

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**EL EFECTO DE ALIGERAMIENTOS DE ARENA EN LA POROSIDAD EN
MAMELONES DE FIJACIÓN PARA CABEZAS DE ALUMINIO
AUTOMOTRICES FABRICADAS POR EL PROCESO DE BAJA PRESIÓN**

EDGAR VILLARREAL RIVERA

MATRICULA 494849

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE MANUFACTURA CON
ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTOS**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.

NOVIEMBRE DEL 2007

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**EFFECTO DE ALIGERAMIENTOS DE ARENA EN LA POROSIDAD EN
MAMELONES DE FIJACIÓN PARA CABEZAS DE ALUMINIO
AUTOMOTRICES FABRICADAS POR EL PROCESO DE BAJA PRESIÓN**

EDGAR VILLARREAL RIVERA

MATRICULA 494849

**MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA DE MANUFACTURA CON
ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTOS**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.

NOVIEMBRE DEL 2007

ÍNDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCION

CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO

- 2.1 PRINCIPIOS DE SOLIDIFICACIÓN
 - 2.1.1 NUCLEACIÓN
 - 2.1.2 NUCLEACIÓN HOMOGÉNEA
 - 2.1.3 NUCLEACIÓN HETEROGENEA
- 2.2 CRECIMIENTO
- 2.3 DEFECTOS DE SOLIDIFICACIÓN
 - 2.3.1 CONTRACCIÓN INTERDENDRITICA
 - 2.3.2 POROSIDAD GASEOSA
- 2.4 ALEACIONES ALUMINIO – SILICIO
 - 2.4.1 SOLIDIFICACIÓN EN ALEACIONES ALUMINIO – SILICIO
- 2.5 FUNDICIÓN EN MOLDE SEMIPERMANENTE POR EL SISTEMA DE BAJA PRESIÓN
- 2.6 MAMELONES DE FIJACIÓN

CAPÍTULO 3 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

- 3.1 MODELACIÓN
- 3.2 SIMULACIÓN
 - 3.2.1 PREPROCESADO

CAPÍTULO 4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 4.1 CREACIÓN DEL DUMBOX
- 4.2 CORAZONES DE ARENA
- 4.3 MOLDEO

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 PRIMERA SIMULACIÓN Y PRIMER VACIADO

5.2 SEGUNDA SIMULACIÓN Y SEGUNDO VACIADO

5.3 ANÁLISIS

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

6.2 RECOMENDACIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Un componente indispensable en un motor automotriz es la cabeza, la cual es necesaria para definir la potencia y torque del motor. En la cabeza encontramos entre otros componentes cámaras de combustión, puertos de admisión, puertos de escape, válvulas de admisión y escape, bujías, inyectores, árbol de levas, mamelones de fijación, estos últimos se utilizan como soporte para sujetar a través de unos tornillos la cabeza y el monoblock.

Desde hace diez años la tendencia del material para las cabezas ha sido el aluminio desplazando al hierro. Todavía en la actualidad existen cabezas en hierro que tienden a ser desplazadas por aluminio esto debido que la densidad del aluminio es 2.7 gr/cm^3 contra 7 grm/cm^3 del hierro lo que produce una pieza 2.6 veces más ligera. En el tema a desarrollado se utiliza como materia prima el aluminio A319 (Al-Si) .

Desde el inicio del diseño de la cabeza automotriz se tiene que seleccionar el proceso de fundición en el cual se fabricará, y el diseño de la misma tiene que considerar los aspectos característicos del proceso seleccionado. Si no se consideran se necesitaran cambios considerables para lograr su fabricación.

Existen diferentes procesos de fundición para la fabricación de las cabezas, cada uno de estos tiene sus ventajas y sus bemoles. Los

procesos de fundición más conocidos para la fabricación de cabezas automotrices son: gravedad en molde semipermanente, proceso Cossworth, proceso Roto Cast y el proceso de Baja Presión. Es este último es en el cual estudiaremos un defecto de producto ocasionado por el proceso de fabricación.

El diseño de la cabeza es iniciado por el departamento de ingeniería de las armadoras inicia primeramente con cámaras de combustión, puertos de admisión, puertos de escape y chaqueta de agua. Una vez que el diseño conceptual de la cabeza esta listo ya sea la fundición interna o externa se requiere una constante retroalimentación de aspectos del proceso de fundición seleccionado para reflejarlos en el diseño final de la cabeza y sea factible su producción.

Existen funciones que son parte de las armadoras automotrices y las fundiciones independientes. En la actualidad la tendencia de las armadoras occidentales es comprar las cabezas a las fundiciones independientes pero las armadoras orientales prefieren seguir con sus propias fundiciones.

A pesar de que el proceso de baja presión tiene una ventaja contra los demás procesos, el de no requerir mazarota, que generalmente el peso de esta oscila entre un 50-80% del peso de la cabeza, y esto implica un costo alto de transformación ya que se recicla, además debido a que la parte superior o galería superior de aceite se utiliza un molde de acero, requiere menos del 50% de uso de arena sílica que representa también un ahorro sustancial de materia prima, en equipos, herramientas y personal para la fabricación del corazón

superior o galería superior de aceite. El proceso de baja presión tiene uno o dos problemas característicos. Nosotros tomaremos un problema relacionado con los mamelones de fijación relacionado con la aparición de porosidad en ellos.

Una propuesta para resolver el problema mencionado con anterioridad es el efecto de aligeramientos de arena insertados en la galería de aceite inferior, provocando una cavidad en los mamelones de fijación, para tratar de desplazar la porosidad hacia las entradas de llenado de la pieza que se maquinan y por lo tanto queda fuera de la cabeza.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 PRINCIPIOS DE SOLIDIFICACIÓN

El estudio de la solidificación es de gran importancia debido a este proceso determina varias propiedades mecánicas de las piezas fundidas de la pieza fundida debido a las estructuras formadas durante este proceso. En prácticamente todos los metales y aleaciones, en algún momento de su transformación pasa por el estado líquido. El líquido se solidifica al enfriarse por debajo de su temperatura de solidificación. El material puede ser utilizado tal como se solidificó o puede ser procesado posteriormente mediante trabajo mecánico o tratamiento térmico [1]. Durante la solidificación, la estructura atómica cambia a una estructura cristalina.

El proceso de solidificación involucra principalmente tres etapas: la nucleación, el crecimiento y micro segregación

2.1.1 NUCLEACIÓN

Un material se solidifica cuando el líquido se enfría por debajo de su temperatura de fusión, ya que la energía asociada con la estructura cristalina del sólido es en ese momento menor que la energía del líquido. Esta diferencia en energía entre el líquido y sólido es el cambio de energía libre de volumen ΔG_v ; conforme aumenta de tamaño el sólido, ΔG_v se hace mayor.

Sin embargo cuando se forma el sólido, se crea una interfase entre éste y el resto del líquido.

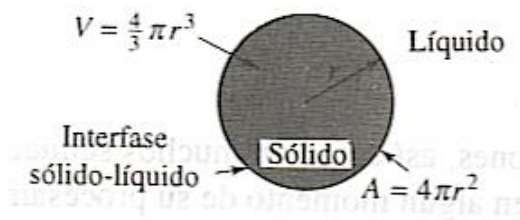


Fig.1 Se crea una interfase cuando se forma un sólido a partir de líquido.

El proceso de nucleación juega un papel muy importante en la solidificación de las piezas vaciadas, ya que ejerce una influencia en el tamaño, morfología y composición de las micro estructuras generadas. [1]

2.1.2 NUCLEACIÓN HOMOGÉNEA

Esta nucleación homogénea ocurre cuando el enfriamiento por debajo de la temperatura de solidificación es muy grande y se forma un núcleo estable.

Considerando un volumen dado de líquido a una temperatura ΔT debajo de la temperatura de fusión de equilibrio (T_m) con una energía libre G_1 (2). Si algunos de los átomos del líquido se agrupan para formar una pequeña esfera de sólido la energía libre del sistema cambiará a G_2 :

$$G_2 = V_S G_V^S + V_L G_V^L + A_{SL} \gamma_{SL} \quad (1)$$

Donde V_S es el volumen de la esfera sólida, V_L el volumen del líquido, A_{SL} es el área interfacial sólido / líquido, G_V^S y G_V^L son las energías libres por unidad de volumen de sólido y líquido respectivamente (energías libres volumétricas), y γ_{SL} es la energía libre interfacial sólido / líquido. La energía libre del sistema sin ningún sólido presente está dada por:

$$G_1 = (V_S + V_L) G_V^L \quad (2)$$

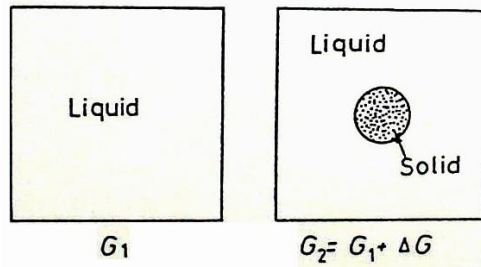


Figura 3. Nucleación homogénea

La formación del sólido resulta de un cambio en la energía libre:

$$\Delta G = G_2 - G_1 \quad (3)$$

donde $\Delta G = -V_s \Delta G_v + A_{SL} \gamma_{SL}$ (4) y $\Delta G_v = G_v^L - G_v^S$ (5)

Para un subenfriamiento ΔT , ΔG_v está dado como:

$$\Delta G_v = \frac{L_v \Delta T}{T_m} \quad (6)$$

Donde L_v es el calor latente de fusión por unidad de volumen. Debajo de T_m , ΔG_v es positivo por lo que la energía libre asociada con la formación de un pequeño volumen de sólido tiene una contribución negativa, pero la contribución es positiva para la creación de una interfase sólida / líquida. La energía libre total liberada durante

formación de un núcleo de radio esférico r es:

$$\Delta G_r = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \gamma_{SL} \quad (7)$$

Un cambio en la energía libre depende del tamaño del núcleo (de radio r), a su vez, el crecimiento en el tamaño de éste requiere de un incremento en la energía libre, por lo que si el núcleo no alcanza un tamaño crítico (r^*) en un tiempo determinado, es decir en caso $r < r^*$, en lugar de crecer se redisuelve, ocasionando que la energía libre disminuya y el material permanezca líquido. Las partículas sólidas inestables con $r < r^*$ se conocen como clusters o embriones, mientras que las partículas sólidas estables con $r > r^*$ se nombran como núcleo- r^* o tamaño crítico de núcleo. (ver Fig. 3)

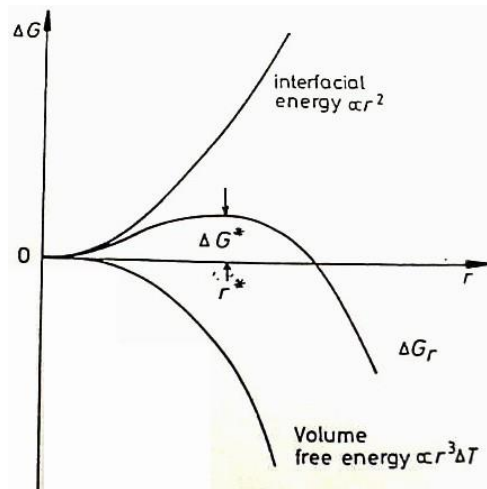


Figura 3. Cambio de energía libre asociada con la

nucleación homogénea

2.1.3 NUCLEACIÓN HETEROGENEA

La nucleación homogénea es el camino cinético más difícil para la formación de cristales debido a la barrera relativamente grande que presenta la energía libre superficial para el desarrollo de los núcleos. Para superar esta barrera la teoría clásica de nucleación homogénea predice que se necesitan grandes valores de sobreenfriamientos, sin embargo, en las operaciones industriales de fundición no se dan enfriamientos fuertes y normalmente varían entre 0.1 y 10 °C. Debido a este comportamiento la nucleación no puede ser homogénea y se da de manera heterogénea. En este tipo de mecanismos, la nucleación se desarrolla principalmente en las superficies de impurezas contenidas en el líquido y en las paredes del recipiente que lo contiene. [2]

La nucleación heterogénea se debe a que estos agentes de nucleación (impurezas sólidas o recipiente) proporcionan superficies en donde es más fácil la formación de embriones, ya que la energía superficial para formar un núcleo estable es más baja en comparación con la necesaria para formarlo en el mismo líquido (nucleación homogénea), debido a que se obtiene radios de curvatura mayores que el radio crítico con muy poca superficie total entre el sólido y el líquido. (figura 5)

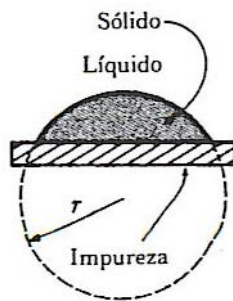


Figura 5. Nucleación heterogénea sobre una impureza. [1]

En ocasiones se agregan intencionalmente impurezas al metal líquido para favorecer la nucleación heterogénea. A estas impurezas se les conoce como inoculantes o refinadores de grano, éstos producen un gran número de granos, donde cada grano crece a partir de un núcleo. Esto ayuda al endurecimiento del material, debido a que se forma un mayor número de fronteras de grano.

La nucleación se efectúa más fácilmente a pequeños subenfriamientos, el término de energía interfacial debe reducirse. Una forma de llevar a cabo esto es si el núcleo se forma en contacto con la pared del molde. Se considera un embrión sólido formado en contacto con una pared laminar del molde (ver Fig. 6). Asumiendo que Δ_{SL} es isotrópico se puede demostrar que para un volumen dado de sólido la energía total interfacial del sistema es minimizada si el embrión tiene la forma de una capa esférica con un ángulo de contacto (o húmedo) Δ determinado por la condición del balance de tensiones interfaciales Δ_{ML} , Δ_{SM} y Δ_{SL} en el plano de la pared del molde.

$$\gamma_{ML} = \gamma_{SM} + \gamma_{SL} \cos \theta \quad (8)$$

$$\cos \theta = (\gamma_{ML} - \gamma_{SM}) / \gamma_{SL} \quad (9)$$

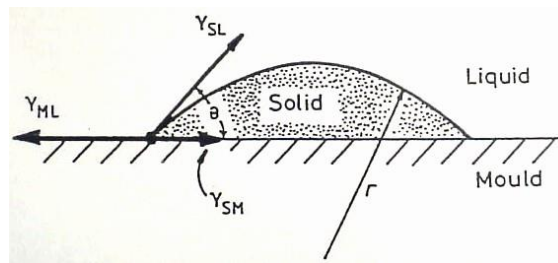


Figura 6. Nucleación Heterogénea de capa esférica sobre una pared laminar del molde [3]:

La componente vertical de γ_{SL} permanece sin balancear. Por un tiempo determinado esta fuerza jalará la superficie del molde hacia arriba hasta que la tensión superficial balancee las fuerzas en todas direcciones.

La formación de un embrión como el anterior será asociado con un exceso en la energía libre dada por:

$$\Delta G_{het} = -V_s \Delta G_V + A_{SL} \gamma_{SL} + A_{SM} \gamma_{SM} - A_{SM} \gamma_{ML} \quad (10)$$

donde V_s es el volumen de la capa esférica, A_{SL} y A_{SM} son las áreas de las interfases sólido / líquido y sólido / molde, y γ_{SL} , γ_{SM} , y γ_{ML} son las energías libres de las interfases sólido / líquido, sólido / molde y molde / líquido. La ecuación 10 puede describirse en términos del ángulo de contacto (θ) y el

radio de la capa (r) como:

$$\Delta G_{het} = \left\{ -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma_{SL} \right\} S(\theta) \quad (11)$$

donde

$$S(\theta) = (2 + \cos \theta)(1 - \cos \theta)^2 / 4 \quad (12)$$

La ecuación 11 es la misma que la obtenida para el caso de la nucleación homogénea, excepto por el término de $S(\theta)$, el cual tiene un valor ≤ 1 dependiente solo de θ , es decir de la forma del núcleo, puesto que actúa como un factor de forma. La figura 6 muestra la comparación entre ΔG_{het} y ΔG_{hom} . Diferenciando la ecuación 11 se llega a:

$$r^* = \frac{2\gamma_{SL}}{\Delta G_v} \quad (13) \quad \text{y} \quad \Delta G^* = \frac{16\pi\gamma_{SL}^3}{3\Delta G_v^2} S(\theta) \quad (14)$$

La barrera de la energía de activación en la nucleación heterogénea (ΔG^*_{het}) es más pequeña que ΔG^*_{hom} por el factor de forma $S(\theta)$, ya que este término varía de 0 a 1 conforme el ángulo θ varía de 0 a 180°. Además el radio de núcleo crítico (r^*) no es afectado por la pared del molde y sólo depende del subenfriamiento.

$$\Delta G^*_{het} = S(\theta)\Delta G^*_{hom} \quad (15)$$

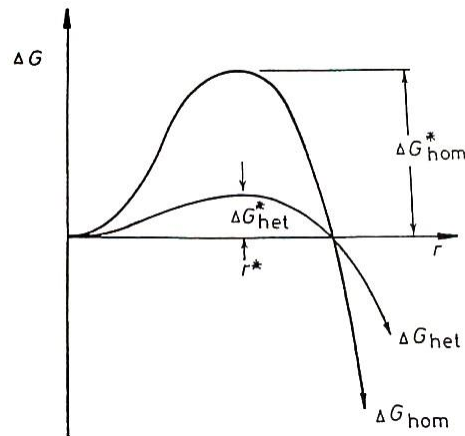


Figura 6. La energía libre en exceso de los clusters (agrupamientos) para la nucleación homogénea y heterogénea. Nótese que r^* es independiente del lugar de nucleación [3].

2.2 CRECIMIENTO

Una vez formados los núcleos, el crecimiento ocurre conforme los átomos se integran a la superficie del sólido. La naturaleza del crecimiento del sólido. La naturaleza del crecimiento del sólido dependerá de la forma en que se va extrayendo el calor del sistema. Deben extraerse dos tipos de calor: el calor específico del líquido y el calor latente de fusión.

El calor específico es el calor necesario para cambiar en un grado la temperatura de una unidad de peso del material. El calor específico deberá ser eliminado primero, ya sea por radiación hacia la atmósfera circundante, o por conducción a través del molde que contiene el material, hasta que el líquido se enfríe a su temperatura de solidificación. Antes de que se complete la solidificación deberá eliminarse de la interfase sólido-líquido el calor latente de fusión. La manera en la cual se libere o retire este calor determinará el mecanismo de crecimiento de los núcleos y la estructura final [1].

Cuando la temperatura en la interfase es exactamente la temperatura de fusión o línea de líquidos, y cualquier otro punto lejos de la interfase está por encima de esta temperatura, la interfase crecerá de una manera estable y planar (Fig. 8a) y cualquier geometría que surja como producto de alguna inestabilidad en la interfase se disolverá al encontrarse en un ambiente sobrecalentado. Pero si la aleación presenta un sobreenfriamiento constitucional, la fase planar se vuelve inestable y cambiará a una interfase dendrítica. (Ver Fig. 8b) Al ir aumentando la cantidad de sobreenfriamiento constitucional la interfase sufre diferentes tipos de transformaciones debidas a la inestabilidad provocada por el sobreenfriamiento, pasando de una interfase planar a una celular y finalmente a una dendrítica (Ver Fig. 9). [4]

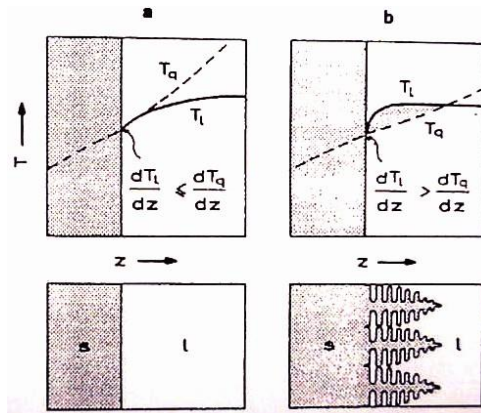


Figura 8. a) Crecimiento planar, sin sobreenfriamiento constitucional; b) Crecimiento dendrítico debido al sobreenfriamiento constitucional [4].

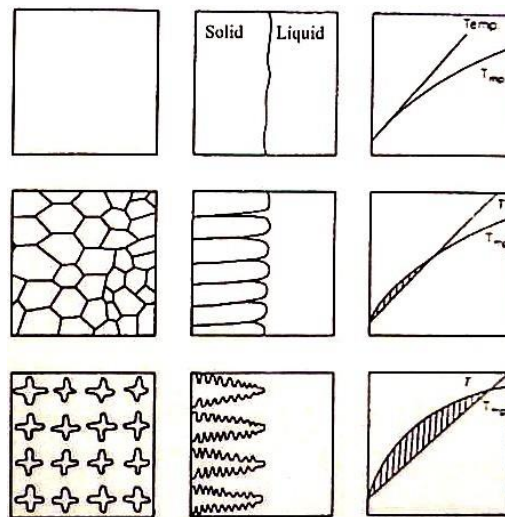


Figura 9. Morfología de las interfaces al aumentar el sobreenfriamiento constitucional (TS-TL) [4].

Conforme crecen las dendritas, el calor latente de fusión es conducido hacia el líquido sub enfriado, subiendo la temperatura del líquido hacia la temperatura de enfriamiento. Los brazos dendríticos secundarios y ternarios se pueden formar sobre las ramas primarias para acelerar la evolución del calor latente. El crecimiento dendrítico continúa hasta que el líquido alcanza su temperatura de solidificación. Cualquier líquido remanente solidifica por crecimiento planar. La diferencia entre el crecimiento planar y el dendrítico consiste en diferentes formas de disminuir el calor latente. El molde debe absorber el calor en el crecimiento planar (Fig. 10a), pero el líquido subenfriado absorbe el calor en el crecimiento dendrítico (Fig. 10b).

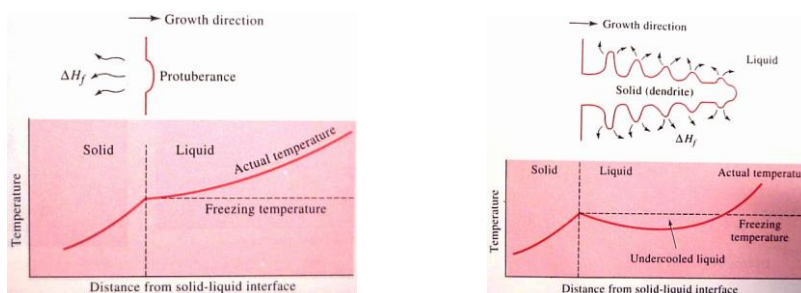


Figura 10 a) Cuando la temperatura del líquido está sobre la temperatura de solidificación no existe formación de protuberancia sobre la interfase sólido-líquido, manteniéndose la interfase planar. El calor latente es removido desde la interfase a través del sólido. b) Si el líquido es subenfriado, puede crecer rápidamente una protuberancia sobre la interfase sólida-líquida. El calor latente de fusión se remueve aproximando la temperatura del líquido hasta la temperatura de solidificación [1].

$$t_f = K \left(\frac{V_C}{A_C} \right)^2 \quad (16)$$

Donde V_C es el volumen vaciado y representa la cantidad de calor que debe ser removido antes de que termine la solidificación, A_C es el área superficial del vaciado en contacto con el molde y representa la superficie por donde será extraído el calor, n es una constante que por lo general vale 2, y K es una constante que depende del metal y del molde, y se ve afectada por la temperatura del molde, temperatura del metal, la densidad del metal durante la solidificación, el calor específico del molde, la densidad del molde, la conductividad térmica del metal, la conductividad térmica del molde, y del calor específico del metal.

El tiempo local de solidificación es el tiempo requerido para remover sólo el calor latente de fusión en una zona particular del vaciado, y su medición abarca desde que la solidificación comienza hasta que se completa (Fig. 11)

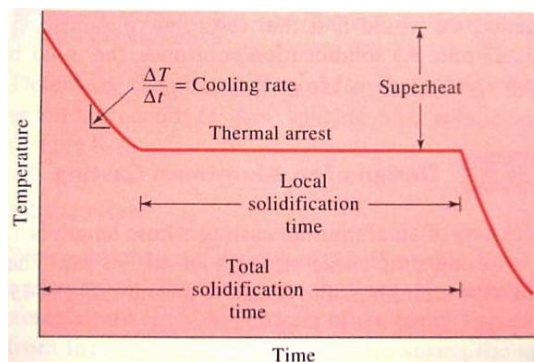


Figura 11. Curva de enfriamiento para la solidificación de un material puro [1]

2.3 DEFECTOS DE SOLIDIFICACIÓN

Existen diferentes factores por que una pieza vaciada pueda presentar defectos, debido al diseño de la pieza, valores de operación de las líneas de enfriamientos a través de los moldes, tiempos de ciclo, etcétera. El principal defecto del proceso de solidificación es debido a la porosidad. Existen diferentes tipos de porosidades como por contracción, micro porosidad, gaseosa etcétera.

Cuando no existe gas y existe una buena alimentación ninguna porosidad aparecería en el casting. Desgraciadamente el mundo real esto es imposible por que los casting de las cabezas automotrices son de geometría muy compleja. Cuando un casting no es bien alimentado podemos obtener una tensión interna hidrostática a la cual un poro interno puede formarse en muchas maneras.

La mayoría de los materiales son más densos en estado sólido que en estado líquido. Durante la solidificación el material se contrae, es decir, se encoge en el Aluminio un 7 %. La mayor parte de la contracción produce cavidades, si la solidificación se inicia en toda la superficie de la pieza. Si una de las superficies se solidifica más lentamente que las demás, la contracción aparece en forma de rechupe. [5]

2.3.1 CONTRACCIÓN INTERDENDRÍTICA

Consiste en la formación de poros debido a contracciones en las dendritas (figura12). Este defecto, también conocido como microcontracción o porosidad por contracción, es difícil de evitar mediante mazarotas, las altas velocidades de enfriamiento pueden reducir los problemas de la contracción ínter dendrítica; las dendritas pueden reducirse en su longitud, permitiendo que el líquido fluya a través de la red dendrítica hacia la interfase del frente de solidificación. Además, cualquier contracción remanente puede hacerse más fina y más uniformemente distribuida [1].

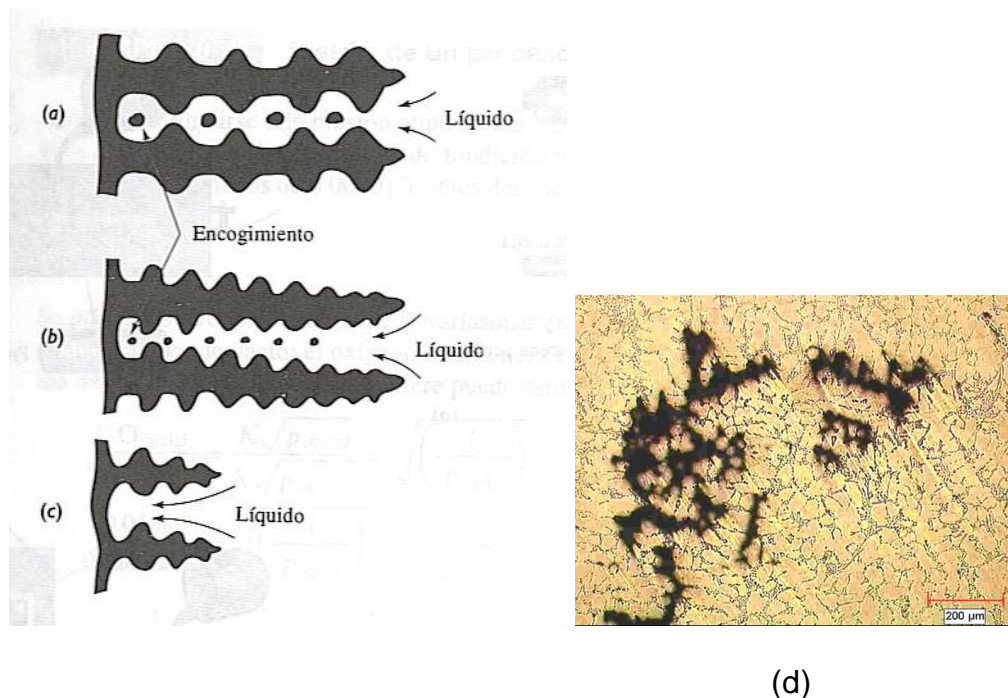


Figura 12. (a) Puede ocurrir contracción volumétrica del líquido que se encuentra entre los brazos dendríticos. A menor espaciamento entre los brazos de las dendritas, se obtendrá una porosidad más pequeña y uniformemente distribuida (b). Si los brazos primarios son cortos evitarán que

la contracción ocurra (c). La contracción ínter dendrítica en una aleación de aluminio se muestra en (d).

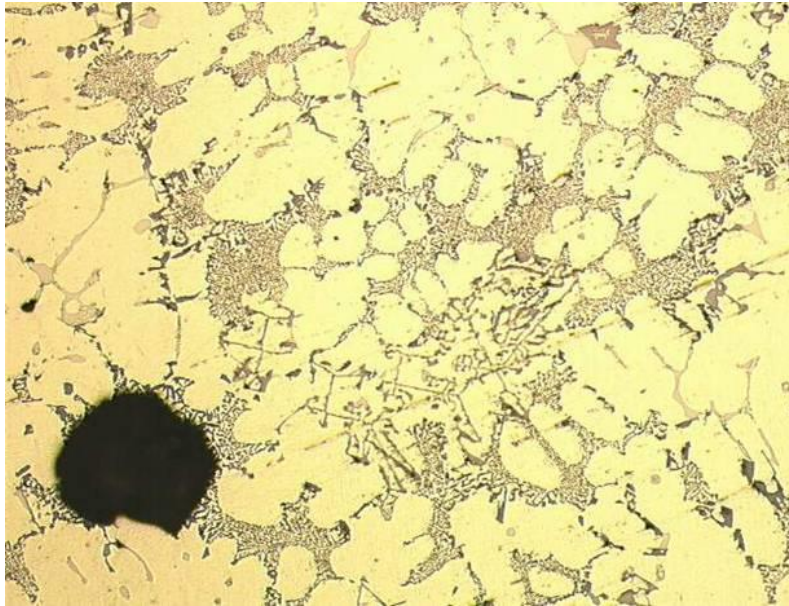
2.3.2 POROSIDAD GASEOSA

Muchos metales en estado líquido disuelven gran cantidad de gas. Por ejemplo el aluminio líquido permite la incorporación de hidrógeno en solución. Sin embargo, al solidificarse, el aluminio sólo puede retener en su estructura una pequeña fracción del gas. El hidrógeno excedente forma burbujas que pueden quedar atrapadas en el metal sólido, produciendo porosidad gaseosa. La cantidad de gas que se puede disolver en un metal fundido está dada por la ley de Sievert:

$$\text{Porcentaje de gas} = K\sqrt{p_{\text{gas}}},$$

Donde p_{gas} es la presión inicial del gas en contacto con el metal y K es una constante específica para un sistema metal-gas, que aumenta con el incremento de la temperatura. Se puede minimizar la porosidad de gas en las fundiciones manteniendo baja la temperatura del líquido; agregando materiales al líquido para que se combinen con dicho gas formando un sólido, o asegurándose de mantener baja la presión parcial de dicho gas. Este último se puede conseguir colocando el metal fundido en una cámara de vacío, o haciendo pasar burbujas de gas inerte a través de dicho metal. Dado que P_{gas} tiene un valor bajo cuando el metal líquido se somete a vacío o a burbujeo,

el gas disuelto abandonará el metal, y se introducirá en el sistema que genera el vacío o en las burbujas de gas inerte[1].



Porosidad gaseosa en una aleación aluminio- silicio.

2.4 ALEACIONES ALUMINIO - SILICIO

El aluminio es uno de los más versátiles de los materiales en la industria de la fundición. Existen varias ventajas del aluminio por ejemplo su baja densidad 2.7 gr/cm³ en comparación con el hierro 7 gr/cm³, otra ventaja es su bajo punto de fusión 700 °C en comparación con otros materiales, su fácil manejo etcétera.

Aleaciones con Si es la más importante aleación de aluminio en la industria de la fundición principalmente por que su alta fluidez impartida por los altos relativos volúmenes de Al-Si eutético. Otra de las ventajas es su alta resistencia a la corrosión, buena soldabilidad y el hecho de que la fase silicio reduce la contracción durante la solidificación y el coeficiente térmico de expansión de los productos vaciados. Sin embargo la maquinabilidad podría presentar dificultades por la presencia de partículas duras de silicio dentro de su micro estructura. Comercialmente aleaciones hipoeutéicas se pueden encontrar y menos común las hipereutéicas[6].

2.4.1 SOLIDIFICACIÓN EN ALEACIONES ALUMINIO SILICIO

La principal característica de este tipo de aleaciones es la formación de la fase eutética Al-Si en contenidos de silicio de entre 11.5 -12%. Dependiendo de la cantidad de silicio, estas aleaciones se pueden dividir en tres grupos: aleaciones hipoeutéticas con contenidos de entre 5 y 10 % de silicio, aleaciones eutéticas con contenido del 11-13%, y finalmente las hipereutéticas que contienen entre 14 y 20% de silicio.

En general, la solidificación en las aleaciones hipoeutéticas comienzan con la formación de dendritas de aluminio α , seguida por la reacción eutética de Al-Si y terminando con la precipitación de otras fases eutéticas secundarias como Mg_2Si y Al_2Cu . En la solidificación de una aleación hipereutética habrá precipitación de partículas de silicio antes de eutético. Además de las principales reacciones mencionadas anteriormente, la precipitación de diferentes fases o compuestos inter metálicos que contienen hierro y manganeso tendrán lugar[7].

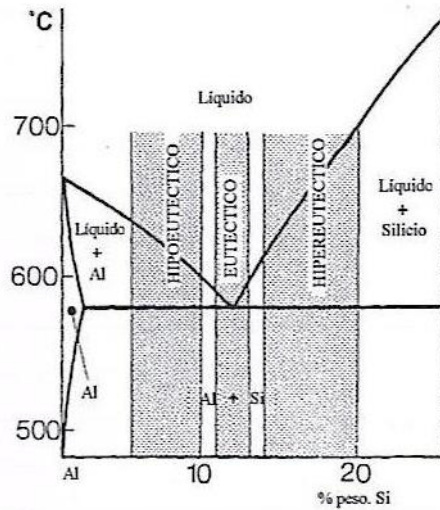


Figura 15. Diagrama de fases Al-Si mostrando los intervalos de composición para las tres diferentes familias de aleaciones Al-Si [7].

Una gran cantidad de metales pueden ser aleados con el aluminio o dependiendo de la pureza del material base, pueden existir como impurezas, de las cuales algunos pueden servir para endurecer la solución sólida o para la formación de varios compuestos intermetálicos que pueden ser deseables o no en la aleación. Entre otros elementos que regularmente se añaden al aluminio se encuentran: zinc, magnesio, cobre, litio, hierro, estaño, manganeso [7].

2.5 FUNDICIÓN EN MOLDE SEMIPERMANENTE POR EL SISTEMA DE BAJA PRESION

Este sistema de tuvo sus orígenes en Inglaterra a principios del siglo pasado, pero recobrando su auge en los años ´80s con Renualt desarrollado para cabezas teniendo su principal impulsor por el Frances J.H. Lefebvre, como resultado de un desarrollo anticontaminante, ahorrador de energía y tratando de resolver problemas que por el proceso de gravedad no se podían cumplir. Dentro de los objetivos de este proceso era alcanzar espesores de paredes más bajas 4 - 5 mm, acabado superficial, mejorar condiciones de trabajo, ahorrador de energético, entre otros. Este proceso ayuda a resolver los problemas de llenado de paredes delgadas y aisladas por los pasajes complejos de la cabeza automotriz. Los corazones de espesores de pared delgados producen puntos calientes los cuales pueden ocasionar porosidades posteriores[8].

Una descripción del proceso de baja presión consiste en un dado de metal es montado y sellado sobre un horno conteniendo metal fundido. Un tubo refractario llamado riser se extiende desde la parte inferior de los dados hasta el horno dentro del metal fundido.

Se presuriza el horno desde la parte superior con aire caliente (15-100 kPa, 1-15 PSI) causando que el metal fundido llene el tubo refractario, suba sin turbulencia y entre las entradas (gates) de las cabezas que generalmente están colocadas debajo de cada mamelón de fijación.



Figura 16. En la figura se muestra de baja presión AW plume.

Existen ciertos puntos de comparación con más cercano competidor de este proceso, el llenado por gravedad entre estas se encuentra:

a.- Turbulencia. Es difícil vaciar un metal bajo el proceso de gravedad sin que se produzca turbulencia, a diferencia de el proceso de baja presión que se llena por unas entradas la parte inferior de la cabeza y se controla el tiempo de llenado, así como la presión con la que se llena [8].

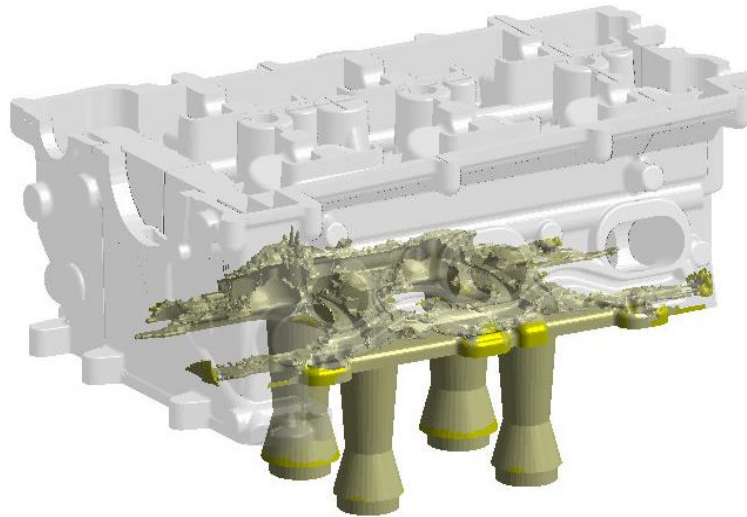


Figura 16. Se muestra como las el proceso de llenado en una cabeza automotriz se llena a través de las entradas de alimentación inferiores.

b.- Venteo. La forma compleja de los corazones hace imposible para los gases escapar a través de un camino continuo de venteo. Con una adecuada presión del líquido el metal se puede conformar, evitando la formación de burbujas producidas por los gases de los corazones de arena [8].

c.-Alimentación. En ciertas cabezas existen dificultades para tener una buena área para colocar las mazorotas para alimentar la cabeza. En ciertos casos el corte de mazarota puede ocasionar

problemas y se requieren herramientas especiales para realizarlo. Existen defectos producidos por la mazarota como los producidos por la contracción, esfuerzos residuales en las partes de conexión, granos largo por mencionar algunos [8].

C.- Ahorros de energía. En gravedad el radio de metal fundido/metal casting, se encuentra alrededor de 1:1.8 a 1:2, en comparación con baja presión que el radio se encuentra desde 1:1.1 a 1:1.15. Este sustancial ahorro de metal usado disminuye la cantidad de energía requerida para todas las etapas como: moldeo, transporte de metal fundido, mantenedores de temperatura para el metal fundido, corte de mazarota, transportación del corte de colada y mazarota. También como en el proceso de baja presión no utiliza el pesado corazón que forma la mazarota en el proceso de gravedad, ahorrando cerca del 50% de la arena utilizada, así como los cajas, sopladoras, manejo del corazón y extracción después de la etapa del moldeo.

2.6 MAMELONES DE FIJACIÓN

Un mamelón de fijación es una zona masiva de aluminio generalmente circular con un diámetro que oscila entre un 35 - 45 mm de diámetro por unos 50 mm de altura. Esta zona en procesos posteriores se realiza un taladrado por el cual se coloca un tornillo de aproximadamente de 12-15 mm de diámetro que realiza la función de mantener unidos a la cabeza y el monoblock en el motor.

El llenado de las cabezas automotrices bajo el proceso mencionado es a través de los mamelones de fijación y esta se realiza a través de entradas circulares en la cara de contacto con el monoblock. Debido a la posición de las entradas estos tienen que ser de un diámetro 25% más grande que en otros procesos.



Figura 18. Se muestran mamelones de fijación en una cabeza automotriz.

Después del llenado de la cabeza se presuriza con aire caliente para empezar con la solidificación, al mismo tiempo se activan líneas de enfriamientos localizados en los moldes. Debido a que las curvas de solidificación se encuentran en medio de la cabeza se quedan atrapados puntos calientes que se convierten en porosidades.

CAPITULO 3

MODELADO Y SIMULACIÓN

3.1 MODELACIÓN

Para realizar una análisis de elementos finitos, diferencias finitas, programas de maquinado, etcétera se necesita primeramente realizar una modelación o una representación matemática de lo deseado. Para el estudio del efecto del aligeramiento de arena en los mamelones de fijación fue necesario modelar un cono en la galería inferior de aceite exactamente en el centro de los mamelones tal como se muestra en la figura 18. Las dimensiones se determinaron del diámetro del maquinado final por el cual pasa los tornillos de fijación entre la cabeza y el monoblock.

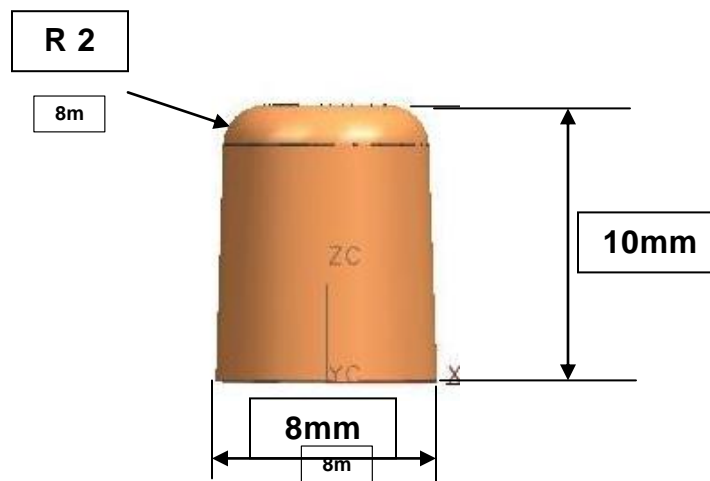


Figura 19. Aligeramiento de arena en galería inferior

El diámetro se determinó debido a que el diámetro del maquinado final es de 12 mm y se necesita dejar 2 mm de sobre material de 2 mm por lado como casting, para que sea removido en el maquinado final en la planta de ensamble. La longitud del cono la determinó el diámetro superior, aunque para nuestro análisis se utilizó un dumb box, la longitud pudiera ser mayor pero para producción en masa se necesita al menos 7 mm de diámetro para colocar ventilas y evitar un corazón esponjoso. El ángulo de desmoldeo es el típico en moldes para corazones de arena que es de 2 grados.

3.2 SIMULACIÓN

Para el método analítico existen diferentes programas CAE (computer Aid Engineering) en nuestro caso se utilizó Magma Soft, que para resolver las ecuaciones matemáticas utiliza el solver de diferencias finitas. Este programa fue especialmente diseñado para la industria de la fundición.

Magma Soft es un software modular que puede simular una amplia diversidad de procesos de fundición, como el proceso de gravedad, el proceso de baja presión, proceso de vaciado en alta presión, etc. Dentro de cada proceso se puede simular el llenado de la pieza, solidificación, esfuerzos residuales, DAS etc.

3.2.1 PREPROCESADO

Las condiciones frontera en una simulación usando MAGMAsoft son el modelo geométrico, determinación del mallado, aleación, coeficientes de transferencia, los parámetros de operación etc. Primeramente el modelo geométrico se introduce en el modulo de preprocesor, los modelos geométricos son los moldes de acero, corazones de arena y los enfriamientos. El modelo se importa es en formato stl ver figura 20.

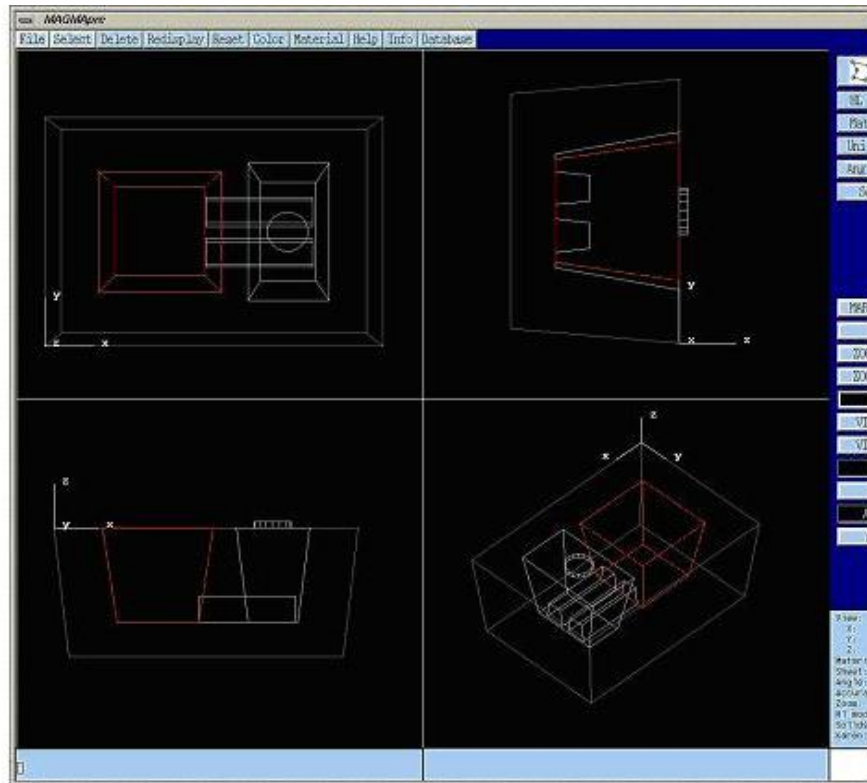


Figura 20. Preprocesador en Magma Soft

Posteriormente se crea la malla del modelo geométrico mediante la opción de “Enmeshment” del menú principal , en este caso se definen los parámetros de tamaño de malla, tamaño de celda (largo, ancho, alto), número de celdas generadas en cada dirección de la pieza (celdas en x, y, z), relación ancho-largo de la celda, número total de celdas generadas un nuestro modelo se generaron 15.8 millones de CV's cubic volumen equations. (Ver figura 21).

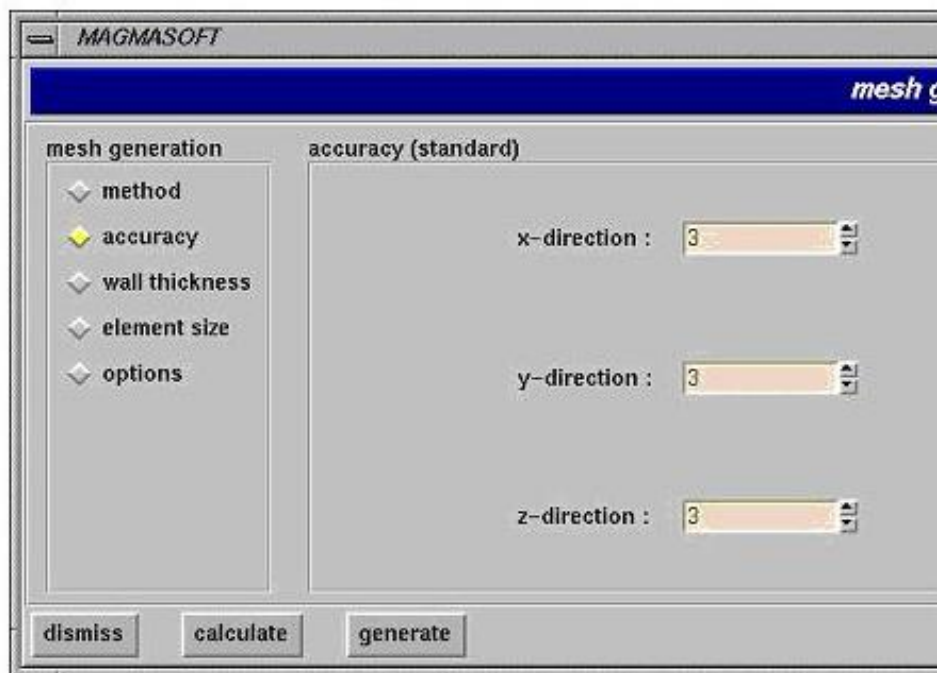


Figura 21. Enmeshment en Magma Soft con las condiciones de mallado.

Después de que el mallado ha sido generado se verifican visualmente las áreas críticas por medio del Postprocessor (Ver figura 22), esto para corroborar que el modelo no se haya visto alterado geoméricamente por el tamaño y número de celdas.

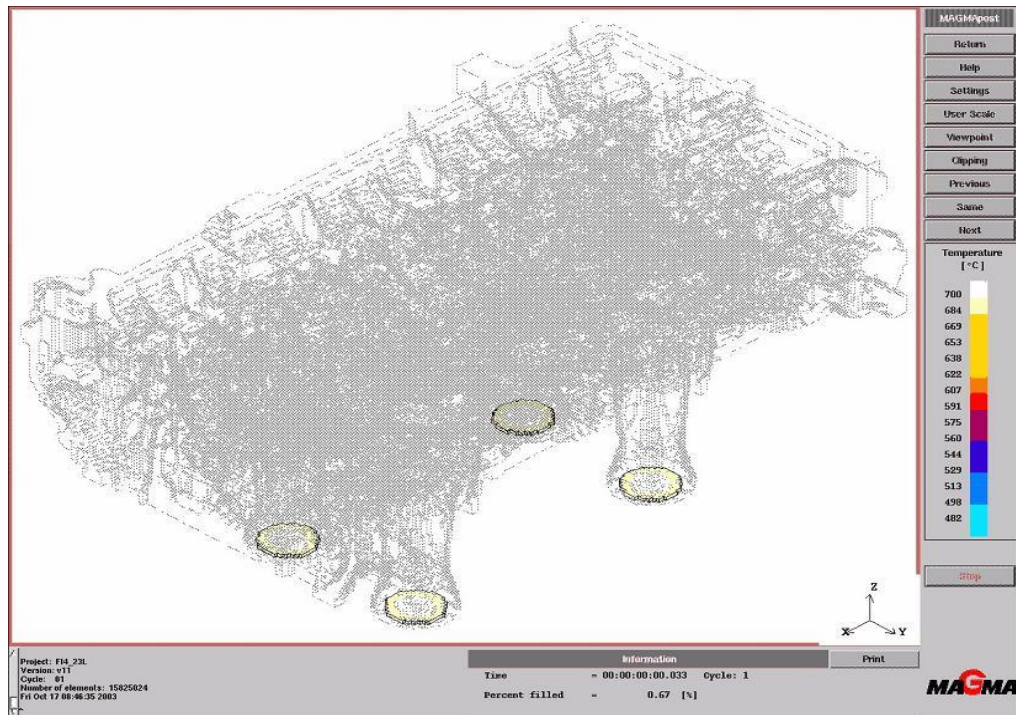


Figura 22. Modelo mallado.

El siguiente paso después del mallado se necesita determinar los materiales utilizados y relacionarlos en el submenú de materials definitions, en el cual se definen sus propiedades de acuerdo a la base de datos existente que tienen definidos los valores con las propiedades de cada material requeridas para la simulación (Ver figura23): tipo de material, temperatura de liquidus, temperatura inicial del material en el sistema, temperatura de solidus. En el submenú “Database” se encuentran almacenadas las propiedades variables en función de la temperatura o constantes en un rango de temperatura, las propiedades importantes para efectuar la simulación del llenado y la solidificación: Densidad, viscosidad, coeficiente de transferencia de calor, conductividad térmica y capacidad calorífica.

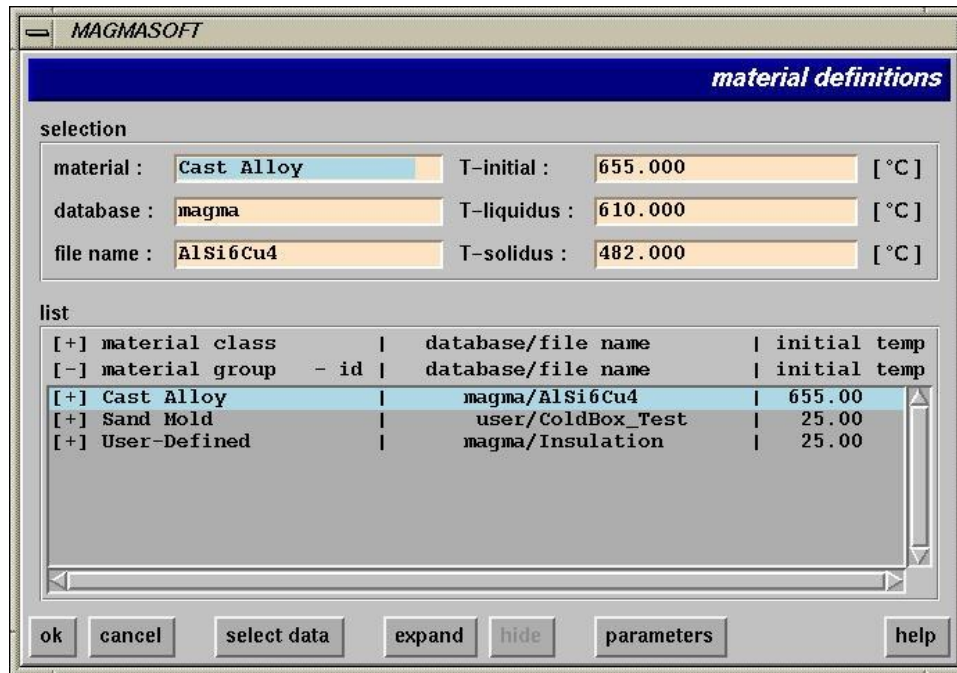


Figura 23. Menú de material definitions donde los materiales usados como el aluminio, arena, moldes y enfriamientos, son relacionados con su base de datos.

Los siguientes pasos son definir los parámetros de llenado y operación que se utilizan en los menús de filling defines y solidification defines.

Los principales parámetros en el menú de filling defines son:

Solver: Éste influye en el tiempo de simulación entre más alto sea la ecuación matemática es más compleja y su tiempo de simulación mayor, pero su predicción es más acertada.

Filling depends on: Es el parámetro que fija el ciclo de llenado, puede ser dependiente del tiempo o de la temperatura.

Filling time: Establece el tiempo total que tarda en efectuarse el ciclo de llenado de la pieza, expresado en segundos.

Los parámetros para la simulación del proceso de solidificación se definen en el submenú 'Solidification Defines' son:

Temperature from filling: Define si se desea o no que la temperatura final del ciclo de llenado del molde se tome como la temperatura inicial del ciclo de solidificación.

Solver: Nivel de aproximación o convergencia en los cálculos matemáticos, éste influye en el tiempo de simulación; su valor fluctúa entre 1 y 4.

Stop simulation: Define la opción a considerar para que el ciclo de solidificación se dé por concluido, que puede ser automática o manual.

Stop value: Para definir la temperatura a la cual se desea concluir la simulación de solidificación, por lo general es la temperatura de solidus.

Calculate feeding: Se define si se desea el efecto de la alimentación del metal líquido sobre la porosidad durante la solidificación.

Feeding effectivity: Valor de porcentaje de efectividad de alimentación.

Para fabricar la pieza se necesitan de moldes valores de temperatura de moldes, corazones y enfriamientos se muestran en las siguientes figuras.

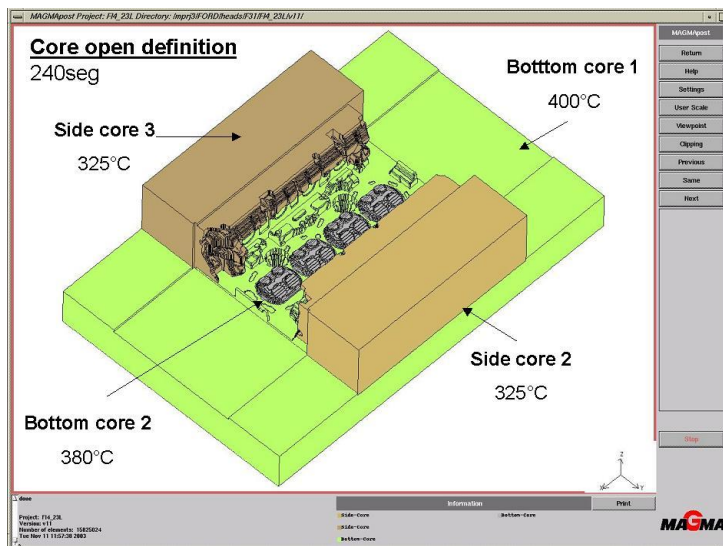


Figura 24. Se muestra las temperatura de la base inferior 400 °C, la base superior 380 °C deslizantes de admisión y escape 325 °C.

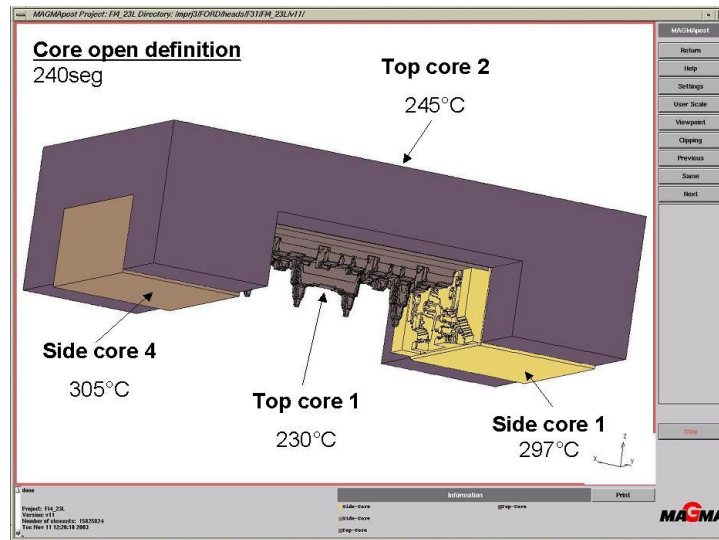


Figura 25. Se muestra las temperatura del molde superior (top) 245 °C, el inserto del molde superior 230 °C, el molde frontal 297 °C y por último el molde trasero 300 °C.

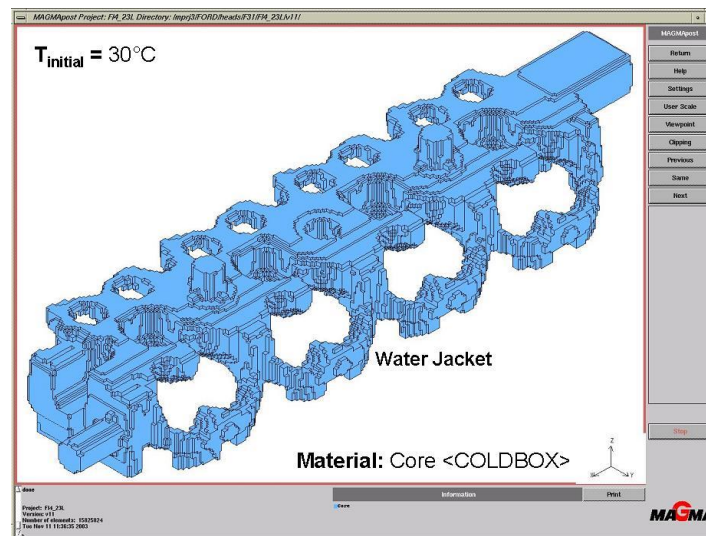


Figura 26. Corazón chaqueta de agua a 30°C antes de vaciar.

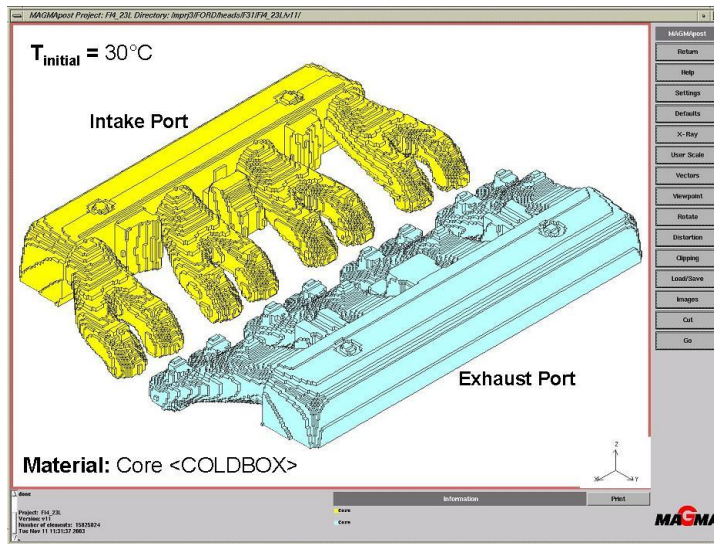


Figura 27. Temperatura de los corazones de admisión y escape que son de 30°C antes de vaciar.

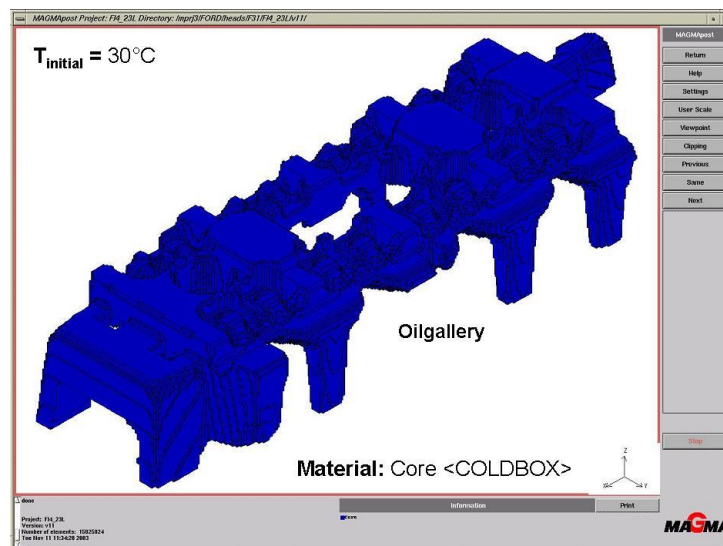


Figura 28. Temperatura del corazón de galería de aceite a una temperatura de 30°C antes de vaciar.

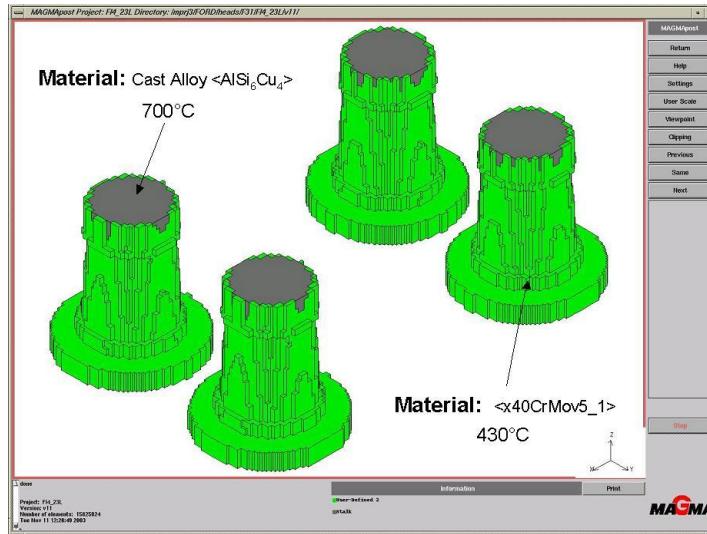


Figura 29. Se muestra la temperatura de los corazones de admisión y escape que son de 30 °C.

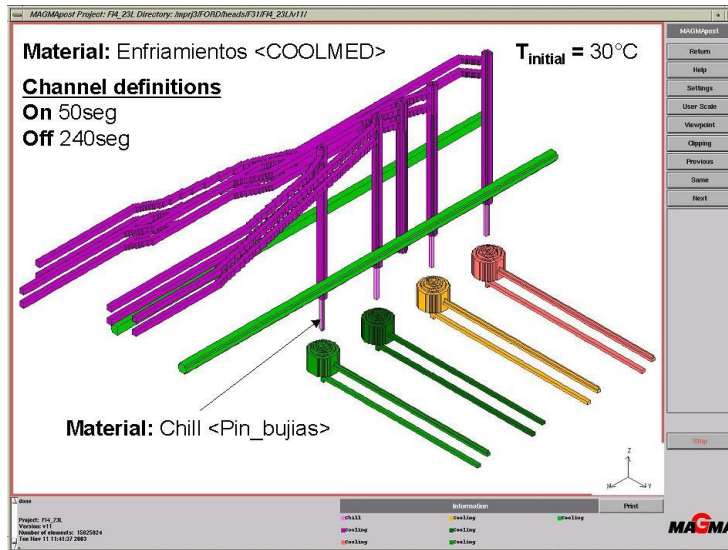


Figura 30. Temperatura de enfriamientos inicial de 30 °C a los 50 segundo de iniciado el vaciado con una duración de 240 segundos.

El siguiente paso después de llenar los parámetros, es iniciar el proceso de simulación el cual se inicia en el submenú de “simulation control”, se selecciona la opción de start para iniciarla y en esta pantalla aparece primeramente el avance en porcentaje del proceso de llenado seguido de el de solidificación. Para revisar resultados preliminares solamente se selecciona la opción de dump, en el cual se guardan los resultados hasta ese momento (ver figura 31).

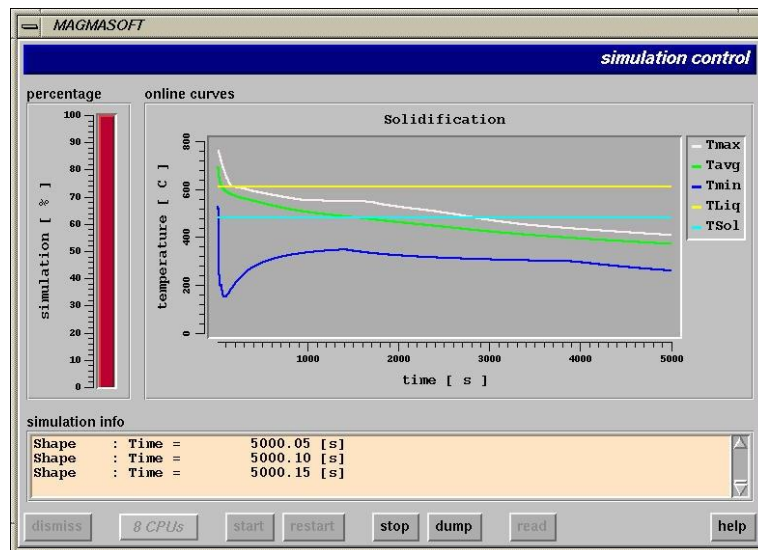


Figura 31. Sub menú de simulation control.

Para nuestro estudio se realizaron dos simulaciones completas de llenado y solidificación. En la primera se realizó sin la propuesta de aligeramiento en el corazón de la galería de aceite y la segunda con la modificación incorporada. Los resultados se analizan en el menú de postprocesor pero estos los compararemos en el siguiente capítulo junto con los resultados de las pruebas físicas.

CAPITULO 4

PRUEBAS FISICAS

4.1 DUMB BOX

El flujo de trabajo para realizar las pruebas físicas fue el que normalmente se realiza en cualquier fundición. Primeramente se necesita tener una cavidad la cual forma la figura deseada. En la fabricación de los aligeramientos de arena agregados en la galería inferior de aceite se había dos alternativas, la primera consistía en modificar una cavidad operativa y la segunda era construir una caja “dumb box” y pegar manualmente los insertos en la galería. Se selecciono la segunda por ser los motivos de operación operativa de la caja.

Para crear el dumb box se necesito un inserto de resina de 20 cms. X 20 cms. Sobre el cual se realizo un maquinado para obtener las cavidades deseadas. Antes de maquinar el inserto de resina se realizó el programa de maquinado utilizando el programa de Work NC en dos secciones. Primero el desbaste con una herramienta toroidal de 3/16´´, siguiendo el acabado con la misma herramienta los parámetros seleccionados de velocidad, avance etc.

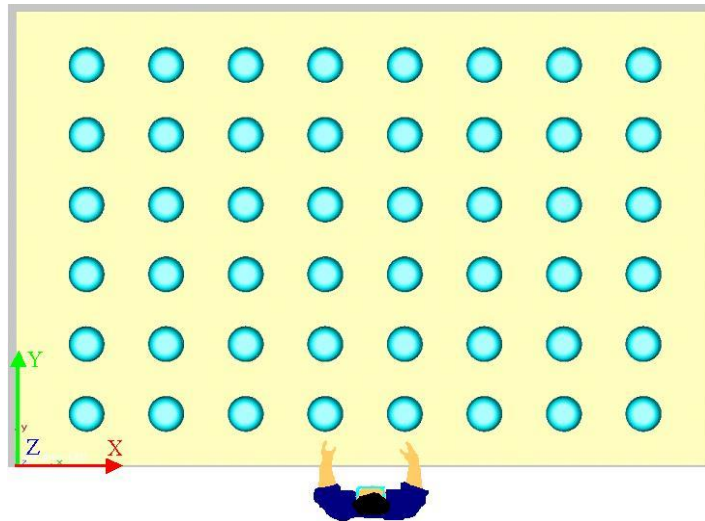


Figura 32. Alineación del inserto de resina en el programa.



Figura 33. Alineación del inserto en la máquina de CNC Zayer.

4.2 CORAZONES DE ARENA

Una vez resuelto el factor “dumb box”, la fabricación de los aligeramientos de arena solamente fue necesario llenar las cavidades con arena y presionar manualmente. Las arenas probadas fueron arena sílica y Oklahoma(ver anexo 1).

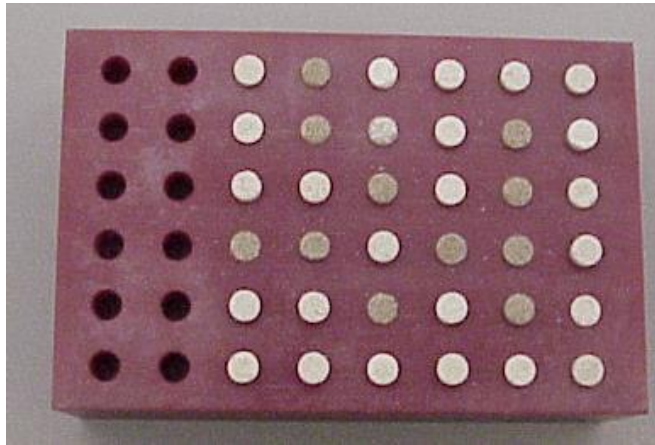


Figura 34. Fabricación de los aligeramientos de arena.

Para obtener una mezcla adecuada para utilizarla en con los además de la resina se necesitan aditivos. Para la fabricación de la galería de aceite se utilizo una caja de corazones con 4 insertos. La presión utilizada en el soplado fue de 15 psi.



Figura 35. Se observa la galería inferior saliendo de la maquina sopladora de corazones.

Obtenidos los aligeramientos y las galerías de aceite sé continuo con el pegado manual colocando un aligeramiento en el centro de cada mamelón de fijación.

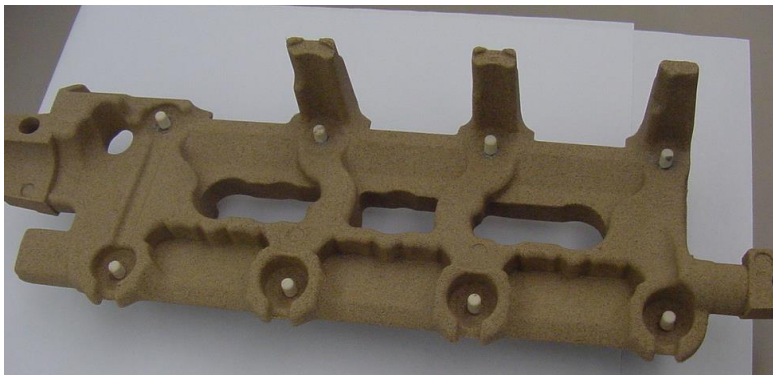


Figura 36. Galería inferior con aligeramientos pegados.

4.3 MOLDEO

El proceso para utilizar el aluminio en las pruebas fue primeramente su fundición en un horno dedicado en él a 700°C, siguiendo el desgasificado con nitrógeno, continuando con el tratamiento con sales de titanio. Una vez realizado los pasos anteriores se lleva al horno mantenedor de la celda de moldeo que se muestra a continuación.



Figura 37. Celda de moldeo de baja presión.

La aleación utilizada fue A319 para su composición verla en el anexo 2. El siguiente paso es colocar los corazones en la base dentro

de la celda de moldeo. Los corazones se colocan manualmente, una vez colocados se le da un barrido con aire comprimido para retirar cualquier polvo o arena dejada.



Figura 38. Colocación de corazones en la celda de moldeo para el proceso de baja presión.

Para que fuera una prueba representativa se vaciaron 20 piezas. Después del moldeo las piezas se colocaron en canastillas para trasladarlas a tratamiento térmico



Figura 39. Colocación de corazones en la celda de moldeo para el proceso de baja presión.

Proceso	Temperatura	Tiempo
Solución	500°C	5 horas
Templado con agua	90°C	5 minutos
Envejecido	185°C	4 horas

Tabla 1. Tratamiento térmico T7

A pesar de que con el tratamiento térmico la resina de los corazones de arena es evaporada, todavía quedan residuos de arena por lo que son removidos con un impactador de alta frecuencia para el corte de las entradas y el rebabeo automático, para luego pasar a la inspección visual, esta consiste en mediciones con gages para medir cámaras de combustión y revisión de piezas golpeadas. Después de la inspección las 20 piezas son enviadas a la inspección de rayos x que es donde se pueden apreciar las porosidades en los mamelones de fijación. El reporte se revisara en el siguiente capitulo.

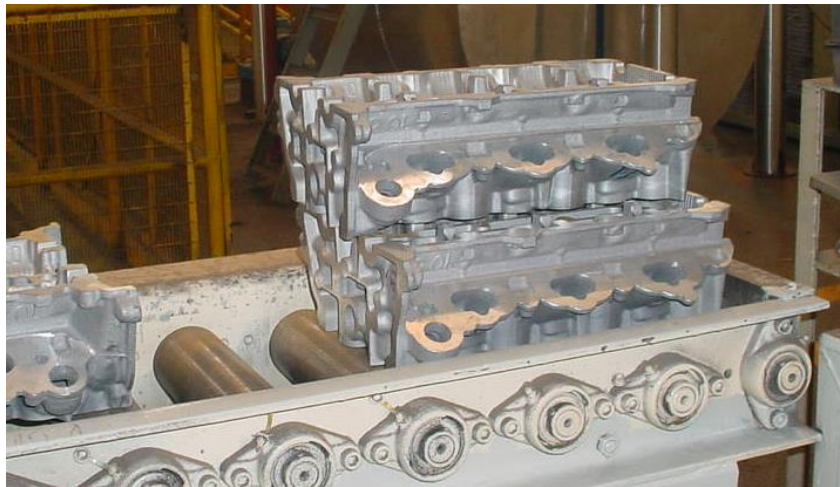


Figura 40. Piezas después de inspección de rayos X.

CAPITULO 5

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 PRIMERA SIMULACIÓN Y PRIMER VACIADO

Para la demostración del efecto de los aligeramientos de arena en los mamelones de fijación se realizaron dos simulaciones en Magma soft (9). Primeramente el análisis de llenado de la cabeza seguido por el de solidificación. De los pasos previos se pueden obtener reportes de las curvas isotérmicas de solidificación, que nos predice si existe un punto caliente que por consecuencia pudiera ser una posible área de porosidad también obtenemos la medición del DAS (dentrity arm space) y finalmente el grado porosidad y su localización.

La primera solidificación se realizó sin considerar los aligeramientos de arena en los mamelones de fijación, con el propósito de correlacionar los resultados físicos con los de la simulación. El número de cubos o mallado fue de 15.8 millones. En la figura 41 se muestra el mallado de la cabeza iniciando su llenado.

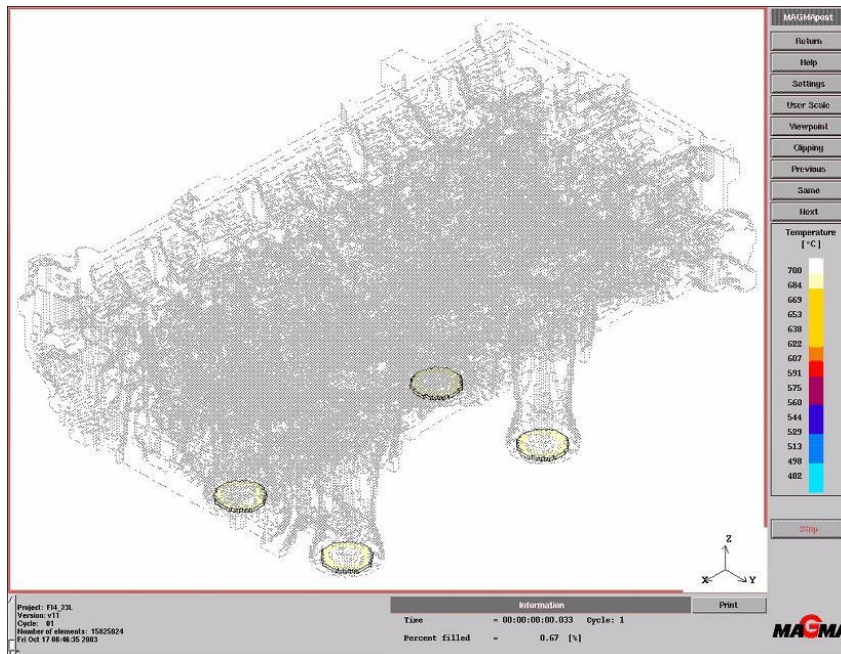


Figura 41 Llenado de la cabeza mostrando también el mallado.

En la figura anterior se muestra como el aluminio entra a través de las entradas inferiores y el mallado entre mas cubos la predicción es mas acertada pero es inverso al tiempo de simulación. El tiempo de ciclo de esta cabeza es de 240 segundos de los cuales el de llenado son 15 segundos el resto es de solidificación. A continuación se muestra la solidificación de la cabeza completa ver figura 42.

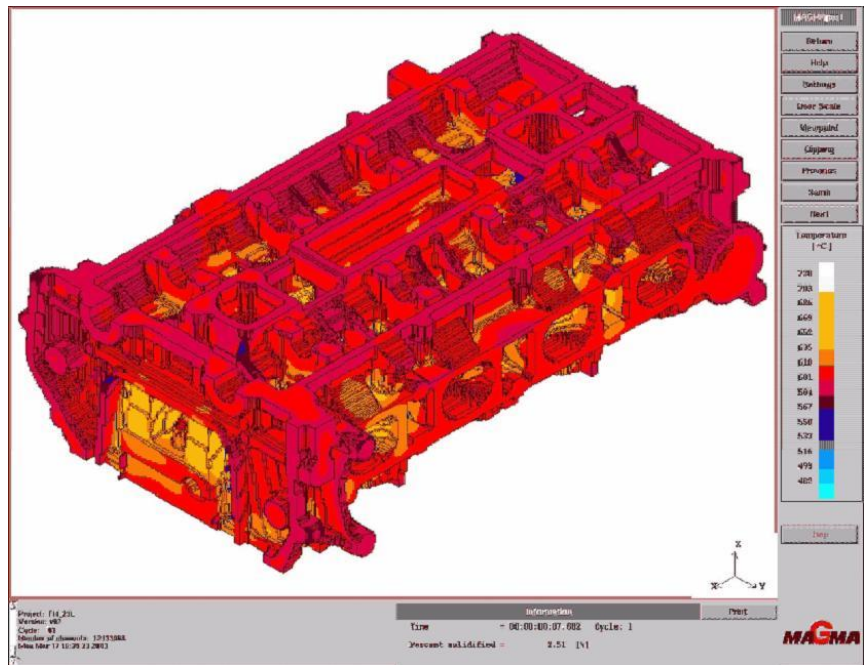


Figura 42. Solidificación de la cabeza en escala de temperatura.

En la figura 42 al 2.5 % de solidificación se aprecia como la cabeza no tiene una solidificación direccionada es decir, no va de la parte inferior a la superior o viceversa. La temperatura mayor se concentra en el centro de la cabeza que es alrededor de 680 °C, ya que es atrapado por la temperatura inferior de la cabeza es de 600 °C y la temperatura superior que es de 580 °C, esto debido a el ciclo de enfriamiento localizado en la parte superior y en la parte inferior es iniciado y tiene una duración de 30 segundos.

El siguiente análisis es realizar una sección a través de los mamelones de fijación para analizar las curvas isotérmicas que nos proporcionan una buena predicción de las posibles zonas con porosidad.

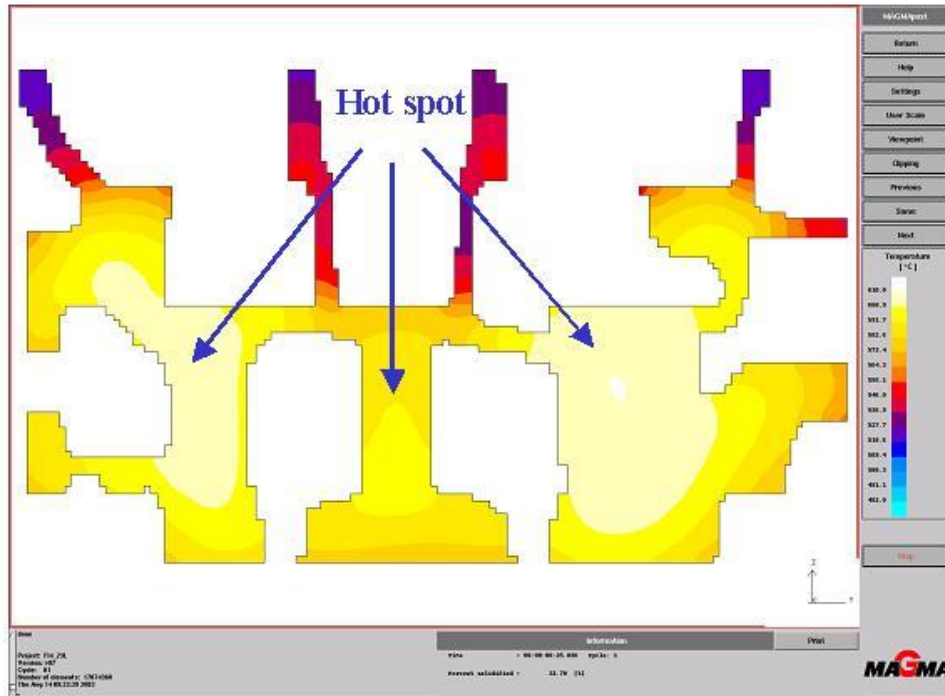


Figura 43. Sección a través de los mamelones de fijación mostrando las curvas isotérmicas de la solidificación.

En la figura 43 se muestran las curvas isotérmicas al 32.7 % de solidificación. En ellas se aprecia una concentración de calor (conocidos en la fundición como puntos calientes) ligeramente arriba del centro de mamelones de fijación, con lo cual se puede predecir posibles problemas con porosidad. En la figura 44 se aprecia una sección transversal de la cabeza mostrando la porosidad predicha por las curvas isométricas.

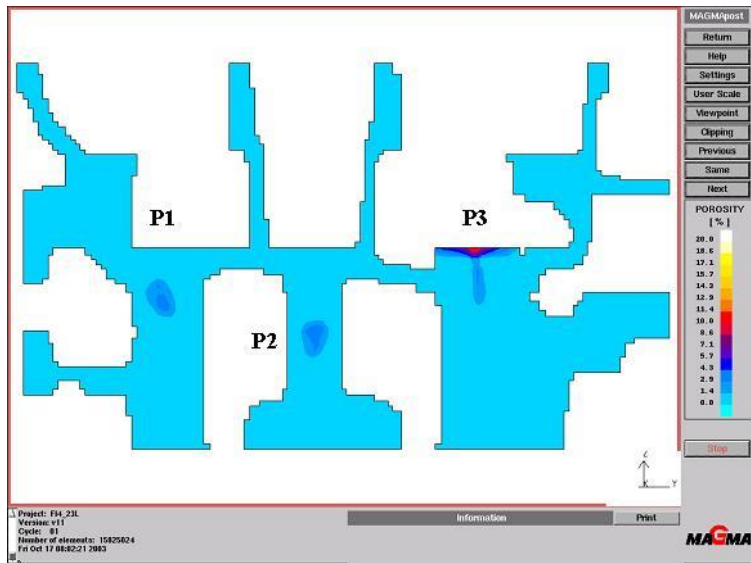


Figura 44. Sección a través de los mamelones de fijación mostrando los grados de porosidad obtenidos de la primera simulación observa que la porosidad P1 fueron de grado 4 y la porosidad P3 fueron de grado 10.

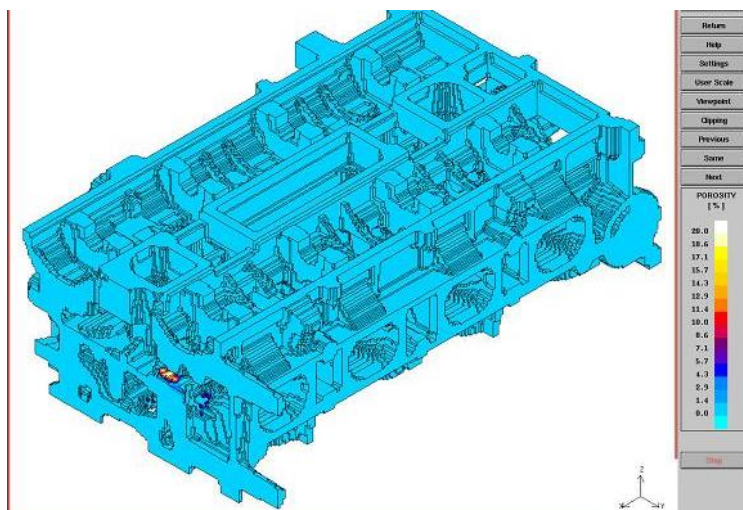


Figura 45. Sección transversal en los mamelones en vista isométrica.

El porcentaje de porosidad de rechazo debido al problema en estudio es alrededor del 5% de la producción, por lo que es el principal problema de la cabeza en estudio. Pero no nada más de esta cabeza este problema se presenta en general en todas las cabezas fabricadas por el proceso de baja presión.

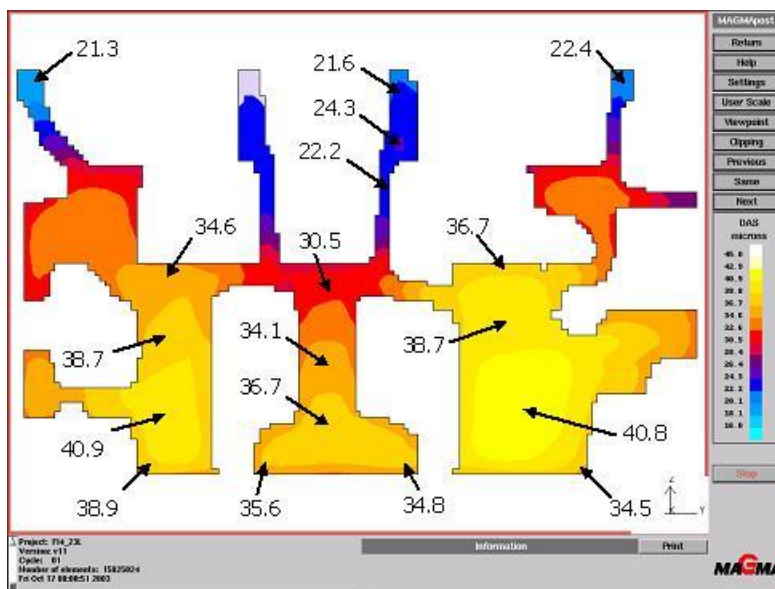


Figura 46. Medición del DAS en sección transversal de la primera simulación.

En la figura 46 observamos como el valor máximo de DAS se encuentra en el centro de los mamelones correspondiendo con las curvas isométricas de solidificación. Pero existe una discrepancia entre la posición del punto caliente que tiene relación el DAS y la

porosidad obtenida de simulación. De acuerdo la figura 46 la porosidad debiera estar un poco debajo del la mitad del mamelón de fijación y la porosidad predicha esta en la parte superior.

En lo correspondiente al análisis de las piezas iniciales, lo hecho para el análisis de este estudio se seccionaron 5 cabezas en los mamelones de fijación para medición de porosidad y DAS, teniendo un comportamiento casi igual en todas las secciones. En la figura 47 observamos una sección transversal de una de las secciones realizadas y con su medición de DAS. La porosidad presentada fue generalmente de grado 5.

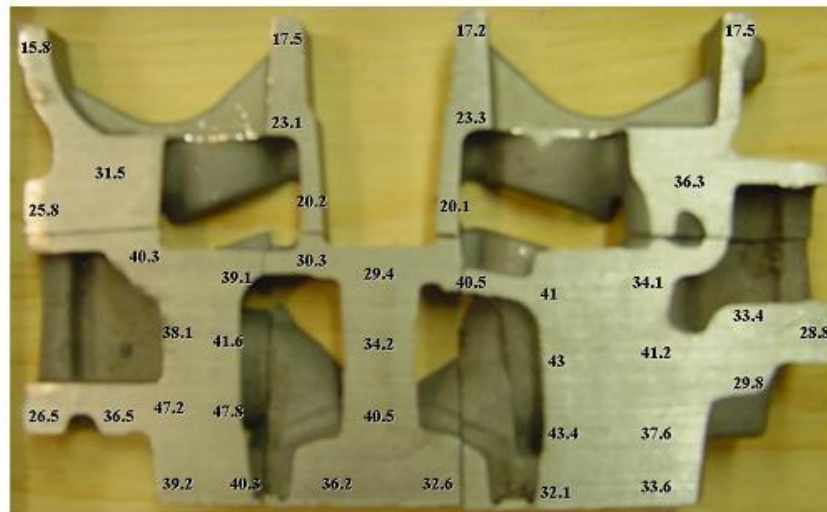


Figura 47. Sección transversal a través de los mamelones de fijación con medición de DAS.

En la sección mostrada en la figura 47 se obtuvieron mediciones de porosidad de grado 5, en el centro de los mamelones exactamente

donde esta el valor mayor de DAS.

5.2 SEGUNDA SIMULACIÓN Y SEGUNDO VACIADO

Para la segunda simulación los parámetros de simulación y operación fueron exactamente igual que en la primera simulación y en las piezas vaciadas la única diferencia fue los aligeramientos de arena en el modelo así como los aligeramientos pegados en la galería de aceite inferior.

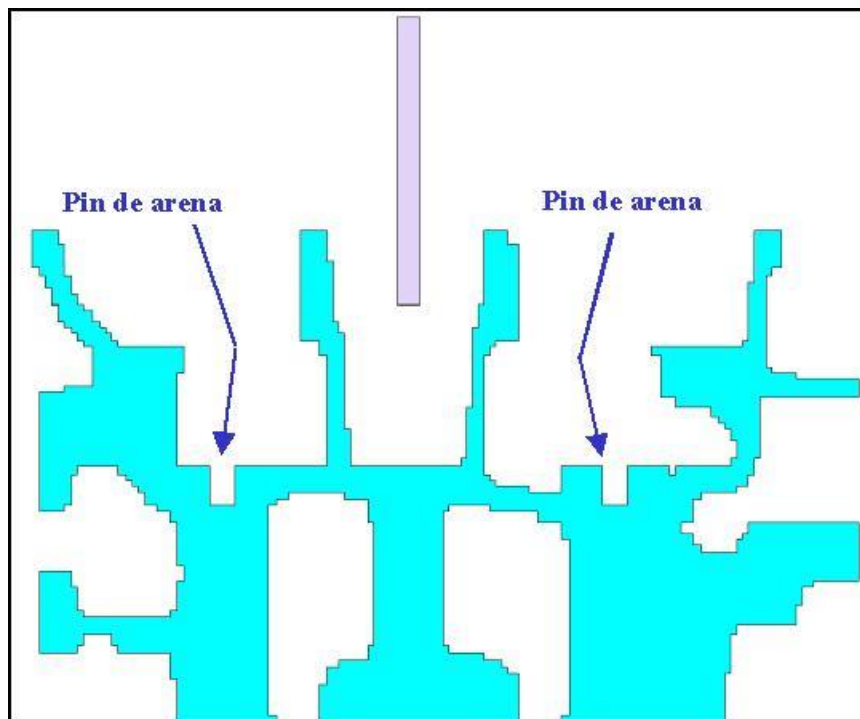


Figura 48. En la sección se muestra los aligeramientos considerados para la segunda simulación.

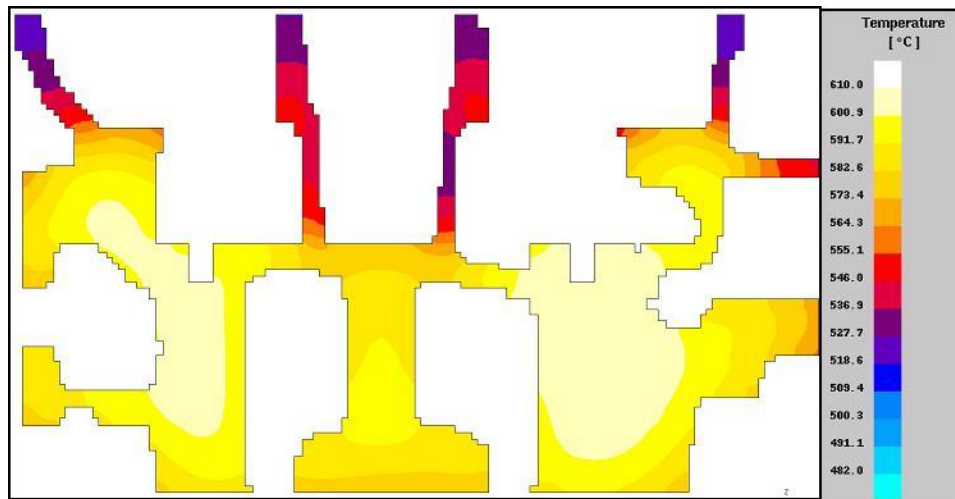


Figura 49. Sección mostrando las curvas isotérmicas con aligeramientos integrados.

En la figura 49 se muestra como el punto caliente ya no se encuentra en la parte central de los mamelones a diferencia de la primera simulación. Pero como quiera se muestra que la temperatura mas caliente continua en la parte central de los mamelones. Se observa como los enfriamientos de parte superior e inferior afectan de la solidificación y van encerrando el calor en la parte central. Con lo anterior no se puede predecir con exactitud con las curvas isométricas mejoraron el perfil de solidificación de en las zonas deseadas.

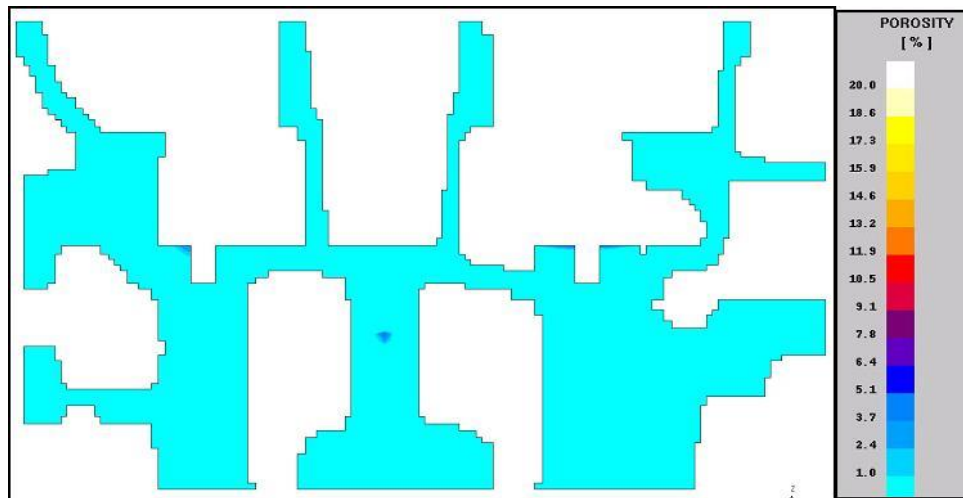


Figura 50. Sección transversal de la segunda simulación mostrando el grado de porosidad.

En la figura superior se observa porosidad de grado 2 en la parte superior de los mamelones de fijación. A diferencia de la primera simulación la porosidad ha sido casi removida de la zona en estudio mostrando que los aligeramientos de arena tuvieron un efecto en la eliminación de la porosidad en la simulación. Pero a pesar de que en la figura superior se muestra que la porosidad fue eliminada existe una discrepancia con las curvas isotérmicas de solidificación.

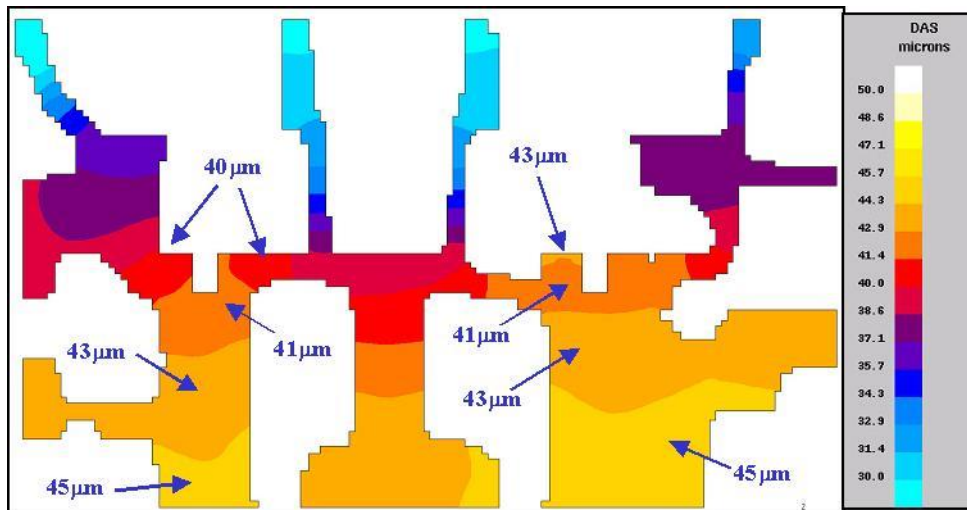


Figura 51. Medición del DAS en la sección transversal a través de los mamelones de fijación.

Analizando la figura 51 apreciamos un cambio en el perfil de los valores del DAS donde el valor máximo se encuentra en la parte inferior va decreciendo en la misma forma que va subiendo. Esto explica la porosidad eliminada en la segunda simulación

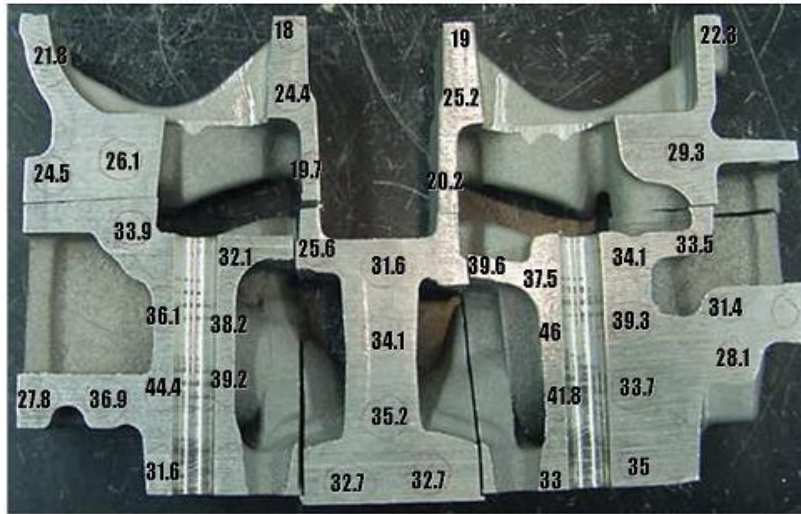


Figura 52. Sección transversal de la segunda prueba de vaciado.

Los resultados del vaciado de las pruebas no mostraron cambios significativos con respecto a la situación actual o primera prueba realizada. No hubo cambio en el grado de porosidad ni en su porcentaje en las piezas que es alrededor de 5 %. La medición de DAS nos indica que la porosidad se encuentra en la misma posición que en la primera prueba de vaciado. Lo que se observa es como las paredes delgadas en la parte superior de los mamelones con relación a los mamelones son muy delgadas enfriándose primero y no dejando pasar al calor hacia la parte superior.

5.3 ANÁLISIS

	Simulación 1	Vaciado 1	Simulación 2	Vaciado 2
DAS superior	34.5	33.6	45	33
DAS central	41	43	43	42
DAS inferior	36	34.1	41	34
Grado porosidad	4	5	0	5

Tabla2. Tabla comparativa de DAS y grado de porosidad en los mamelones de fijación. Los valores de vaciado son promedio de 20 piezas vaciadas.

En la tabla 2 observamos que existe una diferencia de entre las simulaciones y las pruebas de vaciado, mientras en que en la simulación 1 el valor de DAS en la parte central de los mamelones es mayor con lo cual nos indica una probable porosidad, lo anterior tiene cierta correlación con el vaciado 1 que nos muestra una porosidad de grado 5 en la parte central, pero la ubicación de la porosidad en la simulación 1 la predice en la parte superior de los mamelones de fijación y la porosidad aparece en central.

En la simulación 2 el valor máximo de DAS se encuentra en la parte inferior y decreciendo su valor hacia la parte superior, con lo cual nos indica que una solidificación direccional con lo que se puede predecir que no habrá porosidad, pero el resultado del vaciado 2 apreciamos que este efecto no tiene correlación con la simulación 2, por que la porosidad sigue apareciendo en el centro de los mamelones.

Otra teoría es debido a que los aligeramientos se encuentran exactamente debajo de las entradas de alimentación por donde fluye en aluminio fundido, estos son sobrecalentados por ser muy delgados y la arena pierde la propiedad de funcionar como un enfriamiento, que es la función buscada.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Existe una diferencia de correlación entre la simulación y las pruebas experimentales, debido entre otras circunstancias a los coeficientes de transferencia utilizados.

Los aligeramientos de arena no tuvieron un efecto significativo en el proceso de solidificación de los mamelones de fijación debido a un sobrecalentamiento por el flujo de aluminio a través de ellos.

6.2 RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre los coeficientes de transferencias entre arena sílica – aluminio A319, aluminio A319 – acero H13, y arena sílica – acero H13, para el proceso de baja presión.

Modificar la geometría, engrosar las paredes superiores a los mamelones de fijación, para evitar estrangulamiento del calor en la geometría.

Los aligeramientos propuestos pudieran ser sometidos a estudio en otros procesos con situaciones semejantes, como el proceso de gravedad en molde semipermanente, arena o proceso costworth, pero que sus entradas de alimentación no se encuentren en su camino para evitar sobrecalentamiento.

ANEXO

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN A319

Element	A319 alloy
Si	6.0-8.5
Cu	2.8 - 4.0
Fe	0.7 max
Mn	0.6 max
Mg	0.05 - 0.5
Zn	0.8 max
Ti	0.25 max
Cr	0.05 max
Sn	0.10 max
Ni	0.30 max
Pb	0.15 max
Na	0.10 max
Sr	0.0090 - 0.013
P	0.05 max
B	0.05 max
Ca	0.05 max
Sb	0.05 max
Fe:Mn	2.0 max

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Ciencia e ingeniería de los materiales 3ª edición. Donald R. Askeland
 - 2.- William F. Smith. Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales. Mc Graw Hill 1993.
 - 3.- Lars Arnberg, "Solidification of Aluminum Alloys", 4th International Summer School of Aluminum Alloy Technology, 1997, Norway.
 - 4.- J. Campbell, "Castings", Butterworth-Heinemann, 1991, U.K.
 - 5.- Fundamentos de Manufactura moderna. Mikkell P. Groover. Prentice Hall 1ª. Edición 1997.
 - 6.- Light Alloys Metallurgy of the light metals. I J Polmear Third Edition.
 - 7.- L. Backerud, G, Chai, Solidification Characteristics of Aluminum Alloys, vol. 2, Foundry Alloys AFS Skanuminium.
 - 8.- Foundry Trade Journal International, June 1981.
By J.H. Lefebvre.
 - 9.- MAGMA Co., "MAGMAsoft: Users Manual".
-