, ya que regularmente los moldes son simétricos con respecto a X y es más crítico la posición del molde con respecto a Y, por la presión que ejerce el pistón de inyección.

4.6 CÁLCULO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN REQUERIDA.

Para determinar que máquina se requiere para la fabricación de la parte, es necesario calcular primero la fuerza de apertura:

$$F_{LI} = \frac{A_{IM} * P_{IM}}{100} \text{ ----- (Ecuación 4.7) [1].}$$

Donde:

F_{LI} = Fuerza de apertura que ejerce la presión de inyección [KN]

A_{IM} = Superficie proyectada [cm^2]

P_{I3M} = Compactación de la parte [bar]

100 = Es un factor que se usa para obtener unidades en [KN]

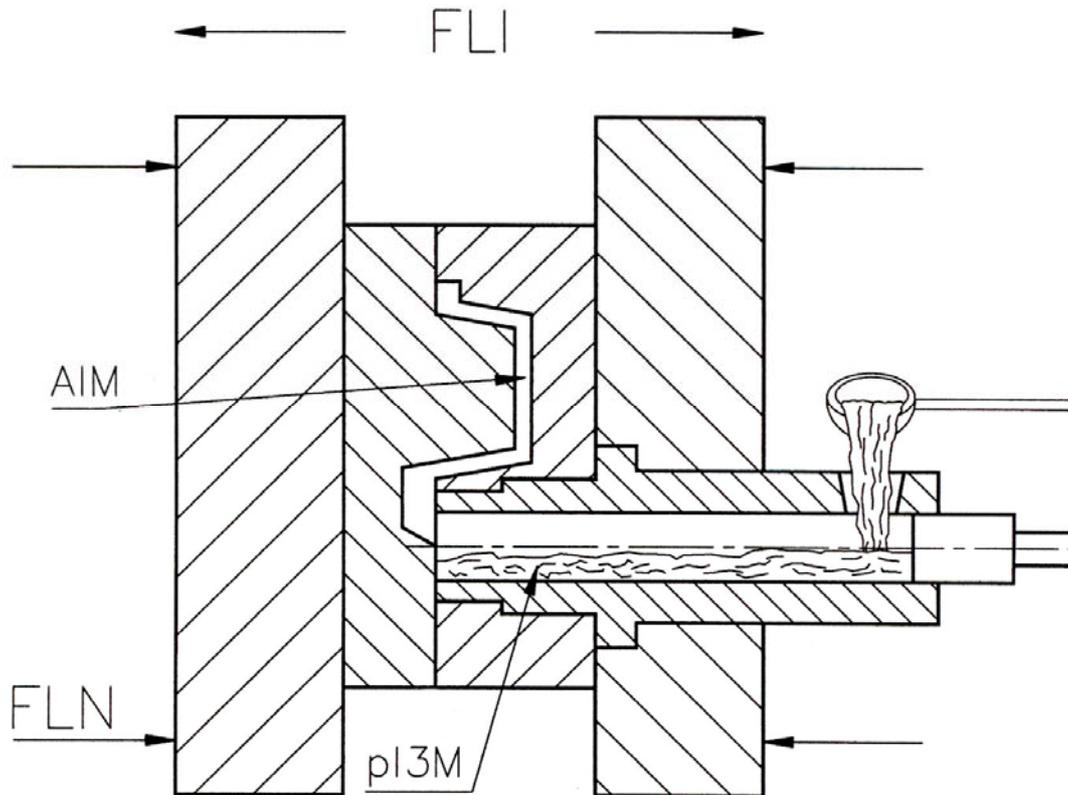


Figura 4.5. Muestra las fuerzas que actúan en el proceso [1].

Para la compactación de la parte se puede tener de referencia la tabla 4.3:

Tabla 4.3. Presión de compactación [1].

P_{I3M} [bar]	Aleación Al, Mg	Aleación Zn	Aleación Latón
Piezas estándar. Sin requerimientos mecánicos.	400 - 600	100 - 200	300 - 400
Piezas técnicas. Con requerimientos mecánicos.	600 - 800	200 - 300	400 - 600
Piezas resistentes a la presión. Con altos requerimientos mecánicos y de presión.	800 - 1000	250 - 400	600 - 1000

4.6.1 FUERZAS EN LOS INSERTOS.

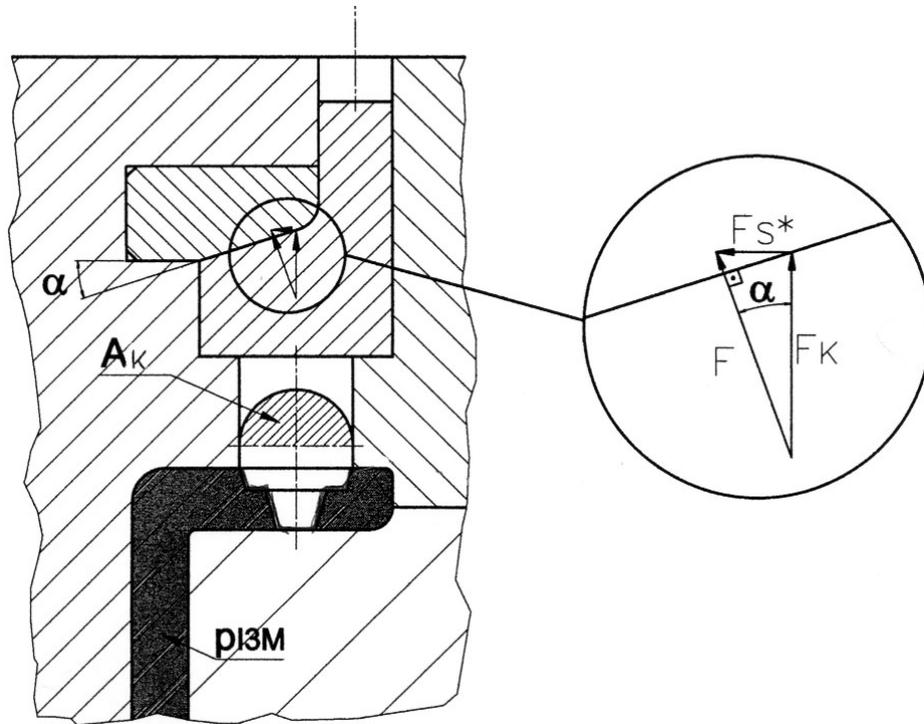


Figura 4.6. Fuerza resultante en los insertos [1].

Esta fuerza es la generada por partes que tienen que ser desmoldadas en direcciones diferentes a las de las cavidades móvil y fija del molde, comúnmente se les conoce como insertos, en la figura 4.6 se muestra el cálculo que finalmente se convierte en una sección proyectada que se suma a la superficie proyectada de la fórmula anterior:

$$\tan \alpha = \frac{F_s}{F_k}$$

Despejando:

$$F_s = F_k * \tan \alpha \text{ ----- (Ecuación 4.8) [1].}$$

Si la fuerza la expresamos de la siguiente manera:

$$\tan \alpha = \frac{A_s * P_{I3M}}{A_k * P_{I3M}}$$

Simplificando:

$$A_s = A_k * \tan \alpha \text{ ----- (Ecuación 4.9) [1].}$$

Para el caso de los insertos existen dos tipos:

4.6.2 INSERTOS MECÁNICOS.

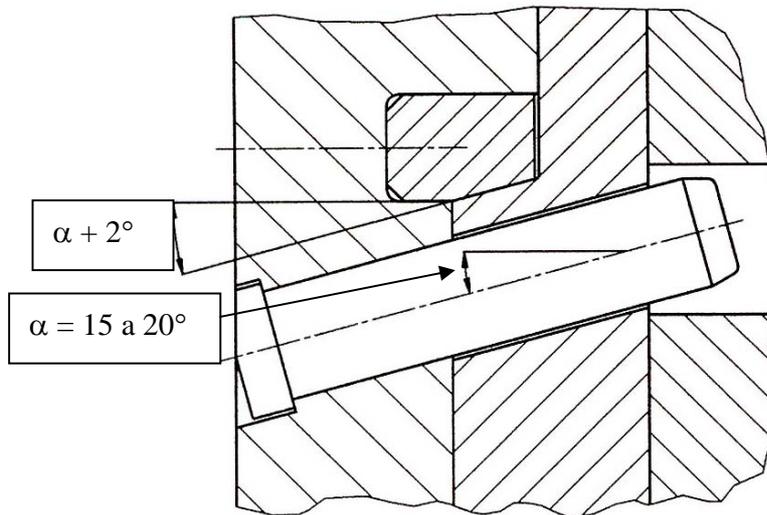


Figura 4.7. Inserto mecánico [1].

La ecuación se reduce a la siguiente expresión:

$$A_s = A_k * 0.3 \text{ ----- (Ecuación 4.10) [1].}$$

4.6.3 INSERTOS HIDRÁULICOS.

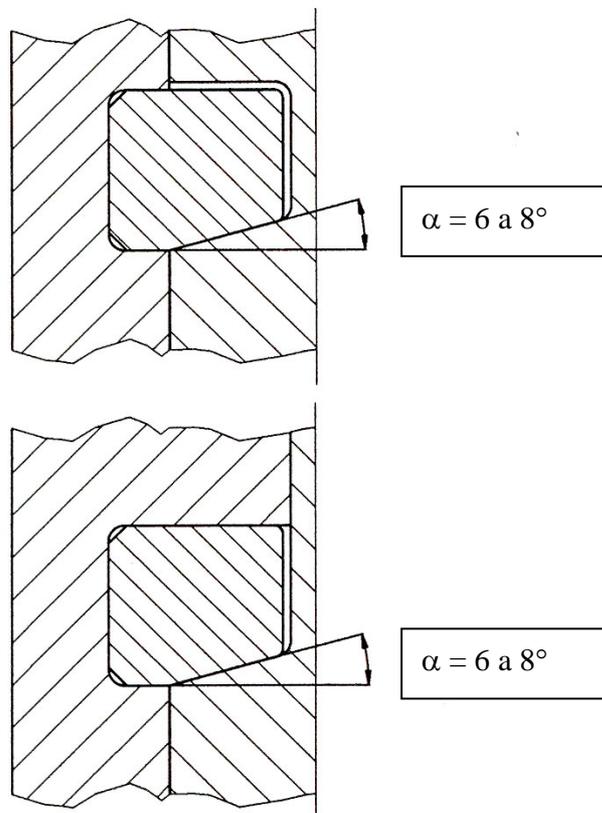


Figura 4.8. Inserto hidráulico.

De igual manera la ecuación se reduce a:

$$A_s = A_k * 0.14 \text{ ----- (Ecuación 4.11) [1].}$$

Una vez calculados estos valores se puede determinar la fuerza de cierre que es la que determina la capacidad de la máquina de inyección a presión que requerimos, la ecuación es la siguiente:

$$F_{LN} = K * F_{LI} \text{ ----- (Ecuación 4.12) [1]}$$

Donde:

F_{LN} = Fuerza de cierre [KN]

K = Es un factor de seguridad.

Cuando no hay insertos es factor de $K = 1.1$

Cuando existen insertos el factor $K = 1.15$

Cuando los insertos son muy grandes el factor $K = 1.2 \text{ a } 1.25$

El cálculo de la capacidad de máquina que se requiere para la parte analizada, se puede realizar simplemente con el área proyectada de la pieza y aplicando un porcentaje por colada y excedentes de material y realizando una aproximación se puede calcular este parámetro desde el principio del análisis de la parte.

4.7 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL PISTÓN DE INYECCIÓN.

Otro parámetro que se puede calcular es la velocidad del pistón de inyección.

$$V_c = \frac{m_A}{\rho * t_F * d_m^2 * \pi/4} \quad [1].$$

Donde:

$$Q_M = \frac{m_A}{\rho * t_F} \quad \text{----- (Ecuación 4.5) [1].}$$

Sustituyendo:

$$V_c = \frac{Q_M}{d_m^2 * \pi/4} \quad \text{----- (Ecuación 4.13) [1].}$$

Donde:

V_c = Velocidad del pistón de inyección.

Este valor sirve como referencia de cual es la velocidad máxima que puede tener el pistón de inyección sin rebasar la velocidad máxima del metal líquido en la zona de entrada del material a la cavidad.

4.8 TERMORREGULACIÓN DEL MOLDE.

El siguiente punto que se trata es la **termorregulación del molde**, en el diagrama 4.9 se muestra la energía suministrada y liberada en el proceso de fundición de inyección a presión:

$$\Delta T = T(\text{inyección}) - T(\text{expulsión}) = 200 \text{ °C} \quad \text{----- (Ecuación 4.14) [1].}$$

200 °C, es la temperatura promedio que debe tener el molde para las aleaciones de aluminio, por supuesto este valor cambia de acuerdo a la aleación.

Como se puede ver el diagrama claramente podemos visualizar cuales aportaciones caloríficas son suministradas en el molde, así como cual es la energía que

libera y de que modo lo hace, estos son los más importante ya que se pueden tener algunas otras pérdidas de calor las cuales no son consideradas.

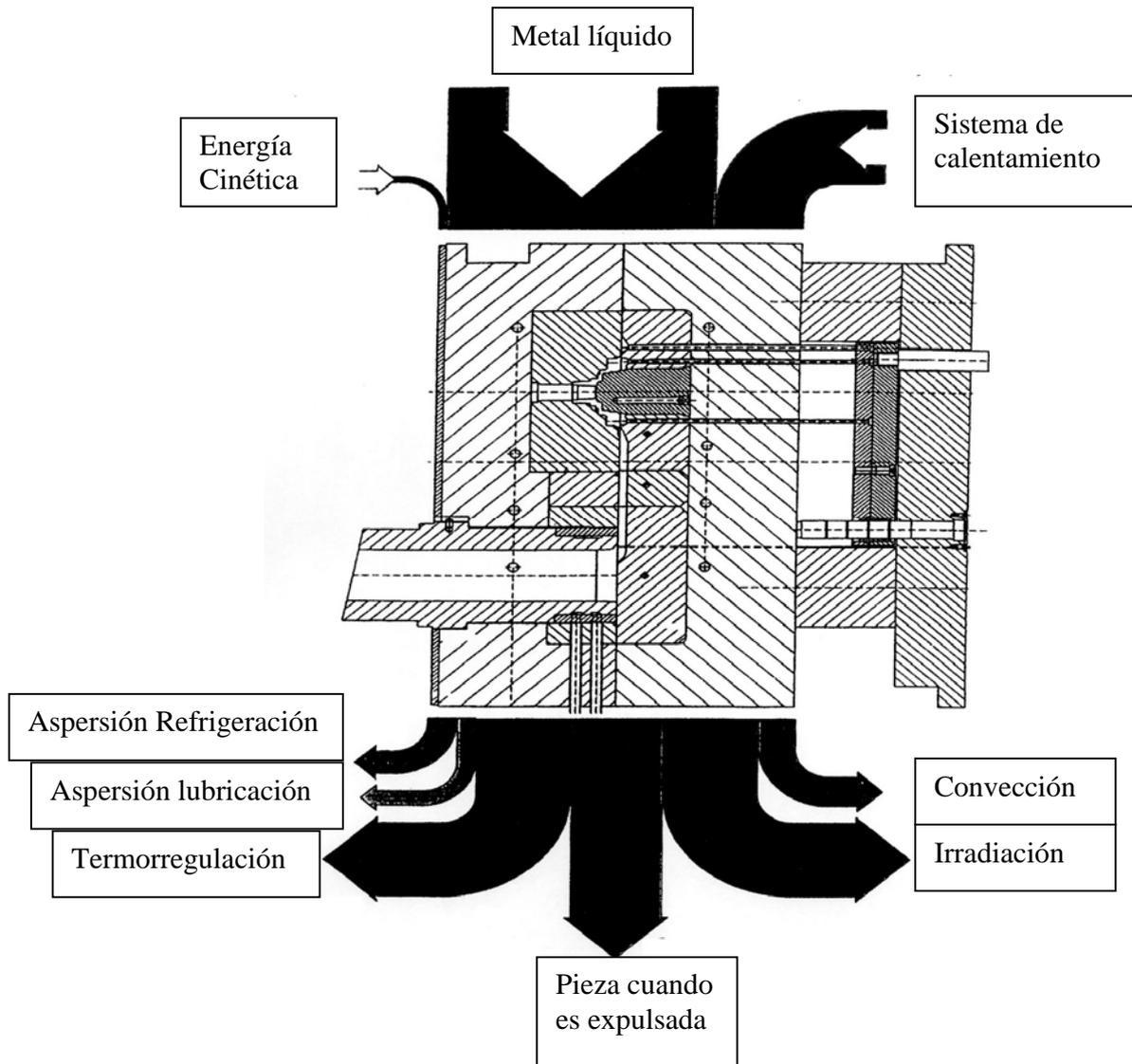


Figura 4.9. Diagrama de Sankey [1].

El cálculo de la regulación térmica del molde se puede hacer tan compleja como se quiera, calculando todas las variables de la transferencia de calor, ya sea por conducción, convección e irradiación, pero para el caso práctico se utiliza un método muy simplificado, y que en la práctica da muy buenos resultados, el método es el siguiente:

Cantidad de calor aportada:

$$Q_a = c * N * ml \text{ ----- (Ecuación 4.15) [1].}$$

Con lo cual:

Q_a = Cantidad de calor aportada [KJ/h]

ml = Peso de la inyección en [kg]

N = Número de inyecciones por hora [S/h]

c = Calor de aleación aportada [KJ/kg]

En aleaciones de AL = 607 KJ/kg

En aleaciones de Cu = 282 KJ/kg

En aleaciones de Zn = 175 KJ/kg

En aleaciones de Mg = 370 KJ/kg

Datos de referencia [1].

Para la cantidad de calor expulsado se simplifica usando las siguientes constantes:

El molde se divide en tres secciones:

Sección 1, zona de refrigeración de la zona de la cámara, donde el pistón compacta la aleación.

Barrenos de refrigeración:

$$\varnothing 13 - 15 = 502 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 9 - 11 = 377 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 8 = 293 \text{ KJ/h}$$

Sección 2, zona de refrigeración de los canales de la colada.

Barrenos de refrigeración:

$$\varnothing 13 - 15 = 502 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 9 - 11 = 377 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 8 = 293 \text{ KJ/h}$$

Sección 3, zona de refrigeración en la cavidad de la parte.

Barrenos de refrigeración:

$$\varnothing 13 - 15 = 251 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 9 - 11 = 188 \text{ KJ/h}$$

$$\varnothing 8 = 146 \text{ KJ/h}$$

Datos de referencia [1].

Una vez calculadas estas variables el resultado de la ecuación siguiente:

$$S = \frac{Q_r}{Q_a} \text{ ----- (Ecuación 4.16) [1].}$$

Donde:

S = Un factor de referencia.

Qa = Capacidad calorífica aportada.

Qr = Capacidad de refrigeración.

El resultado de este cociente debe ser 1.3 o muy cercano a este valor que se considera como un buen equilibrio de energías, que se interpretaría como el calor rechazado debe ser mayor en 30% aproximadamente que el calor adicionado para garantizar que el molde nunca exceda su temperatura de operación.

Estos son los puntos de diseño de un molde más relevantes que pueden ser auxiliados con el uso del software MAGMAsoft.

REFERENCIAS

[1] Marcel Wermelinger Instructor, **Mold Die Casting Design (Manual)**, Buhler Druckguss AG, CH-9240 Uzwil 1998, Curso Octubre 2001.

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN.

5.1 ALCANCES DEL PROGRAMA.

Con el módulo de MAGMAhpc, se puede simular el proceso de inyección a presión. Las variables esenciales de temperatura y condiciones de frontera del fluido son consideradas.

Se pueden simular las siguientes variables:

- Cualquier número de ciclos de fundición.
- Líneas de refrigeración controladas de manera independiente por medio de tiempo o temperatura.
- Líneas de calefacción controladas de manera independiente por medio de tiempo o temperatura.
- Diferentes funciones de control a las diferentes partes del molde, como comportamiento de la transferencia de calor, así como el tiempo de contacto con cada parte del molde.
- La apertura del molde puede ser controlada por tiempo o temperatura.
- Efectos de temperatura en el molde cuando existen aislantes térmicos, pulverización del lubricante, soplado y tiempo de espera.
- Control del cerrado del molde por tiempo o temperatura.
- Definición de las condiciones de llenado por presión en la cámara de inyección o en las zonas de ataque, o por tiempo así como por flujo volumétrico, en este punto es necesaria considerar las particulares condiciones del proceso de inyección a presión que se quiera analizar.
- Definición de diferentes presiones en las diferentes etapas de llenado.
- Cálculo del llenado del molde con condiciones especiales de frontera.

5.2 RESULTADOS QUE SE PUEDEN ANALIZAR.

Se pueden analizar los siguientes resultados:

- Llenado de la cavidad, obteniendo temperatura de la aleación en cualquier tiempo del ciclo y lugar de la colada.
- Comportamiento de partículas del fluido durante el llenado de la cavidad.
- Tiempo de llenado de la pieza.
- Presión de la aleación durante el llenado de la cavidad.
- Presión de aire durante el llenado en la cavidad.
- Solidificación de la pieza.
- Tiempo de solidificación de la pieza.
- Puntos calientes.
- Porosidad.
- Podemos visualizar las zonas líquidas y sólidas en todo el rango del ciclo.
- Temperatura del molde en cualquier tiempo.
- De manera gráfica visualizamos las curvas de llenado, con respecto a la temperatura de la aleación así como del caudal.
- Gráficamente se analiza el comportamiento del caudal independiente de cada una de las entradas de material a la cavidad.

5.3 ANÁLISIS DE LA PARTE.

Para la aplicación y siguiendo con la secuencia de análisis descrita en el capítulo anterior se propone una pieza que sirve para soportar el reten del cigüeñal en un motor de combustión interna a gasolina, la posición es en la parte frontal del monoblock y tiene ensamble con éste y con el carter, se le denomina Soporte Retén, el dibujo de la pieza se encuentra en el anexo1.

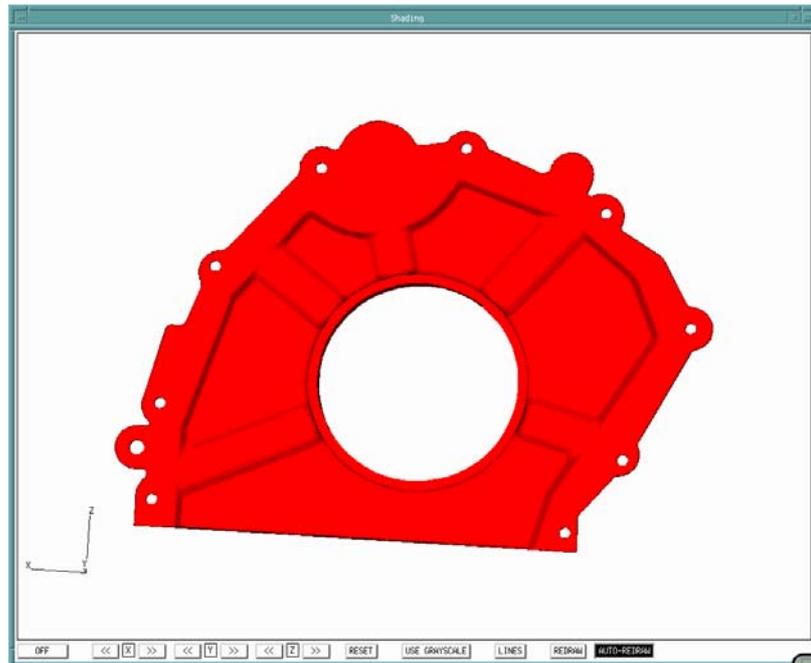


Figura 5.1 Pieza a analizar (Soporte Retén).

Los requerimientos de esta pieza son de hermeticidad en la superficie y por lo tanto libre de porosidad ya que la pieza estará sometida a presión y en contacto con aceite.

La construcción del molde se propone de una cavidad y no cuenta con insertos, la línea de partición es en la mitad de la brida de sujeción con el monoblock.

5.4 SECCIÓN DE ATAQUE.

Se procede a calcular la sección de ataque del soporte retén.

Una vez cargada la base de datos en el software MAGMAsoft, se pueden conocer los siguientes datos que serán necesarios para los cálculos, o bien se pueden obtener desde la mayoría de los paquetes de CAD:

Pieza: Soporte Reten.
Volumen: 251.911 cm³
Peso: 0.572 Kg.
Espesor de pared: 2.5 mm en la zona más delgada.

Calculando la velocidad del aluminio en la zona de ataque (V_{MA}), de la tabla 4.1:

Aleación: Aluminio 226 (AlSi9Cu3).
Tipo de inyección: Estándar.
Velocidad: 20 – 60 m/s.

Considerando una velocidad promedio de **45 m/s** que sería la media para el inicio del cálculo, ya que una velocidad muy baja cercana a 20 m/s podría causar enfriamientos del material y una velocidad cercana a los 60 m/s o por encima causaría una rápida erosión del molde, por lo que la velocidad de 45 m/s es la óptima para el inicio de las iteraciones.

Calculando el tiempo de llenado de la cavidad (t_F) en milisegundo y aplicando la tabla 4.2.

Espesor de pared crítica 2.5 mm, el tiempo de llenado es de 40 – 90 milisegundos, aunado a este primer criterio es necesario incluir tipo de aleación, tamaño de la pieza, complejidad, temperatura del molde y recorrido del aluminio en la cavidad, considerando lo anterior se tiene un valor de **54 milisegundos** en el llenado.

Calculando el área de ataque con la ecuación 4.1.

$$S_A = \frac{572 \text{ [g]} + 15 \% \text{ de excedentes de material}}{2.43 \text{ [g/cm}^3\text{]} * 4500 \text{ [cm/s]} * 0.054 \text{ [s]}}$$

$$\underline{S_A = 1.1139 \text{ cm}^2 = 111.39 \text{ mm}^2}$$

5.5 CÁLCULO DE LOS CANALES DE LA COLADA.

Para el primer análisis se selecciona la posición que se muestra en la figura 5.2, por la geometría y las zonas por donde se puede inyectar el aluminio los cálculos son los siguientes:

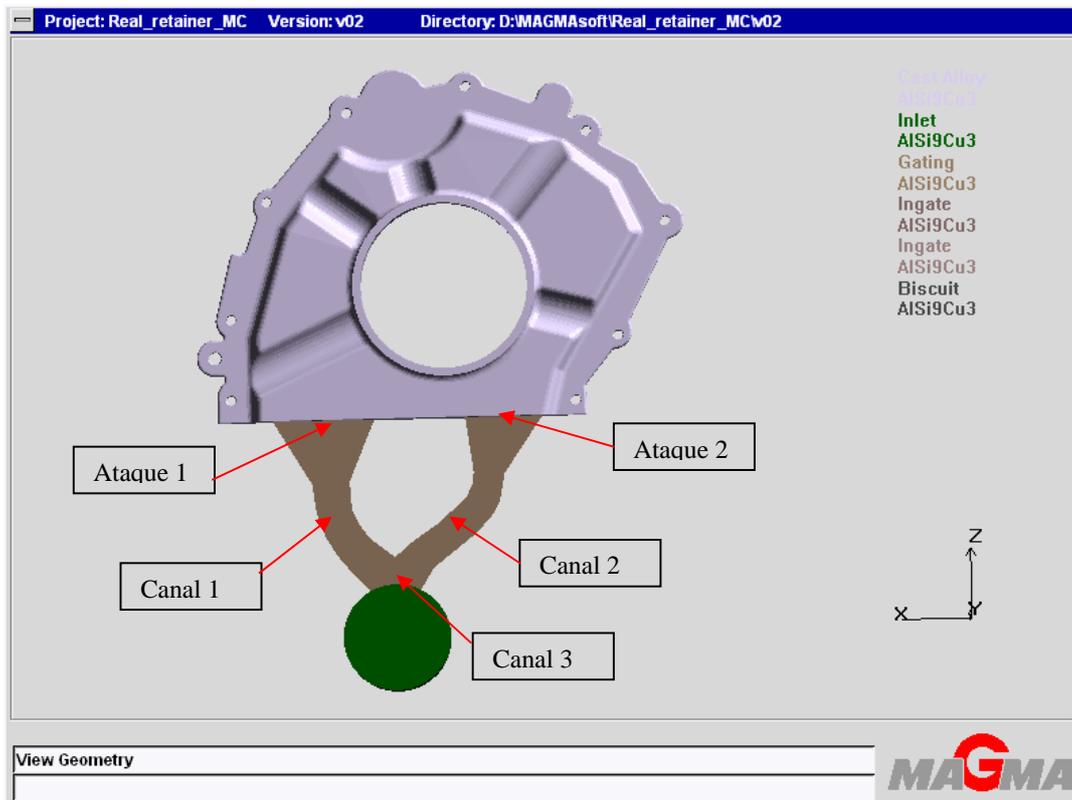


Figura 5.2 Primera propuesta de colada.

ATAQUES.

De acuerdo al espesor de pared de la zona más delgada podemos iniciar con un espesor de 1.6 mm para el ataque.

Tabla 5.1 Cálculo de las secciones de ataque.

	Espesor mm	Longitud mm	Área mm ²
Ataque 1	1.6	65	104
Ataque 2	1.6	50	80

Sumando ambas entradas se tienen **184 mm²**.

Esta área es mayor que la mínima requerida en el cálculo que es **119.2 mm²**, esto repercute directamente en la velocidad de inyección dejando más área, es posible aumentar más la velocidad del pistón si esto fuera necesario, sin sobrepasar el límite recomendado de velocidad del aluminio en el ataque.

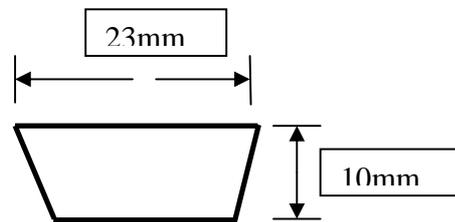
CANALES.

Para el canal 1 de la ecuación 4.2.

$$A_K = 104 \text{ mm}^2 * 1.8 = 187.2 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 196.56 \text{ mm}^2$$

Calculando el área de un trapecio considerando 15 grados de inclinación en sus lados para los desmoldeos de los canales como parámetro de diseño. (Este puede ir en casos críticos desde los 5 hasta los 30 grados o más dependiendo de las necesidades del canal y la complejidad del área donde se va a maquinar en el molde), de acuerdo a la experiencia en planta este valor a dado muy buenos resultados.



$$A = 23 * 10 - (10)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 203 \text{ mm}^2$$

De la ecuación 4.3

La relación es 2.3 en donde se busca más velocidad para un buen llenado de la cavidad.

Para el canal 2 de igual manera.

$$A_K = 80 * 1.8 = 144 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 151.2 \text{ mm}^2$$

$$A = 18 * 10 - (10)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 153 \text{ mm}^2$$

Para el canal 3 es sólo la suma de ambos canales más 5% de factor de seguridad.

$$A_K = 203 + 153 = 356 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 373.8 \text{ mm}^2$$

$$A = 30 * 15 - (15)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 389.25 \text{ mm}^2$$

Tabla 5.2 Datos de la colada, simulación 1

	Área requerida mm ²	Área del canal mm ²	Ancho mm	Profundidad mm
Canal 1	196.56	203	23	10
Canal 2	151.2	153	18	10
Canal 3	373.8	389.2	30	15

5.6 CÁLCULO DE SALIDAS DE AIRE.

De la ecuación 4.5 se calcula el gasto.

$$Q_M = \frac{572 \text{ [g]} + 15 \% \text{ de excedentes de material}}{2.43 \text{ [g/cm}^3\text{]} * 0.054 \text{ [s]}}$$

$$Q_M = 5012.955 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Calculando las salidas de aire de la ecuación 4.4.

$$SV = \frac{5012.955 \text{ cm}^3/\text{s}}{20000 \text{ cm/s}}$$

$$SV = 0.2506 \text{ cm}^2 = 25.06 \text{ mm}^2$$

Considerando los excedentes de material con 35 mm de salida de aire y un espesor de 0.12 mm de acuerdo a la aleación.

El área de salida de aire por cada excedente de material es 4.2 mm².

Aplicando una relación lineal se encuentra el número mínimo de excedentes de material, para poder sacar el aire adecuadamente de la cavidad.

Excedentes de material.

$$1 = 4.2 \text{ mm}^2$$

$$x = 25.06 \text{ mm}^2$$

Número mínimo de excedentes de material = 5.96 para cuestiones practicas **6**.

5.7 CÁLCULO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN.

De los datos se tiene el área proyectada.

Área proyectada: 441.32 cm²

La presión de compactación se saca de la tabla 4.3, como es una pieza con buen acabado y debe ser a prueba de fuga se considera pieza técnica, de acuerdo a la aleación AlSi9Cu3 conocido Al 226, el rango es de 600 a 800 bar, por lo cual selecciona **700 bar**.

Calculando:

$$F_{LI} = \frac{(441.32 \text{ cm}^2 + 15 \% \text{ de excedentes de material y } 15 \% \text{ de colada}) * 700 \text{ bar}}{100}$$

Fuerza de apertura.

F_{LI} = 4016 KN

Calculando la fuerza de cierre, como el molde no cuenta con ningún inserto se considera el factor K = 1.1 en la ecuación 4.12 (factor de seguridad 10%).

$$F_{LN} = 1.1 * 4016 \text{ KN}$$

Fuerza de cierre mínima necesaria para esta pieza.

F_{LN} = 4417.6 KN

De acuerdo a catálogos comerciales se puede seleccionar la máquina de acuerdo a la fuerza de cierre mayor al valor F_{LN} calculado anteriormente.

5.8 VELOCIDAD DEL PISTÓN.

De la ecuación 4.13, el valor que se requiere para el cálculo es el diámetro del pistón en este caso es fácil poder cambiarlo, ya que en los moldes actuales existen alojamientos y pistón intercambiables del tipo estándar.

Para el cálculo se usaran los diámetros 50, 60 y 70 mm que son los diámetros estándar recomendados que se usan en una máquina de 500 Ton de inyección a presión con cámara fría. (El diámetro del pistón de inyección va relacionado directamente con el volumen de metal que se quiera inyectar teniendo en consideración que si el volumen de llenado es muy bajo menor al 20% del volumen de la recámara se presentarían problemas de una aleación fría y si es mayor al 40% se presentan otro tipo de problemas como difícil control del llenado generando mucha turbulencia y aire atrapado, por lo que los

constructores de máquinas de inyección y de acuerdo a experiencia en planta un llenado entre el 30 y 35% es el ideal para este proceso).

Diámetro 50 mm.

$$V_C = \frac{5012.955 \text{ cm}^3/\text{s}}{(5)^2 * 0.7854}$$

$$V_{C50} = 255.30 \text{ cm/s} = 2.55 \text{ m/s}$$

De igual manera para 60 mm

$$V_{C60} = 177.29 \text{ cm/s} = 1.77 \text{ m/s}$$

De igual manera para 70 mm

$$V_{C70} = 130.26 \text{ cm/s} = 1.3 \text{ m/s}$$

Estas son algunas de las opciones que se pueden tener para la velocidad del pistón.

5.9 PRIMERA SIMULACIÓN.

Con estos datos se puede realizar la primera simulación una vez construida la colada en el pre-procesador del software o en algún paquete de diseño e introduciendo todas las variables del proceso se obtienen los siguientes resultados.

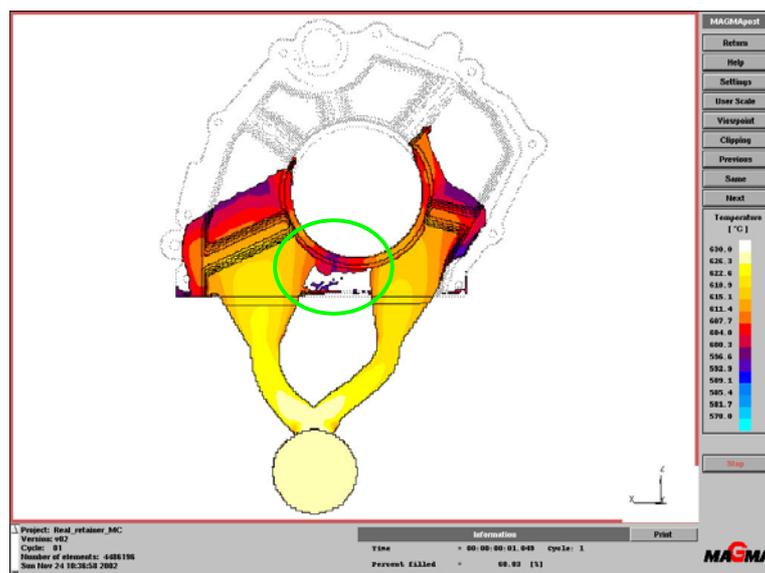


Figura 5.3 Llenado de la cavidad de la primera simulación.

En la figura 5.3 podemos observar el llenado de la cavidad, la escala mostrada representa temperaturas, las zonas azul claro muestran temperatura baja, lo que se puede observar es que en la zona señalada por la elipse puede observarse aire atrapado, el cual por la posición que tiene no es posible sacarlo, el cual puede causar problemas en diferentes lugares de la pieza, así como turbulencia.

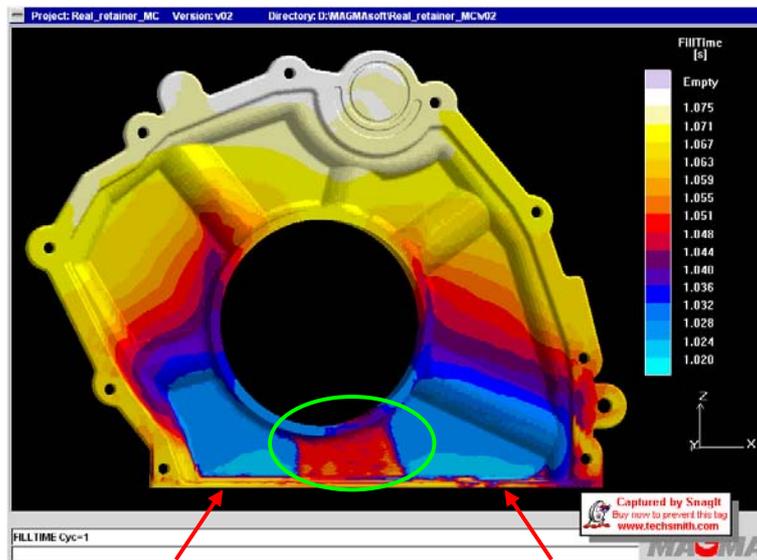


Figura 5.4 Tiempo de llenado de la cavidad, primera simulación.

En la figura 5.4 muestra el tiempo de llenado de la cavidad, las zonas azules claras llenan primero y las zonas blancas son las que llenan al final, se puede ver la misma situación mencionada en la figura anterior, aunado a que se observan otros problemas de llenado en la zona de la brida que ensambla con el carter, se señalan con las flechas rojas.

Una vez evaluada esta condición se decide realizar una nueva propuesta de colada, ya que el aire atrapado que se observa causará problemas en la fundición.

5.10 SEGUNDA SIMULACIÓN.

Propuesta de la segunda simulación se gira la pieza para buscar un mejor llenado.

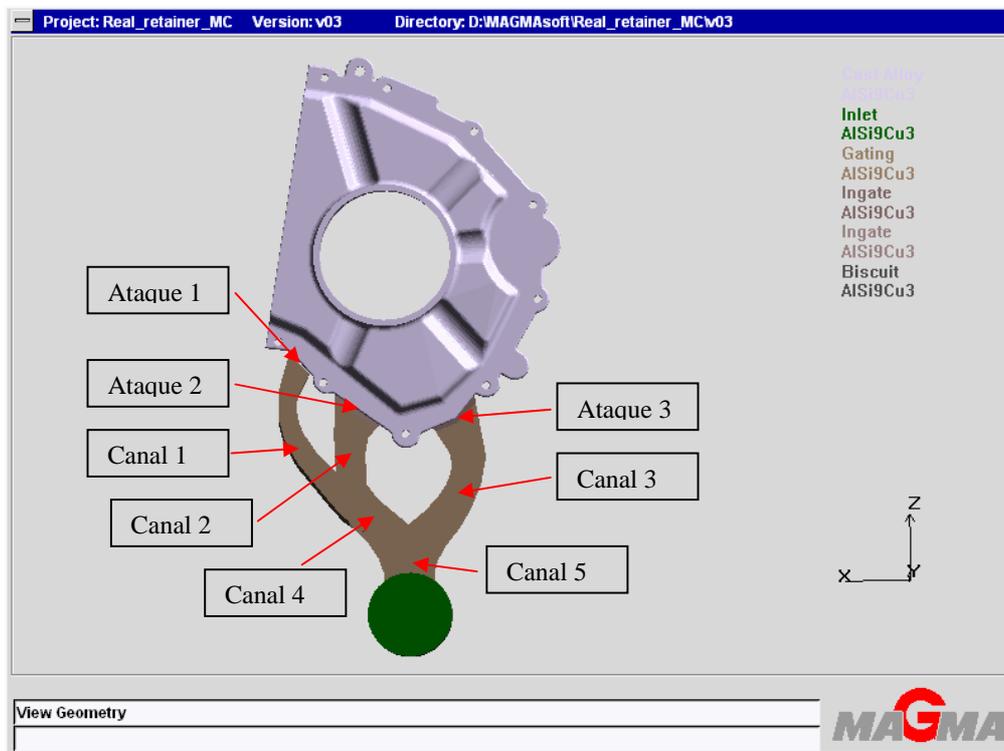


Figura 5.5 Segunda propuesta de colada.

De igual manera que en la propuesta uno se hacen nuevamente los cálculos de la colada.

ATAQUES.

El espesor del ataque se considera de 1.8, ya que en esta propuesta no se tiene tanto espacio para colocar los ataques de material.

Tabla 5.3 Cálculo de las modificaciones de secciones de ataque.

	Espesor mm	Longitud mm	Área mm ²
Ataque 1	1.8	10	18
Ataque 2	1.8	45	81
Ataque 3	1.8	45	81

El área total de ataque es **180 mm²** que es mayor que **119.2 mm²** del área mínima requerida de ataque.

CANALES.

Para el **canal 1** de la ecuación 4.2.

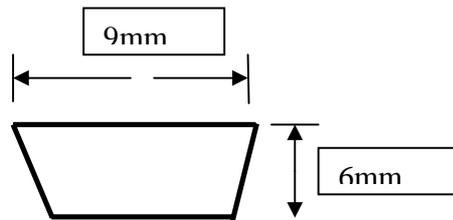
$$A_K = 18 \text{ mm}^2 * 1.8 = 32.4 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 34.02 \text{ mm}^2$$

Dimensiones del canal.

$$A = 9 * 6 - (6)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 44.28 \text{ mm}^2$$



De igual manera para el resto de los canales.

Canal 2.

$$A_K = 81 \text{ mm}^2 * 1.8 = 145.8 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 153.09 \text{ mm}^2$$

Dimensiones del canal.

$$A = 20 * 10 - (10)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 173 \text{ mm}^2$$

Canal 3.

$$A_K = 81 \text{ mm}^2 * 1.8 = 145.8 \text{ mm}^2 + 5\%$$

$$A_K = 153.09 \text{ mm}^2$$

Dimensiones del canal.

$$A = 20 * 10 - (10)^2 * \tan(15^\circ)$$

$$A = 173 \text{ mm}^2$$

Canal 4.

$$A_K = 81 \text{ mm}^2 + 173 \text{ mm}^2 = 254 \text{ mm}^2$$

$$A_K = 254 \text{ mm}^2$$

Dimensiones del canal.

$$A = 30 * 10 - (10)^2 * \tan (15^\circ)$$

$$A = 273 \text{ mm}^2$$

Canal 5.

$$A_K = 273 \text{ mm}^2 + 173 \text{ mm}^2 = 446 \text{ mm}^2$$

$$A_K = 446 \text{ mm}^2$$

Dimensiones del canal.

$$A = 40 * 13 - (13)^2 * \tan (15^\circ)$$

$$A = 474.37 \text{ mm}^2$$

Tabla 5.4 Datos de la colada, simulación 2

	Área requerida mm ²	Área del canal mm ²	Ancho mm	Profundidad mm
Canal 1	34.02	44.28	9	6
Canal 2	153.09	173	20	10
Canal 3	153.09	173	20	10
Canal 4	254	273	30	10
Canal 5	446	474.37	40	13

Con estos datos se construye nuevamente la colada y con la nueva posición de la pieza, los resultados de la segunda simulación son los siguientes:

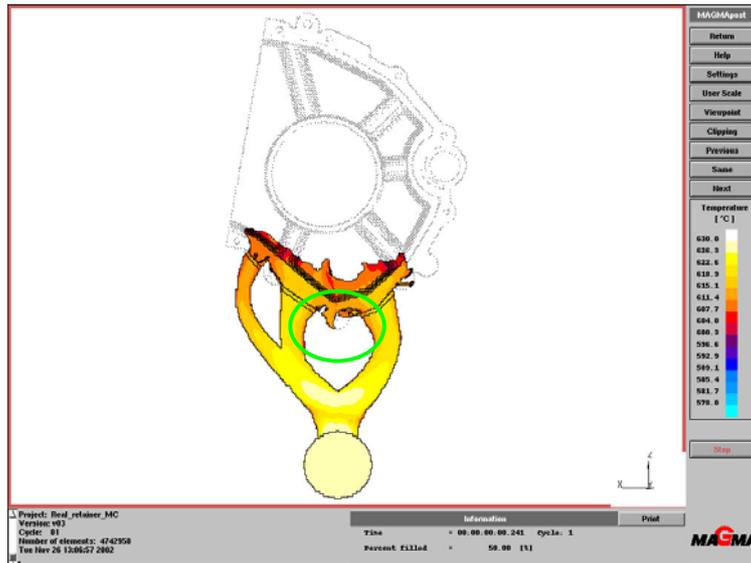


Figura 5.6 Llenado de la cavidad, segunda simulación.

En la figura 5.6 podemos ver la primera etapa de llenado, se observa una pequeña zona donde queda un poco de aire atrapado, creando turbulencia, se indica con una elipse, el resto del llenado se ve mejor que la propuesta uno.

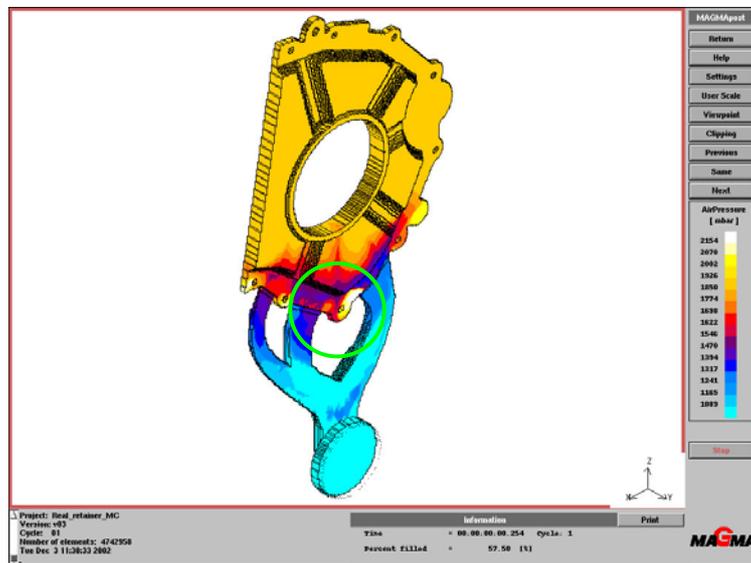


Figura 5.7 Muestra la presión de aire en la cavidad, segunda simulación.

En la figura 5.7 podemos ver la zona central donde queda un poco de aire atrapado, para mejorar esta condición es necesario mover los ataques dos y tres más hacia la zona del problema como se muestra en la figura 5.8.

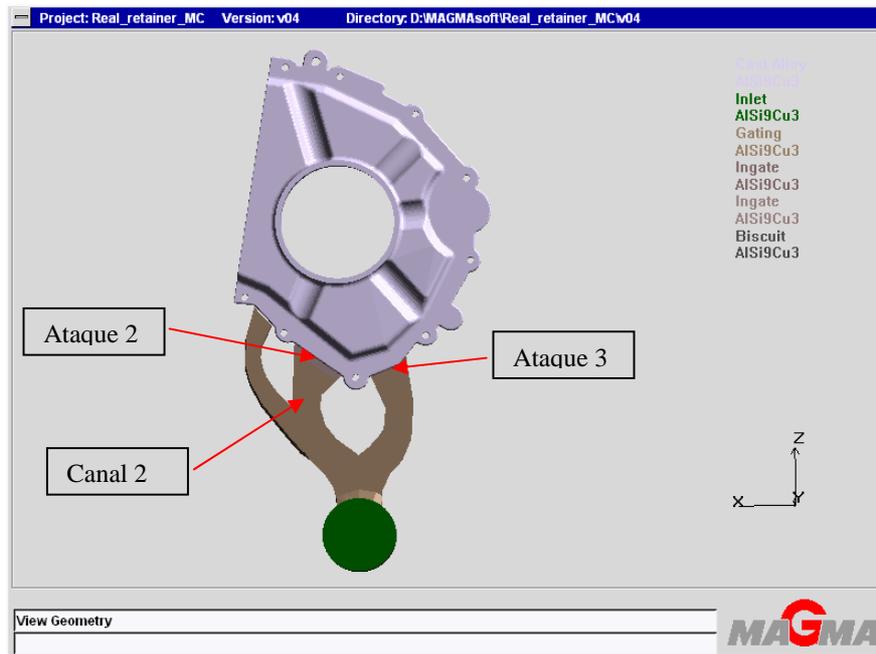


Figura 5.8 Propuesta tres

En la figura 5.8 se muestra la propuesta tres en la cual se modificó las áreas de los ataque dos y tres mostrados, creciéndolos hacia el centro 3 milímetros, así como re-direccionando los dos canales centrales, para que el flujo se dirija hacia el centro de la cavidad.

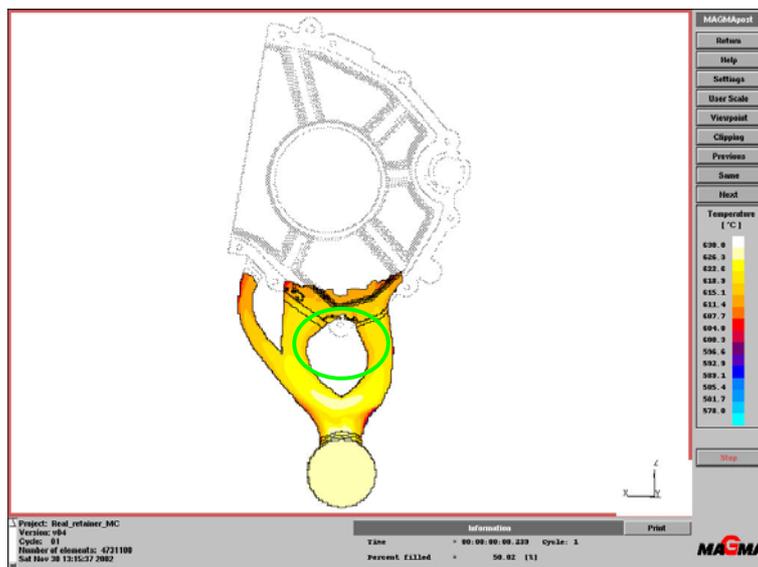


Figura 5.9 Zona de aire atrapada en la propuesta tres.

En la figura 5.9 la zona de aire atrapado es menor que en la propuesta dos, así como la turbulencia creada en esta zona se logró reducir en la primera etapa de llenado.

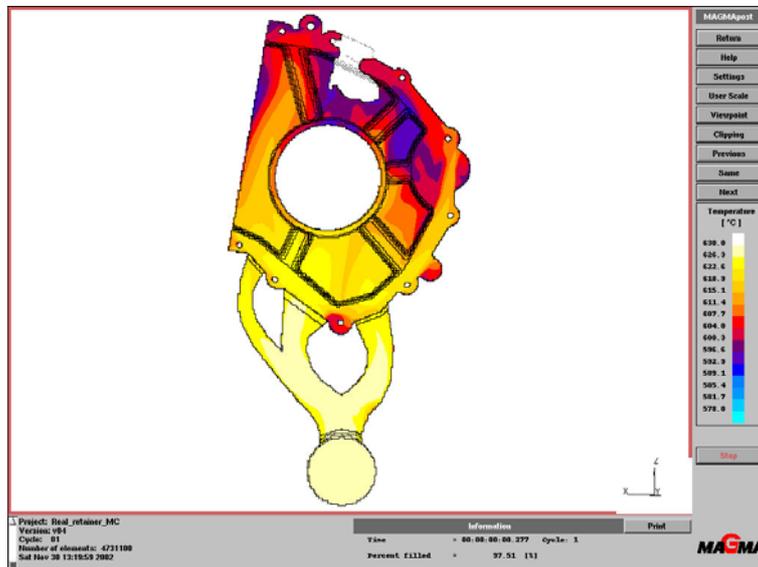


Figura 5.10 Ultima etapa de llenado

En la figura 5.10 el llenado final de la cavidad se ve bien, se decide realizar una simulación más, con una modificación en la colada y es evaluada.

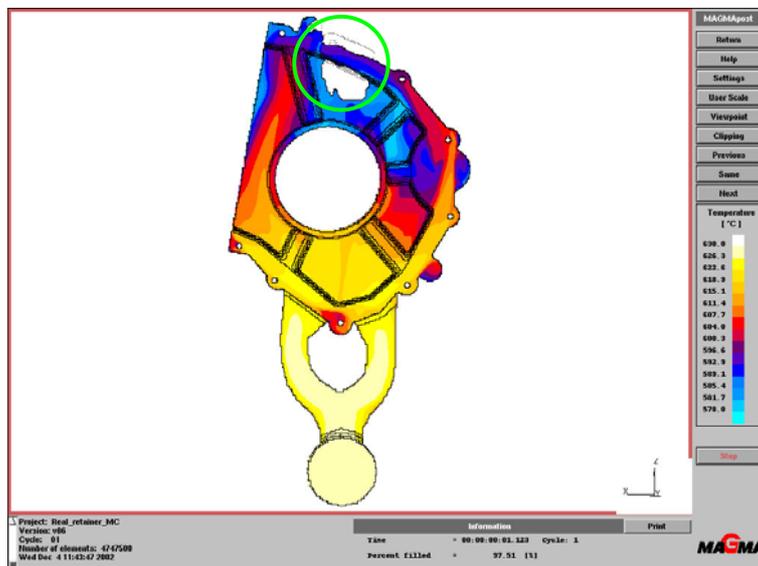


Figura 5.11 Propuesta cuatro.

La propuesta cuatro muestra un problema de llenado en la etapa final de llenado, la modificación a la colada era solo eliminar la entrada y canal del lado izquierdo de la

pieza, el objetivo era por costos, ahorrando material, pero al observar esta condición se decide regresar al diseño anterior, figura 5.11.

Una vez observando una buena condición de llenado en la cual no se ven mayores problemas para obtener una buena pieza se procede a colocar los excedentes de material y líneas de refrigeración, al realizar esta etapa es posible evaluar algunas otras simulaciones para encontrar la posición adecuada de cacahuates y líneas de refrigeración.

En base a los resultados de llenado y solidificación se llega al diseño final.

En la figura 5.12 se puede ver el tiempo de llenado de la cavidad, las zonas indicadas en verde muestran las zonas críticas de llenado en donde se colocarán excedentes de material para eliminar cualquier problema.

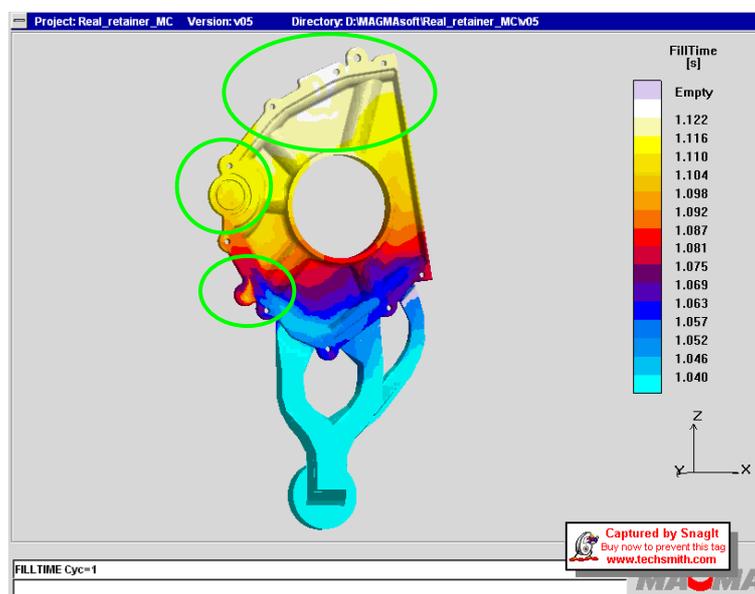


Figura 5.12 Tiempo de llenado de la cavidad.

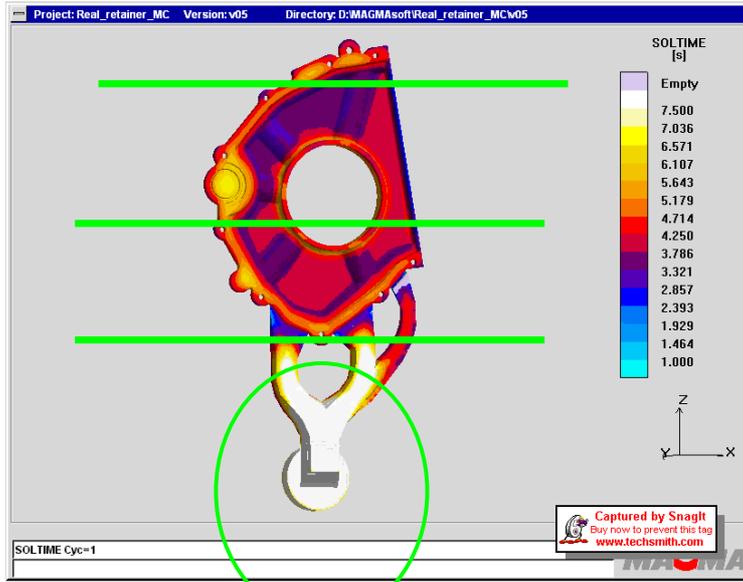


Figura 5.13 Tiempo de solidificación de la cavidad.

En la figura 5.13 podemos ver el tiempo de llenado en el cual se indican en verde por donde pasaran líneas de refrigeración, así como la zona de la colada la cual siempre debe tener un buen sistema de refrigeración, debido a la alta temperatura que presenta por la concentración de material en esta zona.

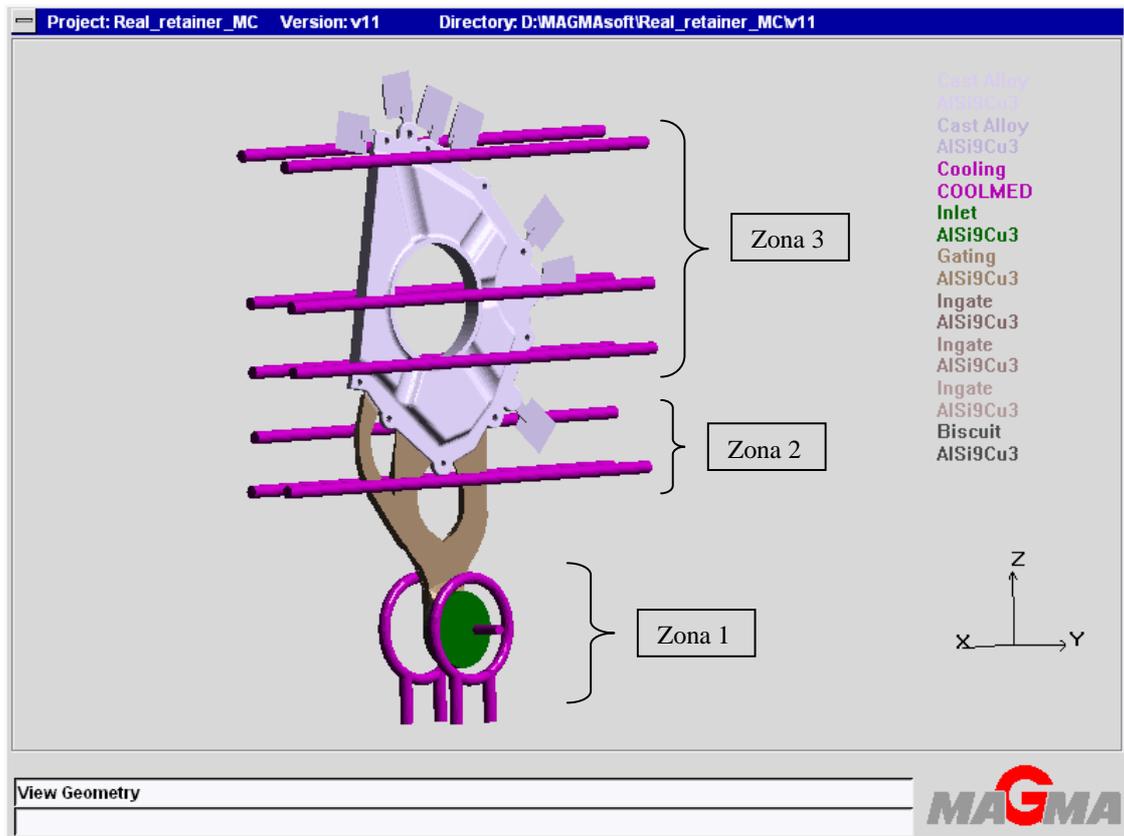


Figura 5.14 Propuesta diez, modelo final.

Una vez realizadas algunas correcciones en los excedentes de material y en las líneas de refrigeración se llega al modelo final, que se muestra en la figura 5.14.

El modelo final cuenta con siete excedentes de material, que, de acuerdo al cálculo era el mínimo número requerido, es claro que entre más excedentes de material se tenga es más fácil sacar el aire y algún oxido que algunas veces quedan en la pieza, así como material frío y algunos otros problemas, el inconveniente por supuesto de colocar demasiados excedentes de material es el factor económico.

5.11 TERMORREGULACIÓN DEL MOLDE.

Calculando el adecuado balance de temperatura en el molde.

En este caso la ecuación 4.14 queda de la siguiente manera.

$$\Delta T = T (\text{inyección}) - T (\text{expulsión}) = 220 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya que para este caso por tener algunas zonas de enfriamientos en la parte alta de la cavidad, se decide incrementar la temperatura del molde a 220 °C.

Calculando la cantidad de **calor aportada** de la ecuación 4.15.

Peso de la inyección = 1.206 Kg.

Número de inyecciones por hora =100, por el tamaño de pieza se pueden realizar hasta este número de inyecciones por hora sin problema, teniendo un tiempo ciclo de 36 s.

Calor de la aleación aportada 607 KJ/Kg.

Por lo tanto.

Qa = 73204.2 KJ/h

El **calor expulsado** es el siguiente:

En la figura 5.14 podemos ver la distribución de las zonas para este cálculo.

Sección 1, zona de la cámara del pistón.

Se tiene una longitud total de líneas de refrigeración de 51 cm, aplicando el factor de transferencia de calor de acuerdo al diámetro de las líneas, Ø 9 a 11 mm = 377 KJ/h.

Sección 1 = 19227 KJ/h.

Sección 2, zona de la colada.

Longitud total 102 cm, el factor es Ø 9 a 11 mm = 377 KJ/h.

Sección 1 = 38454 KJ/h.

Sección 3, zona de la cavidad.

Longitud total 204 cm, el factor es Ø 9 a 11 mm = 188 KJ/h.

Sección 3 = 38352 KJ/h.

Qr = (Capacidad de refrigeración o calor rechazado).

Qr = 96033 KJ/h.

Aplicando la ecuación 4.16.

S = 1.31

Con lo cual se tiene un adecuado factor para una regulación de temperatura adecuada en el molde durante el proceso de inyección.

5.12 RESULTADOS FINALES.

Lo primero que se evalúa es el llenado, en el cual podemos ver que la temperatura es baja en algunas zonas, esto se soluciona incrementando 5 o 10° centígrados la temperatura del molde, esto sólo si en las pruebas físicas la pieza presenta enfriamiento, en cuanto al comportamiento del flujo se ve que la última zona de llenado esta donde se colocaron más cacahuates, no se observan problemas de turbulencia, esto lo podemos ver en la figura 5.15.

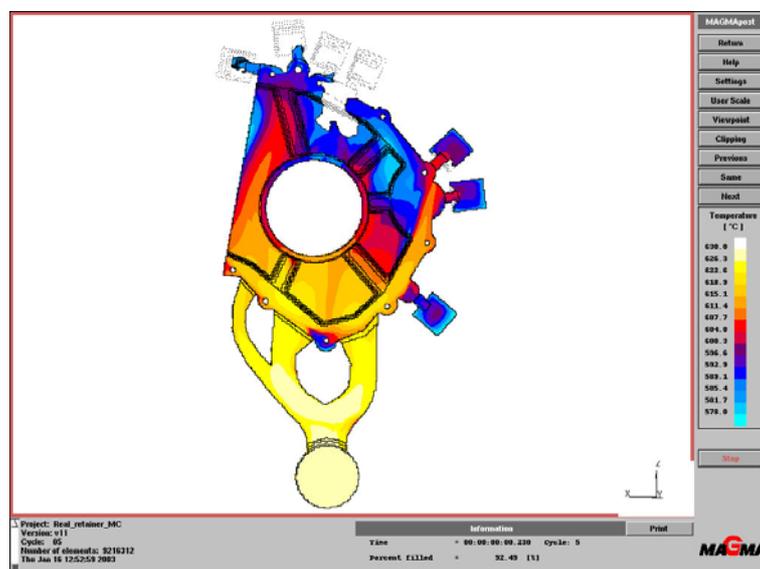


Figura 5.15. Llenado de la cavidad de la simulación resultados finales.

Este mismo concepto de llenado lo podemos ver de manera general en el tiempo de llenado de la figura 5.16

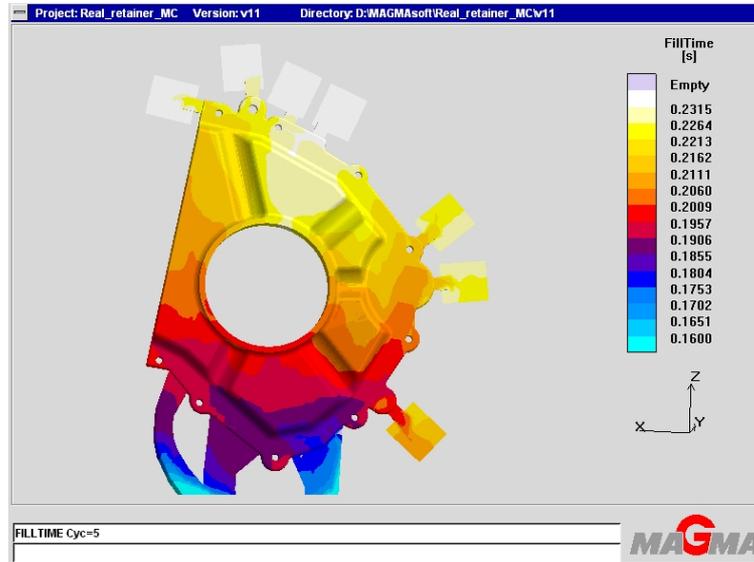


Figura 5.16 Tiempo de llenado de la cavidad simulación resultados finales.

En la figura 5.16 podemos ver los frentes del fluido en los diferentes tiempos de llenado los cuales no presentan zonas de turbulencia, así como la zona blanca que es la ultima región de la cavidad en llenar, los excedentes de material cumplen su función siendo los que eliminan los posibles problemas en la pieza como, material frío, aire atrapado y algunos óxidos o inclusiones que son arrastrados por el material en las primeras etapas de llenado.

El siguiente punto a evaluar es la velocidad del material en la cavidad, en este punto lo importante es verificar las zonas críticas, las cuales son las zonas de entrada de material en la que será la pieza, a estas zonas se les denomina ataques. Se puede ver que la velocidad no es mayor a 30 m/s, la cual es muy buena ya que entre mayor velocidad tengamos mas daño puede ser causado por este efecto en los ataques y cavidad de la parte en muy pocas inyecciones, repercutiendo en reparaciones al molde e incremento del costo en las piezas producidas, esto lo podemos ver el la figura 5.17.

En contraste a esto podemos ver las entradas de los excedentes de material en donde la velocidad es muy grande debido a que se busca un efecto limpiador tratando de enviar la mayor cantidad de material frío y aire atrapado a estas zonas, es importante que no se presente un regreso de material o una velocidad muy lenta ya que se pueden crear otros problemas como poros en la zona de conexión de la cavidad y los excedentes de material, es por ello que las entradas a estos se diseñan delgadas.

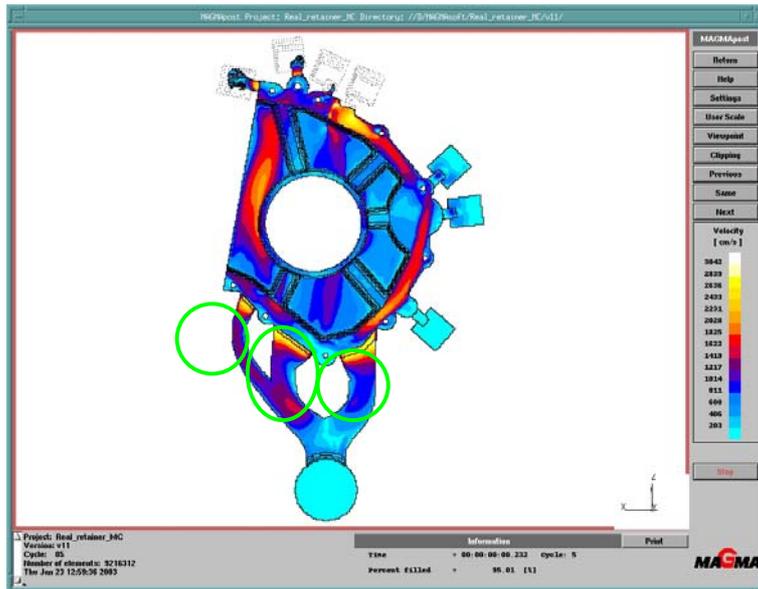


Figura 5.17 Velocidad del aluminio, simulación resultados finales.

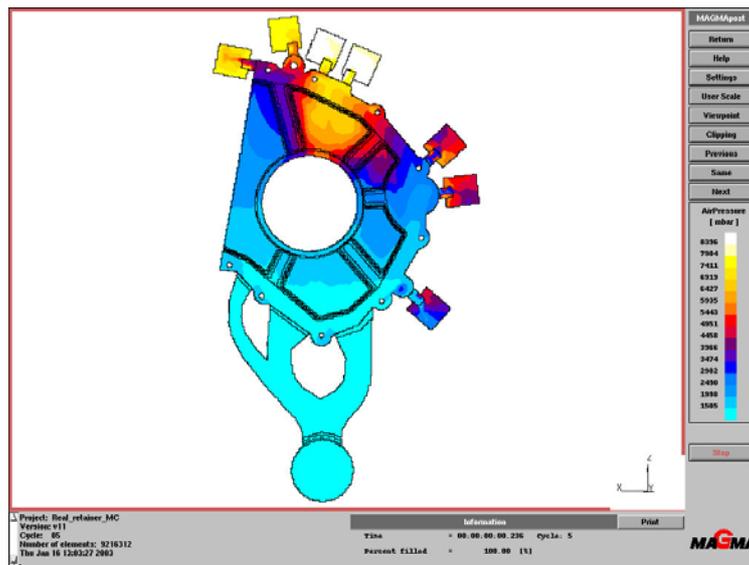


Figura 5.18 Presión de aire en la cavidad, simulación resultados finales.

La presión de aire se muestra en la figura 5.18 la cual muestra como la mayor presión se encuentra en los excedentes de material, esto garantiza que la pieza no tendrá problemas con aire atrapado.

La solidificación de la pieza es un punto muy importante, las últimas zonas de solidificación se muestran en la figura 5.19. Podemos ver que la zona más crítica es la zona de soporte indicada en la figura, ya que esta área se maquina, de acuerdo con la

figura 5.20 que muestra porosidad la escala de los poros en esta área es muy pequeña, pero es necesaria verificarla cuando la pieza sea inyectada ya que se pudieran presentar algunos problemas por contracciones del material, los cuales se puede solucionar con una fuerza mayor aplicada al pistón controlada en la última etapa de la curva de inyección en la cual se aumenta la presión para evitar este tipo de problemas, cabe hacer notar que el problema no siempre se elimina si no que muchas veces sólo se aumenta el número de poros pero se disminuyen los diámetros, disminuyendo la afectación del problema, lo importante es que no queden comunicados pudiendo causar fugas en la pieza.

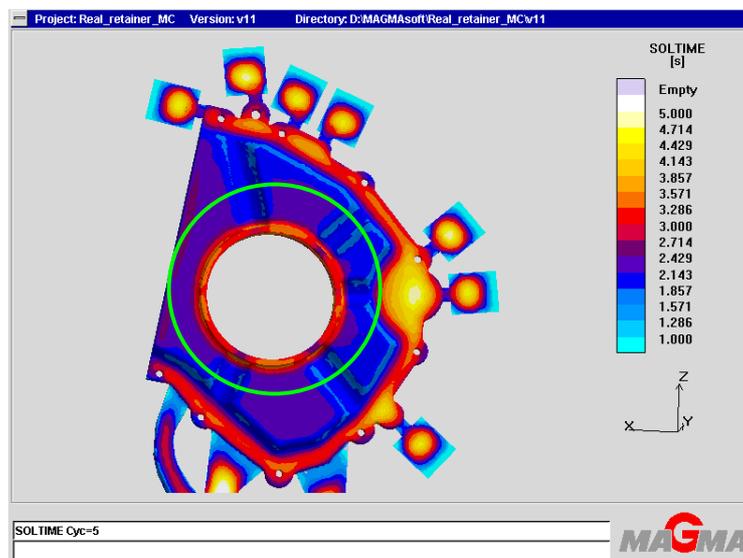


Figura 5.19 Tiempo de solidificación, simulación resultados finales.

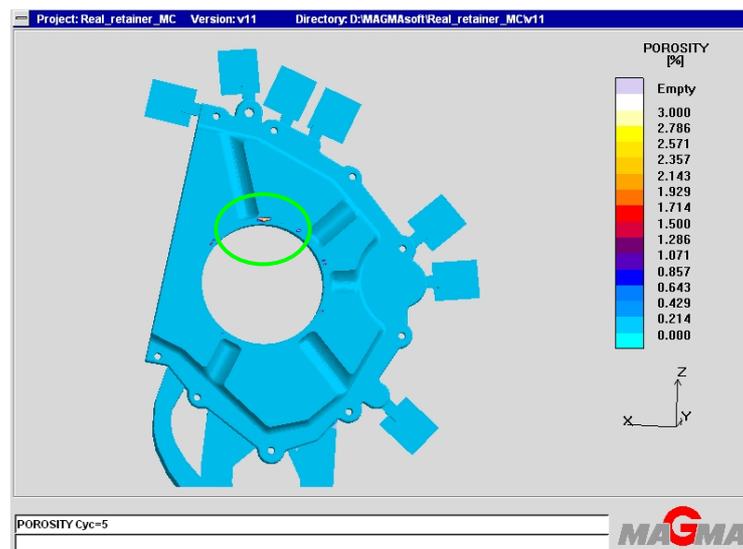


Figura 5.20 Porosidad, simulación resultados finales.

Con los análisis realizados se puede tener la certeza de que la pieza **tendrá menores problemas en el proceso de fundición** [1], en la figura 5.21 podemos ver el efecto de las líneas de refrigeración en el molde, la zona que se busca enfríe más rápido es donde se tiene más concentración de material en la pieza, así como también otras áreas como la brida de sujeción al carter y el centro del retén para evitar contracciones y porosidad.

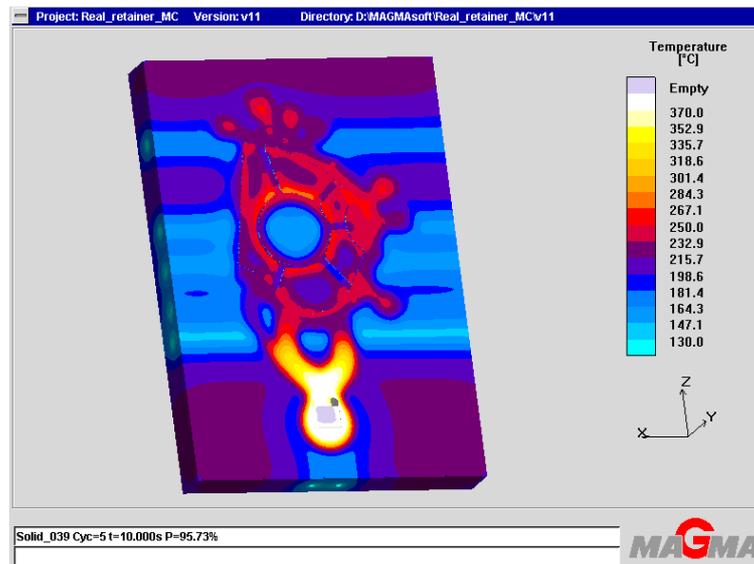


Figura 5.21 Termorregulación del molde, simulación resultados finales.

5.13 CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA FUNDICIÓN.

Finalmente se calcula el centroide de la pieza con colada y excedentes de material para colocar adecuadamente el molde en la máquina seleccionada.

Calculando el centroide de la pieza en cualquier software de CAD.

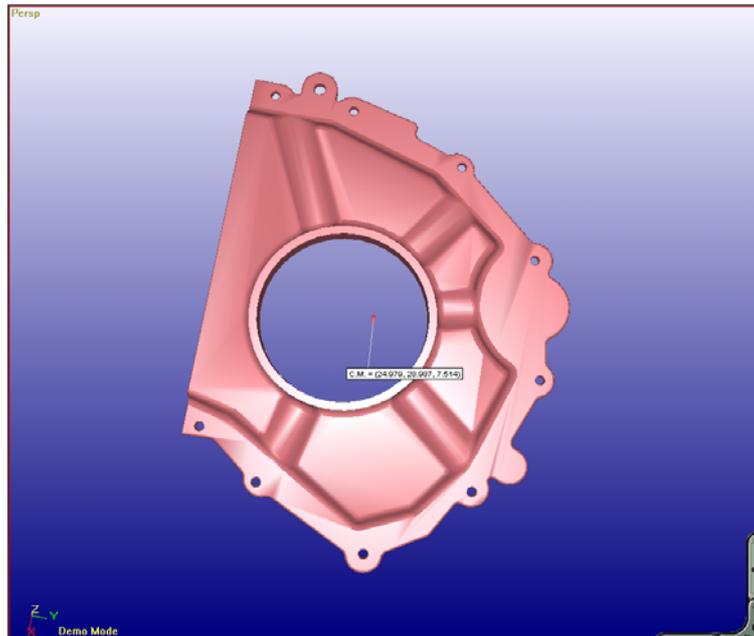


Figura 5.22 centro de masa de la pieza.

El resto de los cálculos se pueden realizar utilizando la formula 4.6 o directamente en un software de CAD si es que se tiene el modelo 3D completo en alguno de los formatos de estos paquetes.

Usando un software de CAD.

El centroide es: $Y_s = 25.4 \text{ cm}$ del centro de la cámara.

En la siguiente figura 5.23 podemos ver cual es la posición del molde en la máquina con ello se busca que la distribución de la fuerza ejercida al momento de la inyección sea distribuida adecuadamente en el área de sujeción del molde (esta área esta delimitada por las columnas de sujeción en la máquina) ya que si no se realiza una distribución adecuada de las fuerzas, con el tiempo se podrán dañar partes de la máquina como las columnas lo cual repercutiría en un gasto mayor de reparación y mantenimiento, los fabricantes de máquinas recomiendan que el centro de masa con respecto al centro de la platina no debe ser mayor a 2.5 cm de desplazamiento, tanto horizontal como vertical.

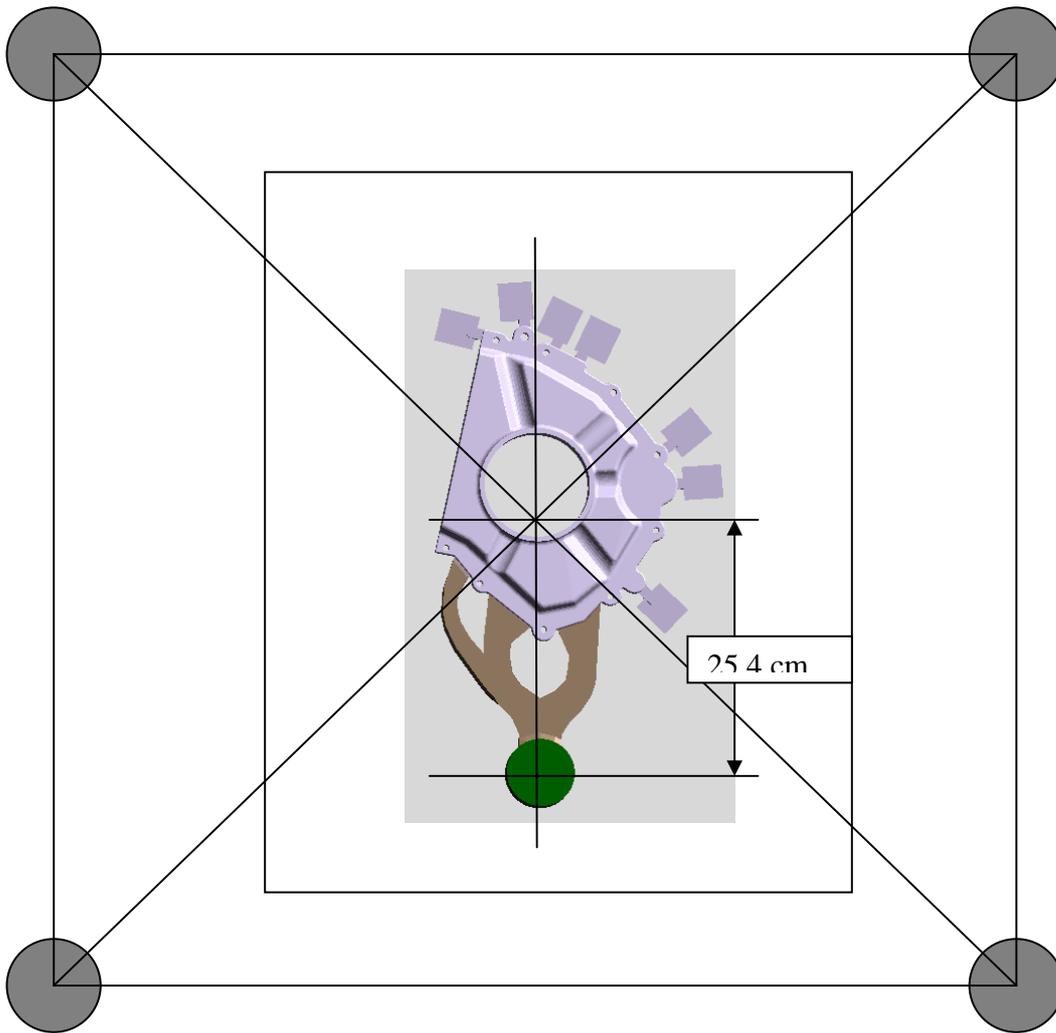


Figura 5.23 Posición del molde en la máquina.

REFERENCIAS

[1] Marcel Wermelinger Instructor, **Mold Die Casting Design (Manual)**, Buhler Druckguss AG, CH-9240 Uzwil 1998, Curso Octubre 2001.

CAPÍTULO 6

6.1 RESULTADOS Y OBSERVACIONES

El diseño final del molde muestra un llenado adecuado de la cavidad, los aspectos que se toman en cuenta para decidir si es un buen diseño o no, son los parámetros evaluados como son velocidad, presión, turbulencia (aire atrapado), temperatura de la aleación y del molde, etc. Ya que si se observan problemas donde existan zonas de turbulencia dentro de la cavidad o el flujo atrapa aire por encontrarse con geometrías que no favorecen la dirección de flujo y por lo tanto de llenado de la cavidad, es necesario realizar ajustes en la zona de inyección o en el diseño de la colada, en la propuesta con el ataque en la zona de la brida de sujeción con el carter (simulación 1), se puede ver que en esta condición el llenado de la pieza presenta problemas al atrapar aire por el diseño de la colada, que al final pueden causar problemas de porosidad en la pieza, es por ello que se decidió cambiar el concepto por donde se debe llenar la pieza, después de esto se muestran algunas propuestas más en las cuales el llenado presentaba zonas donde al igual que la opción descrita se atrapaba aire, se continuo con las modificaciones hasta llegar a un diseño en el cual la condición de aire atrapado y turbulencia cause los menores problemas posibles, la colocación de los excedentes de material se ubican de acuerdo a la propuesta final, para que se llenen hasta la etapa final y cumplan su función, de eliminar los problemas que se generan durante el llenado de la cavidad.

Un punto importante que se observa en el llenado es la temperatura de la aleación, la cual muestra zonas donde se pueden tener problemas con enfriamientos o incluso problemas con el llenado de la pieza, los cuales en la práctica tienen muchas soluciones, desde elevar la temperatura de la aleación, hasta cambiar líneas de refrigeración por calefacción, estos cambios son muy rápidos y se pueden realizar una vez conociendo la condición de la pieza inyectada.

La velocidad máxima obtenida en la simulación de los resultados finales es de 30 m/s, la cual es excelente ya que el rango para realizar ajustes de al curva de inyección en el proceso ya que se tenga el molde nos brinda un rango amplio para poder tener un llenado adecuado de la cavidad y así tener una pieza que cumpla con los requerimientos solicitados, lo único que tenemos que cuidar es no sobrepasar la velocidad de 60 m/s en la zona del ataque, la cual podría erosionar en pocas inyecciones al molde y repercutir en gastos grandes de reparación.

Los resultados de presión de aire obtenidos nos muestran que zonas tienen problemas con aire atrapado, la cual nos dan una idea del comportamiento de llenado de la cavidad y ayudaron a decidir cual fue la mejor opción de colada, indicando la adecuada colocación de los excedentes de material en conjunto con los resultados del llenado, adicional a esto se puede dejar listo el molde para la opción de aumentar la cantidad de salida de aire y material frío, óxidos, impurezas, etc., por la zona donde se obtienen los mayores valores de aire atrapado este sistema lo que hace es comunicar los diferentes

excedentes de material mas cercanos con un canal y dirigirlos a un sistema en la parte exterior de la cavidad diseñada para eliminar este tipo de problemas.

La solidificación de la pieza en sus primeras etapas de la simulación sirve para identificar zonas de problemas las cuales es necesario evaluar si se proponen cambios en la geometría de la pieza, o si se debe inyectar por una zona critica de solidificación, por ser una pieza de espesor de pared delgado y gran área de contacto con el molde no presenta en su mayoría problemas de solidificación, sólo se presta especial atención en las zonas donde se tiene mucho material y en las que por el funcionamiento de la pieza requieren que no se tengan defectos, como son las bridas y el centro de soporte del retén, con base en esto y los resultados se pueden ubicar las líneas de refrigeración las cuales en la evaluación final muestran un buen enfriamiento en las zonas de cuidado, así como una buena regulación del calor entrante durante el proceso y de expulsión por la pieza y los sistemas relacionados.

En la zona central del soporte del retén es donde se puede ver algunos valores de porosidad, este aunque es de escala muy pequeña no se cree que tenga problemas en la producción, por la experiencia en correlaciones anteriores donde con valores mayores a 5% se presentaron pequeños poros, para este caso nuestro valor fue de 3% máximo, aunque es importante poner atención en esta zona cuando la pieza esté en producción, éste parámetro se evalúa de manera cuantitativa, y se puede concluir muy fácilmente que rangos pueden causar problemas, con estos resultados no se considera que pueda existir problemas en esta área.

Estos son los criterios que se consideraron para determinar el diseño del molde, es posible obtener algunos otros parámetros, pero por los resultados obtenidos se considera que es suficiente para decidir en el diseño final del molde.

Con el desarrollo expuesto en los capítulos de aplicación se garantiza teóricamente que la pieza cumpla con los requerimientos necesarios para obtener un producto con las condiciones necesarias de trabajo.

6.2 CONCLUSIONES

Con el uso de una herramienta de este tipo se pueden evaluar las modificaciones que considere el equipo de trabajo, es importante mencionar que este es sólo una herramienta que ayuda en la toma de decisiones, y el equipo es el responsable del diseño final del molde, el punto decisivo de este tipo de herramientas es aprender a interpretar los resultados, y como influyen éstos en la práctica.

La finalidad del trabajo es mostrar de manera práctica y sencilla las ventajas del uso de un simulador para poder tomar las decisiones más importantes en el diseño de un molde, con respecto a la experiencia que se requiere, en cuanto al uso del software no es mucha ya que el manejo es muy sencillo pero si se requiere de una experiencia avanzada de diseño 2D y 3D de modelos en CAD para una manipulación más rápida, parte fundamental es contar con un conocimiento del proceso muy completo que muchas veces lleva algunos años adquirir o bien siempre estar rodeado de gente del proceso que conoce muy bien la parte práctica, pero lo más importante es conjuntar éstas dos partes para poder tener una correlación aceptable y mejorar con cada corrida realizada, de acuerdo a la experiencia obtenida en la implementación del software en planta se requirieron de unos 6 meses el poder tener resultados confiables la primera vez, este periodo puede variar de acuerdo al conocimiento que se tenga en el proceso y en la habilidad para poder correlacionar los resultados, así como demostrar la veracidad de estos a los técnicos responsables de la producción, muchos de ellos tiene años y años de experiencia y son ellos los que tiene información empírica muy valiosa que es importante plasmar en las análisis, este es desde mi punto de vista el punto más crítico de estas herramientas el involucrar y convencer a la gente de mucha experiencia a usar este tipo de tecnología, ya que por su formación práctica no creen en este tipo de tecnologías y no es fácil convencerlos.

Aunado a lo anterior es muy importante que en un mercado tan competido se usen todas las herramientas posibles que la tecnología moderna nos brinda y no confiar solamente en el conocimiento empírico de los expertos y realizar ajustes y modificaciones a los herramientas cuando ya el tiempo es corto y el cliente exige piezas dentro de especificaciones, los costos por estas actividades es muy alto, esta tecnología que tiene apenas unos años de una aplicación comercial, nos brindan una excelente herramienta para disminuir el número de modificaciones que tendría el molde en producción, a un costo relativamente bajo y lo más importante en un tiempo mucho menor.

Recalcando nuevamente que al igual que todos los software de simulación de procesos de manufactura es importante decir que el éxito de una buena simulación recae directamente en el equipo de trabajo y de la experiencia que se tenga en el proceso, es decir esta es solo una herramienta que nos ayuda a tomar las mejores decisiones sin necesidad de fabricar el herramienta y la recomendación es consultar con los expertos y recabar la mayor cantidad de información del proceso para lograr una buena correlación de los resultados.

Los resultados generales que se han tenido bajo el uso de esta herramienta han sido muy satisfactorio dentro de los 6 años de experiencia que se tiene, el equipo de diseño e implementación de herramientas a disminuido el tiempo de diseño de los herramientas y lo más importante es sustentar los conceptos con análisis técnicos de los diseños y ya no basarse solo en la palabra y experiencia de los técnicos como se hacia en años anteriores, la cantidad de modificaciones posteriores a la fabricación disminuyo de manera significativa y los ahorros fueron muy importantes a grado de poder justificar el comprar un simulador para cada una de las plantas fundidoras (4 plantas), pero lo más importante es que los productos en los procesos de inyección tienen menos problemas tanto de calidad como de operación lo que repercute en una eficiencia de operación de la planta mucho mayor, en lo particular no se recomienda ningún software pero sin es indispensable en estos tiempos la adquisición de una herramienta de este tipo para poder evaluar los procesos y nos permita mejorar los diseños para ser competitivos.

REFERENCIAS

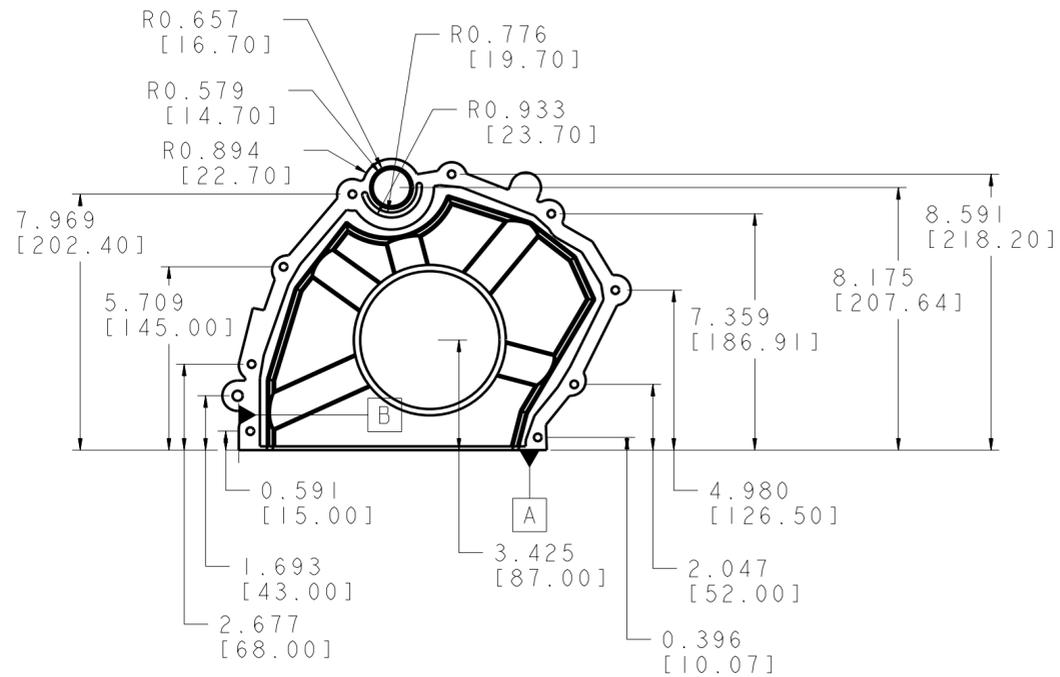
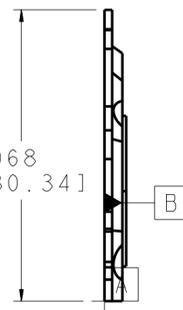
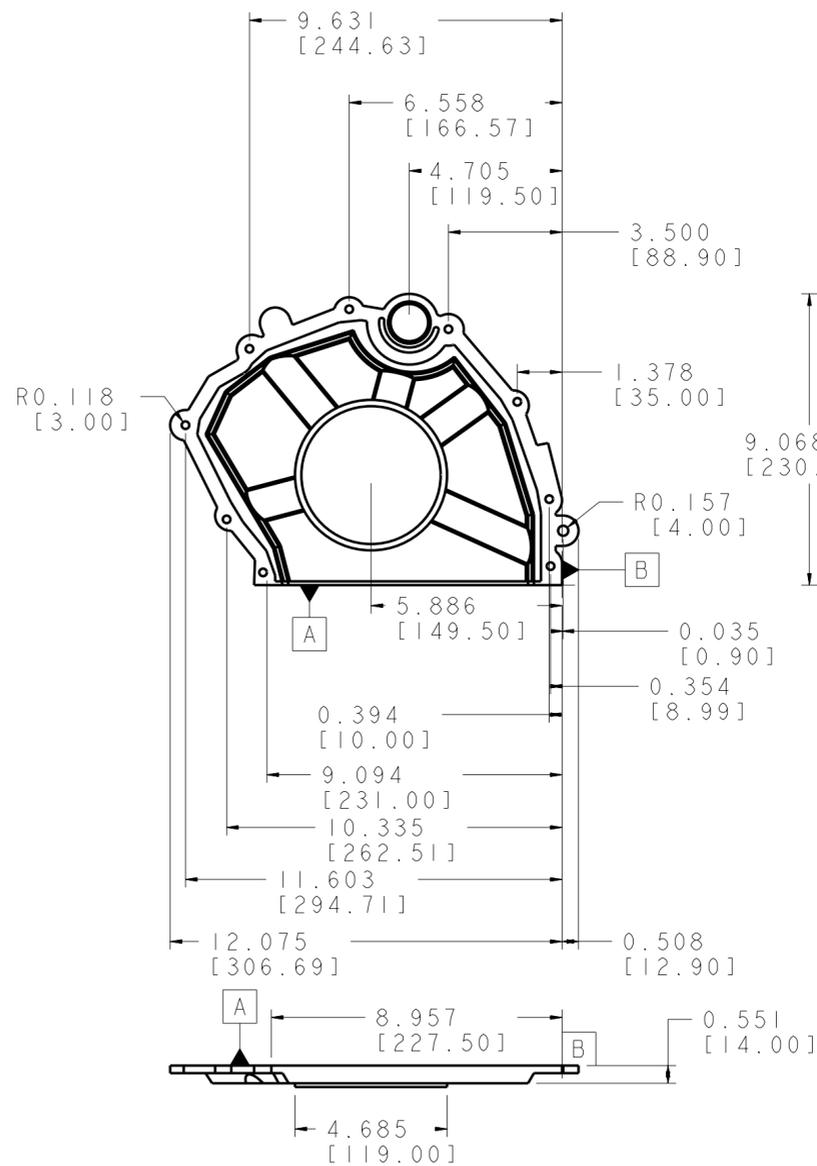
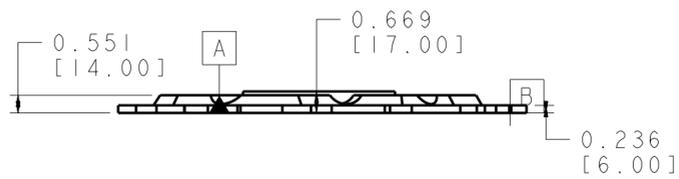
[1] Marcel Wermelinger Instructor, **Mold Die Casting Design (Manual)**, Buhler Druckguss AG, CH-9240 Uzwil 1998, Curso Octubre 2001.

4

3

2

DWG NO	DRW0001	SHT	1
BCN	SN	REV	AFFECTED SHTS



DO NOT SCALE
THIS DRAWING

Escala: 1:1
Acotaciones: in [mm]
Tolerancia general:
0.001 in [0.0254 mm]
Planicidad: 0.0005 in
[0.0127 mm]

TITLE		Soporte Reten	
DWG. NO. & FILENAME		DRW0001	
Version 0	STATUS 0	SHEET: 1 OF 1	

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A