

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PERMANENTE UTILIZANDO EL SOFTWARE VULCAN

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER EN DISEÑO,
PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Ing. Fausto Oviedo Fierro
fausto.oviedo@epn.edu.ec
Ing. Alexy Vinueza Lozada
alexvinuezal@gmail.com

DIRECTOR: MSc. Iván Zambrano
oscar.zambrano@epn.edu.ec

Quito, enero 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Fausto Hernán Oviedo Fierro y Alexy Fabián Vinueza Lozada declaramos bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o certificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en esta tesis.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Fausto Oviedo Fierro

Ing. Alexy Vinueza Lozada

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Ingenieros Fausto Oviedo F. y Alexy Vinueza L. bajo mi dirección.

Msc. Iván Zambrano

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la EPN por las facilidades que me ha otorgado para cursar esta Maestría, al personal del laboratorio de Fundición, a mis compañeros de Maestría.

A dos experiencias de vida que forjaron mi carácter y enriquecieron mi vida: al Andinismo y a mi militancia Socialista-Comunista

Ing. Fausto Oviedo

Te entrego todo mi DIOS, mis éxitos, mis títulos y mis fracasos sabiendo que tú eres mi vida, mi refugio y mi salvación. Y te agradezco DIOS porque tú pusiste a las personas correctas en mi camino hacia la meta como son mis Compañeros, Profesores, Director de Tesis, mi gran Amigo y Compañero de Tesis, sabiendo que nada es coincidencia y que todo tiene un propósito conforme a tu voluntad mi DIOS.

***“Delítate asimismo en Jehová, Y Él te concederá las peticiones de tu corazón.
Encomienda a Jehová tu camino, Y confía en Él; y Él hará”***

Salmos 37:4-5

Ing. Alexy Vinueza

DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo, en especial a mi compañera de vida, Silvia.

A mi madre Jesús María, en sus 100 años de vida

Ing. Fausto Oviedo

DEDICATORIA

Para DIOS, que le debo todo lo que soy.
Para mi familia que ha sido un pilar fundamental en mi vida.
Y para mi hijo Matías Vinueza.

“El que habita al abrigo del Altísimo. Morará bajo la sombra del Omnipotente.”

Salmos 91:1

Ing. Alexy Vinueza

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF).....	1
1.1. FUNDAMENTOS DEL MEF.....	1
1.1.1. SOLUCIÓN CON MEF.....	3
1.1.2. ERRORES EN LOS RESULTADOS CON MEF.....	4
1.2. SOFTWARE BASADOS EN EL MEF PARA LA FUNDICIÓN DE METALES..	7
1.3. EL SOFTWARE VULCAN.....	8
CAPÍTULO 2. FUNDICIÓN EN MOLDES PERMANENTES.....	10
2.1. PROCESOS DE FUNDICIÓN DE PIEZAS METÁLICAS.....	10
2.1.1. MOLDES PERDIDOS.....	10
2.1.2. MOLDES PERMANENTES.....	11
2.2. TIPOS DE PROCESOS DE FUNDICIÓN CON MOLDES PERMANENTES.	11
2.2.1. A BAJA PRESIÓN.....	12
2.2.2. A GRAVEDAD.....	12
2.2.3. COLADA A ALTA PRESIÓN.....	13
2.3. ALEACIONES UTILIZADAS PARA CONSTRUIR MOLDES PERMANENTES.....	14
2.4. ALEACIONES PARA LA COLADA EN MOLDES PERMANENTES.....	15
2.4.1. ALEACIONES DE ALUMINIO CON SILICIO (SILUMINIOS).....	15
2.4.2. ALEACIONES DE ALUMINIO CON MAGNESIO.....	16
2.4.3. ALEACIONES DE ALUMINIO CON COBRE.....	16
2.4.4. ALEACIONES DE ALUMINIO CON SILICIO Y COBRE.....	16
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LAS PIEZAS A PRODUCIR.....	18
3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PIEZAS A PRODUCIR.....	18
3.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS PIEZAS.....	19
3.3. SELECCIÓN DE LA FORMA FINAL DE LA PIEZA.....	20
3.3.1. MANCUERNA A.....	23
3.3.2. MANCUERNA B.....	23
3.3.3. MANCUERNA C.....	24
3.4. ANALISIS DE ESFUERZOS POR EL MEF.....	25
3.5. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
3.6. CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA.....	35
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL MOLDE METÁLICO.....	36

4.1.	SELECCIÓN DEL MOLDE METÁLICO.....	37
4.1.1.	REQUERIMIENTOS.....	37
4.1.2.	ALTERNATIVAS.....	38
4.2.	SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL MOLDE	41
4.3.	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LAS PAREDES.....	41
4.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	43
4.4.1	SIMULACIÓN DEL LLENADO.....	44
4.4.2	SIMULACIÓN DE SOLIDIFICACIÓN TÉRMICA.....	53
4.4.3	SIMULACIÓN DEL ENFRIAMIENTO TERMO MECÁNICO.....	56
4.4.4	VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	57
CAPÍTULO 5. MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA COQUILLA		59
5.1.	MECANIZADO COMPUTARIZADO.....	59
5.2.	PRINCIPIOS DEL CAD-CAM-CAE.....	60
5.3.	MODELACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE SOFTWARE.....	61
5.4.	CAM Y DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA MAQUINADO.....	65
5.5.	MAQUINADO.....	67
5.6.	CONSTRUCCIÓN.....	70
5.7.	ENSAMBLAJE DEL MOLDE PARA COLAR EL MATERIAL FUNDIDO....	74
CAPÍTULO 6. PRUEBAS Y CONCLUSIONES		75
6.1.	PRUEBAS	75
6.1.1	PRIMERA PRUEBA.....	75
6.1.2	SEGUNDA PRUEBA	76
6.2.	ANÁLISIS DEL PROCESO UTILIZADO Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	78
6.3.	CONCLUSIONES	80
6.4.	RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA.....		81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Transferencia de calor en la pared del molde.....	2
Fig. 1.2 . Error por discretización.....	6
Fig. 1.3 . Historia de la Empresa Quantech.....	9
Fig. 2.1. Colada a baja Presión	12
Fig. 2.2. Colado en Coquilla.....	13
Fig. 2.3.Colada centrífuga de eje vertical y horizontal.....	13
Fig. 2.4. Colada a presión.....	14
Fig. 3.1. Ejemplo de mancuerna para cerrar ventanas en una edificación.	18
Fig. 3.2 Ejemplo de mancuerna para cerrar ventana de una edificación.	20
Fig. 3.3. Esquema de la Mancuerna A. Alternativa 1.....	23
Fig. 3.4. Esquema de la Mancuerna B. Alternativa 2.....	24
Fig. 3.5. Esquema de la Mancuerna C. Alternativa 3.....	25
Fig. 3.6. Diagramas de equilibrio del estudio estático.	25
Fig. 3.7. Proceso de Análisis [Static Structural (ANSYS)]......	26
Fig. 3.8. Engineering data. Datos y propiedades del Material.....	27
Fig. 3.9. Geometría importada a escala 1:1	27
Fig. 3.10. Restricciones y carga.....	28
Fig. 3.11. Mallado por defecto (Mesh).....	28
Fig. 3.12. Soluciones con el tipo de análisis requerido	29
Fig. 3.13. Corrida del análisis.....	29
Fig. 3.14. Corrida del análisis.....	30
Fig. 3.15. Análisis de Deformación.....	30
Fig. 3.16. Análisis de Esfuerzo Equivalente (Von-Mises)	30
Fig. 3.17. Análisis de Factor de seguridad	31
Fig. 3.18. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.	31
Fig. 3.19. Diagrama de Equilibrio.	32
Fig. 3.20. Cortes de sección transversal y destacando sus áreas en mm ²	33
Fig. 3.21. Dimensiones de la mancuerna.....	35
Fig.4.1. Proceso de diseño del molde metálico.	37
Fig.4.2. ALTERNATIVA 1.....	39
Fig.4.3. ALTERNATIVA 2.....	39
Fig.4.4. ALTERNATIVA 3.....	40
Fig.4. 5 Altura de pared.....	42

Fig.4.6. Determinación de A_M por el método de círculos inscritos.....	44
Fig.4. 7 Importación de geometría	44
Fig.4. 8 Separación en diferentes capas al molde y a la moldura	45
Fig.4. 9 Creación de superficies.....	46
Fig.4. 10. Creación del orificio en la superficie superior del molde	47
Fig.4. 11. Creación del volumen del molde	47
Fig.4. 12. Generación de la malla	48
Fig.4. 13 Malla generada	49
Fig.4. 14 Selección del tipo de problema.....	49
Fig.4. 15 Selección del material para el molde y moldura	50
Fig.4. 16 Selección del tipo de cálculo a realizar (Llenado).....	50
Fig.4. 17 Cálculo para llenado en calidad media	51
Fig.4. 18 Desarrollo del cálculo	52
Fig.4. 19 Carga de resultados obtenidos	52
Fig.4. 20 Zonas de presencia de los últimos aires	53
Fig.4. 21 Últimos sólidos en la moldura con radio de 7mm.....	54
Fig.4. 22 Últimos sólidos en la moldura con radio de 9mm.....	54
Fig.4. 23 Últimos sólidos en la moldura con radio de 10mm.....	55
Fig.4. 24 Mayores valores del Defecto Niyama	55
Fig.4. 25 Simulación de esfuerzos.....	56
Fig.5. 1. Geometría definida para el CAM.....	67
Fig.5. 2. Trayectoria de la herramienta en la simulación del software	69
Fig.5. 3. Esquema de montaje de la placa en la mesa de la CNC	72
Fig.5. 4. Esquema de montaje de la placa en la mesa de la CNC	73
Fig.5. 5. Detalle de Ensamblaje	74
Fig.6. 1. Defectos de la primera prueba.....	76
Fig.6. 2. Últimos gases	77
Fig.6. 3. Moldura obtenida	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Amplitud de los Software para fundición.....	7
Tabla 1. 2 Precisión de los Software para fundición	8
Tabla 2.1. Metales recomendados para moldes permanentes	15
Tabla 2.2. Aleaciones Al-Si.	16
Tabla 2.3. Aleaciones Al-Mg según la norma DIN 1700.....	16
Tabla 2.4. Aleaciones Al-Cu.	16
Tabla 2.5. Aleaciones Al-Si-Cu	17
Tabla 3.1. Consideraciones para el diseño de piezas fabricadas por colado de metal fundido.	22
Tabla 4. 1. Método ordinal corregido de criterios ponderados	38
Tabla 4. 2 Selección de alternativa mediante criterios ponderados	40
Tabla 4. 3 Resumen de las simulaciones	56
Tabla 5.1. Generación de la pieza a obtener.....	62
Tabla 5.2. Generación del Molde Base.	63
Tabla 5.3. Secuencia de Programación.	66
Tabla 5.4. Valores importantes del código G (Lenguaje de Máquina)	68
Tabla 5. 5 Simbología del proceso de construcción	70
Tabla 5. 6 Detalle de operaciones para la matriz superior	71
Tabla 5. 7 Detalle de operaciones para la matriz inferior	72
Tabla 5. 8 Detalle de operaciones para los pines de posicionamiento.	73
Tabla 6. 1 Primeros Resultados	75
Tabla 6. 2 Resultados Finales	77

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidades
V _m	Volumen de la Mazarota	mm ³
V _p	Volumen de la pieza	mm ³
U	Porcentaje de utilización del metal	%
RE	Rechupe específico del metal en la mazarota	%
h	Altura del montante	mm
A _a	Área del Montante	mm ²
G	Masa del líquido que pasa por el sistema de alimentación	Kg.
K	Velocidad específica de vertido	Kg/ (cm ² .s)
T _v	Tiempo de vertido	s
K _v	Densidad relativa	Kg/dm ³
r	Radio del montante	mm
A ^{''}	Área del canal de alimentación	mm ²
F	Carga o Fuerza aplicada	N
L	Longitud	mm
A _t	Área transversal	mm ²
S _y	Resistencia a la fluencia del material	Mpa
σ	Esfuerzo aplicado	Mpa
n	Factor de seguridad	

CAPÍTULO 1.

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

Hay diferentes criterios históricos sobre la aparición y desarrollo del MEF, algunos autores señalan que la estructura básica del MEF se puede ya observar en los métodos de discretizado que empleaban los egipcios para determinar el volumen de las pirámides. Se señala también que Arquímedes (287-212 ANE.) empleaba el mismo método para calcular el volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas. En China por el año 300 el matemático Lui Hui empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular el perímetro de circunferencias con lo que conseguía una aproximación al número pi (π).

El MEF como modelo matemático estructurado se desarrolla en la primera mitad del siglo pasado, Galerkin proporciona una base muy sólida para el MEF pero no fue sino hasta la década de 1940, con Courant que se considera el inicio del método de los elementos finitos, con esta base ingenieros aeronáuticos desarrollaron métodos matriciales para el análisis de las estructuras de fuselajes para soportar grandes cargas asociadas a altas velocidades, esto lo hicieron sin el beneficio de los ordenadores modernos, el verdadero impulso del MEF se da con el avance de la informática, debido a que el uso de programas computacionales como el NASTRAN en la década del sesenta facilitó y viabilizó su aplicación, es decir históricamente el MEF tal como lo conocemos hoy en día se debe al uso de diversos software y computadoras de capacidad suficiente para soportar dichos programas.

1.1. FUNDAMENTOS DEL MEF.¹

Un objetivo fundamental del método de elementos finitos es el cálculo de las variables de campo dentro de su contorno, para ello se procede a elegir un modelo matemático apropiado que como característica principal debe tener continuidad, luego se procede a dividir el dominio en un número determinado (finito) de elementos, esta división se la determina por las características intrínsecas del fenómeno que se analiza y de su forma. Con esta base se

¹ HUTTON D.; Fundamental of finite element analysis; USA; Mac. Graw Hill; 2004; 486p.

desarrolla matrices para cada elemento y luego se las ensambla en una matriz de rigidez Global, las características principales de esta matriz es ser cuadrática, ser simétrica y bandada. Con ella se procede a realizar los cálculos de las variables de campo, hay que anotar que las respuestas que da este procedimiento es en puntos determinados, si bien estos están enlazados con sus elementos adyacentes, son únicamente puntos seleccionados, por lo que si bien las variables calculadas corresponden al interior del campo, no son valores de puntos en el interior de los elementos discretizados, lo cual puede ser una necesidad en ciertos casos.

Para calcular al interior de los elementos discretizados se tiene que recurrir a la interpolación de valores, siendo los polinomios las funciones más comúnmente usadas para la interpolación

Por ejemplo, si se considera el flujo de calor en la pared del molde metálico que se diseña en el presente trabajo, se tiene:

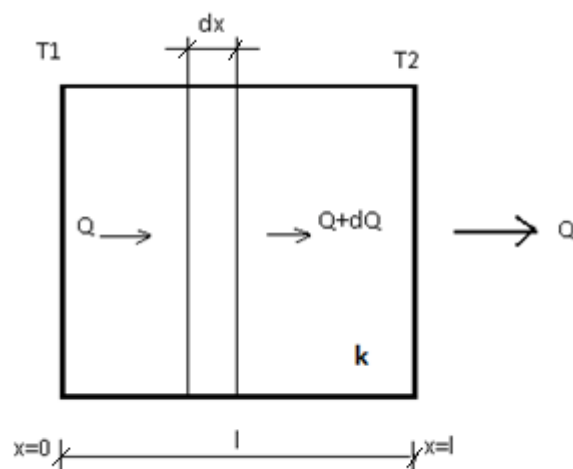


Fig. 1.1 Transferencia de calor en la pared del molde

Donde:

k = Coeficiente de conductividad térmica del acero a usarse

Q = Flujo de calor del interior del molde hacia el exterior

x = Espesor

T = Temperatura

Las variables dependientes Q y T satisfacen la siguiente ecuación diferencial:

$$Q = -k \cdot \delta T / \delta x \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Que se conoce como la ley de Fourier.

Esta ecuación diferencial rige para cada sección de las paredes del molde

1.1.1. SOLUCIÓN CON MEF

Los pasos que se siguen cuando un problema se lo soluciona por el método de los elementos finitos son los siguientes²:

1.1.1.1. Preprocesado

- a) *Definir la geometría del problema:* En este paso se determina el conjunto dimensional en el que se va aplicar el MEF, aquí seleccionamos el “objeto” de nuestro análisis
- b) *Definir el tipo o tipos de elementos a ser utilizados:* Dependiendo del problema a ser analizado se debe elegir los elementos discretos a ser utilizados, lineales, bidimensionales o tridimensionales y en cada uno de estos casos que particularidad tendrán, esto dependerá de la geometría del problema como de las consideraciones de análisis que se tomen.
- c) *Definir las propiedades físicas de los elementos:* Los elementos pueden ser simplificados en sus características físicas para su inclusión en el modelo matemático, esto ayuda al desarrollo de la solución
- d) *Definir la Geometría de los elementos:* Las características geométricas que se eligen influyen en la calidad de la solución, por ejemplo si el conjunto es triangular lo mejor será elegir elementos triangulares.
- e) *Definir el entramado de los elementos:* Aspecto importante es que la malla y las conexiones entre los elementos faciliten la aplicación del modelo matemático.
- f) *Definir las condiciones de borde:* Si bien el método facilita la solución del problema, es indispensable conocer los principios que rigen al fenómeno o problema planteado, si no se es capaz de interpretar correctamente y definir las condiciones en las cuales actúan los resultados serán erróneos.

² HUTTON D.; Fundamental of finite element analysis; USA; Mac. Graw Hill; 2004; 486p.

- g) *Definir las cargas*: Es fundamental definir correctamente que cargas se aplican sobre el campo que se analiza.

1.1.1.2. Solución

Una vez que se ha planteado las condiciones de trabajo, se definen las ecuaciones correspondientes, las interrelaciones entre los elementos y determinado el conjunto global del problema, se usa un software, el cual ensambla las matrices y calcula las variables desconocidas.

1.1.1.3. Posprocesado

- a) *Presentar los elementos en sus magnitudes*: El Software no presenta los valores en magnitudes, corresponde darle la orden correspondiente para que los resultados sean presentados en sus magnitudes.
- b) *Chequear el equilibrio del campo (sistema)*: Una rápida comprobación de que el sistema cumple con sus condiciones de borde ayudan para que las soluciones sean las correctas.
- c) *Calcular los factores de seguridad*: Este paso debe ser aplicado con criterio ingenieril, a nombre del factor de seguridad no se debe echar por la borda todo el trabajo realizado, los factores de seguridad deben ser correctamente seleccionados y no se debe exagerar en su elección, este es el principal error que se realiza.
- d) *Realizar los detalles finales de presentación*: Realizar el plano final del conjunto, si es dinámico la simulación dinámica, si hay variables que sean necesarias visualizarlas, mostrarlas.

1.1.2. ERRORES EN LOS RESULTADOS CON MEF.³

Dado que este es un método que discretiza los elementos, sus resultados son aproximados a la realidad, por lo que se debe tener mucho cuidado con los errores que se presentan, los cuales pueden ser por las siguientes causas:

³ OÑATE y ZÁRATE; Introducción al método de los elementos finitos; España; 2001; 240p

1.1.2.1. Errores asociados a la ecuación constitutiva.

Al plantear las ecuaciones constitutivas se debe tomar en cuenta si el material es homogéneo o no, en el primer caso las variables dependientes serán relacionadas a un mismo material, lo cual no afectaría, en el segundo caso se puede tener distintas propiedades del material lo que significaría por ejemplo distintos valores, coeficiente de elasticidad o de conductividad térmica, si no se considera estos aspectos se presentarán errores significativos.

1.1.2.2. Errores en la solución del sistema de ecuaciones.

Una vez alcanzada la matriz de rigidez utilizada por el software puede existir errores en la ejecución del programa computacional, como número de dígitos truncados, mal redondeo por ajuste y dado que son cálculos repetitivos pueden ocasionar errores importantes. La solución en este caso será un amplio conocimiento del software usado y aplicarlo de acuerdo a las condiciones del problema en solución.

1.1.2.3. Error en el cálculo de las integrales del elemento.

Cuando se está determinando las ecuaciones del elemento se recurre a un cálculo analítico de las integrales del elemento. Esto implica que si se quiere calcular más exacto se debe escoger el grado de integración adecuado y se puede tener un ligero margen de error en el cálculo de las integrales del elemento, por lo que es importante utilizar un modelo integracional aceptable a las condiciones del problema.

1.1.2.4. Error debido a la aproximación Geométrica.

No solo el número de elementos afecta en la exactitud de la solución sino también la forma de los elementos que se elijan, si se tiene un contorno triangular y se eligen elementos cuadrados, no se alcanzará la mejor solución. La solución está de acuerdo al perfil del campo de análisis y la forma de los elementos deben concordar con él.

1.1.2.5. Error de discretización.

Este método se aproxima a la realidad, no se alcanza el resultado exacto del problema, es decir siempre habrá una diferencia con el resultado exacto, a esta diferencia que será menor o mayor de acuerdo a las decisiones que se hayan tomado para la resolución por este método se lo conoce como error de discretización

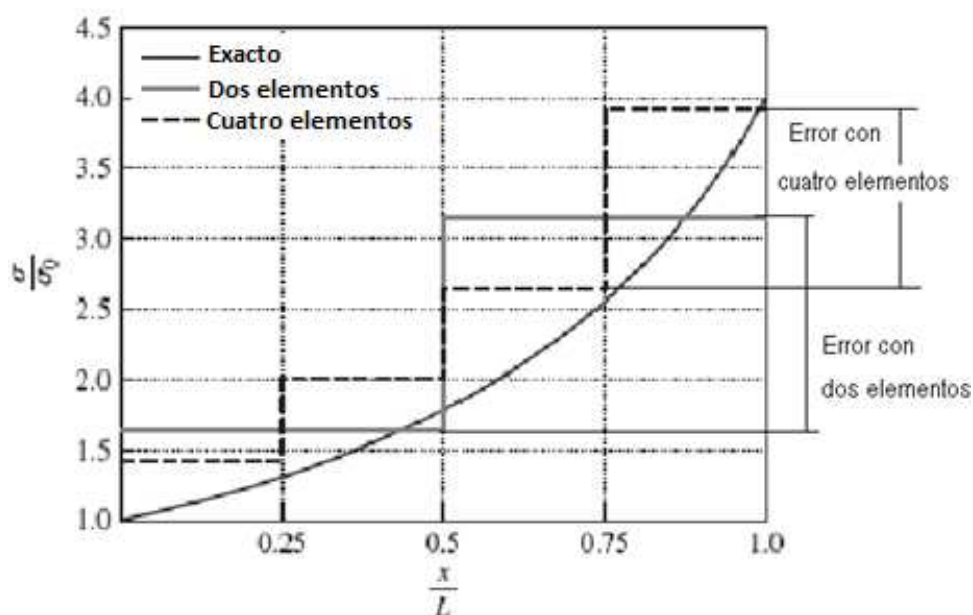


Fig. 1.2 . Error por discretización

Estos errores se pueden calcular con la siguiente expresión:

$$e = ((\text{Valor exacto} - \text{Valor aproximado}) / \text{Valor aproximado}) * 100 \quad (\%)$$

Dado que la curva de valor exacto tiene diferente pendiente, el error dentro de cada elemento varía.

Esta consideración de cálculo se hace conociendo el valor exacto, pero esta no es la realidad en los casos en que se aplica el MEF, para este caso se toma las desviaciones, es decir los saltos de los valores en varios puntos (nodos) y se calcula la media cuadrática de la siguiente manera:

$$e = [(e_1)^2 + (e_2)^2 + (e_3)^2]^{1/2} / 2 \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Con este cálculo si no satisface las necesidades se puede disminuir el error hasta valores adecuados.

1.2.SOFTWARE BASADOS EN EL MEF PARA LA FUNDICIÓN DE METALES.

Actualmente existe una variedad de software dedicado a la simulación del proceso de fundición basados en el MEF a los cuales se puede dividirlos en un grupo especializado en la simulación del proceso de fundición y otro que con una adecuada selección de sus módulos pueden simular el proceso. De los más conocidos del primer grupo son: CapCast EKK, Flow-3DCast, MagmaSoft, Mavis, NovaCast, ProCast, QuickCast, Simtec, SolidCast, TherCasty, Vulcan-GID. Dentro del segundo grupo se debe destacar a ANSYS y ABAQUS.

Considerando los procesos que estos software pueden simular, tanto especializados como generales se tiene el siguiente resumen:

Tabla 1. 1 Amplitud de los Software para fundición

SOFTWARE	Molde de Arena	Modelo Gasificable	Coquilla con baja y alta presión	Coquilla con colada centrífuga	Colada Continua
CapCastEKK	xx	xx	xx	xx	-
Flow-3DCast	xx	xx	xx	xx	xx
MagmaSoft	xx	xx	xx	-	-
Mavis	xx	xx	xx	-	-
NovaCast	xx	xx	xx	xx	xx
ProCast	xx	xx	xx	xx	xx
QuickCast	xx	xx	xx	-	-
Simtec	xx	xx	xx	xx	xx
SolidCast	xx	xx	xx	xx	xx
TherCast	xx	xx	xx	-	-
Vulcan-GID	xxx	xxx	xxx	-	-
ANSYS	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ABAQUS	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
- No simula ; xx Respuesta aceptable; xxx Respuesta excelente					

[Autoría propia]

Los resultados que cada uno de estos software presentan tienen mayor o menor precisión, esto dependerá de la calidad del mallado que pueda realizarse, es decir de la calidad de la descritización que se pueda realizar, de la potencia del

software y la capacidad del CPU utilizado también influirá. Son cuatro los resultados más interesantes que se busca en la simulación y que ayudan en el proceso del diseño de una pieza, que tienen que ver con la predicción de defectos, el llenado, el proceso de solidificación y las tensiones residuales luego de solidificada la pieza. Si se considera estos resultados se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 1. 2 Precisión de los Software para fundición

SOFTWARE	Predicción de defectos	Llenado	Solidificación	Tensiones Residuales
CapCastEKK	xx	xx	xx	xx
Flow-3DCast	xxx	xxx	xxx	xxx
MagmaSoft	xx	xx	xx	xx
Mavis	xx	xx	xx	xx
NovaCast	xx	xx	xx	xx
ProCast	xx	xx	xx	xx
QuickCast	xx	xx	xx	xx
Simtec	xx	xx	xx	xx
SolidCast	xx	xx	xx	xx
TherCast	xx	xx	xx	xx
Vulcan-GID	xxx	xxx	xxx	xxx
ANSYS	xxx	xxx	xxx	xxx
ABAQUS	xxx	xxx	xxx	xxx
xx Respuesta aceptable; xxx Respuesta excelente				

[Autoría propia]

1.3.EL SOFTWARE VULCAN.

El Software VULCAN es un producto de la empresa Quantech, la Historia de esta empresa se remonta al año 1987 cuando la Universidad Politécnica de Catalunya crea el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), como una necesidad de posibilitar la investigación, el desarrollo de proyectos y productos y comercializarlos, se crea la mencionada empresa en el año 1996. Su primer software es el GID que nace como una necesidad de los investigadores del centro. A la fecha los software destacados que dan respuesta a diferentes

necesidades del Mercado son: Ramseries, Tdyn, Stampack, ERMES, VULCAN y DEMPACK, en la gráfica se puede observar los momentos que salieron al mercado:

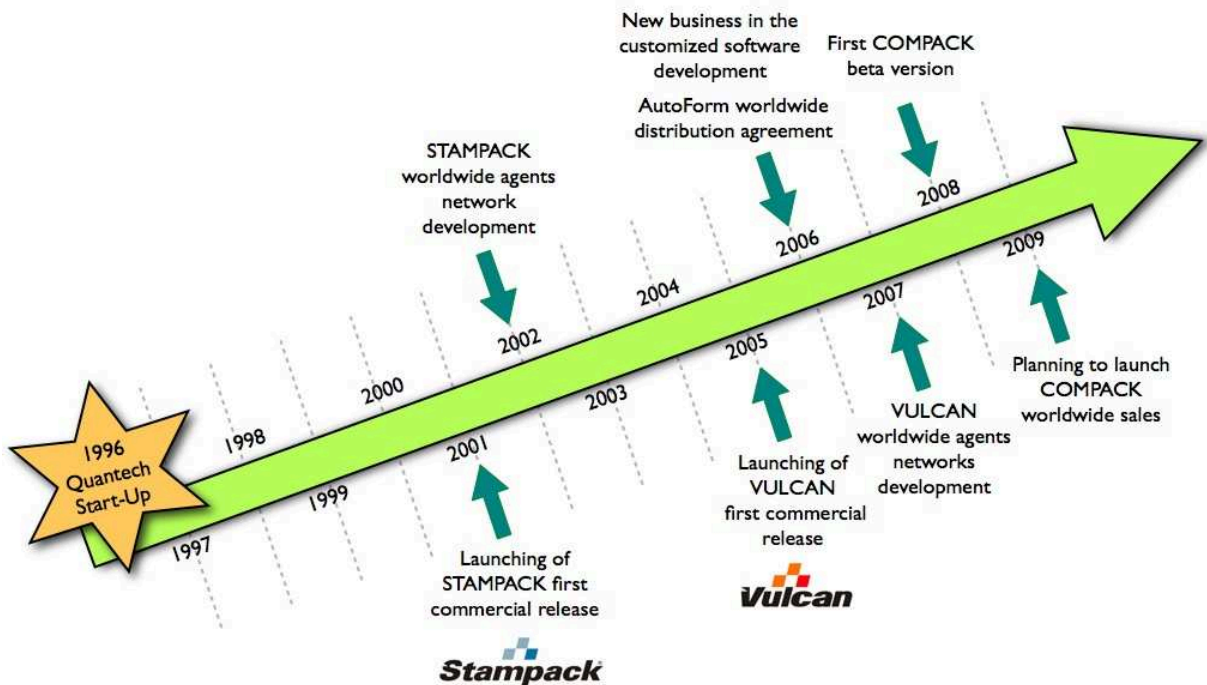


Fig. 1.3 . Historia de la Empresa Quantech

El Software VULCAN es una herramienta de Ingeniería asistido por Computador (CAE) que facilita el diseño de molduras para fundición y permite detectar problemas de diseño del sistema de alimentación, así como también permite la optimización de los parámetros de fabricación de piezas por fundición.

VULCAN permite realizar la simulación del llenado de metal líquido en el molde, la solidificación de la moldura, el enfriamiento y obtener las tensiones residuales de la pieza.

VULCAN presenta una interfaz amigable para el usuario y permite la importación de geometrías producidas por otras herramientas CAD posibilitando su modificación y reparación. Así también permite la optimización del mallado de acuerdo a la geometría y requerimientos de la simulación.

CAPÍTULO 2.

FUNDICIÓN EN MOLDES PERMANENTES

Llamados también Moldes Metálicos o Coquillas, los principales metales utilizados para su construcción son la fundición gris y el acero, dependiendo de su complejidad y tamaño resultan rentables para una producción de más de 100 piezas⁴, siendo ideal una producción de miles o decenas de miles. El tamaño máximo recomendado para la producción de piezas en este tipo de moldes es de 200Kg.⁵ y un espesor no menor a 4 mm para las aleaciones metálicas basadas en los siguientes metales: aluminio, magnesio, estaño y plomo. Para aleaciones de cobre y para la fundición gris los tamaños máximos son de 9 y 13.6 Kg. respectivamente.

Fundamentalmente por este método de producción se consigue un mayor número de piezas útiles⁴, un mejor acabado y en muchos casos una mayor resistencia mecánica debido al menor tamaño de grano que se obtiene.

2.1.PROCESOS DE FUNDICIÓN DE PIEZAS METÁLICAS

Existe dos formas de producir piezas metálicas por fundición: Con molde perdido y con molde permanente. La producción de piezas por molde perdido es la de mayor utilización, en el país más del 90% de piezas fundidas se los hace con molde perdido, es decir el molde una vez obtenida la pieza debe ser destruido.

2.1.1. MOLDES PERDIDOS

Existe una gran variedad de moldes perdidos utilizados para la producción de piezas fundidas, siendo los principales molde con arena base, unidos con aglutinante (bentonita) o con aglomerante (resina, silicato, aceites), estos moldes pueden utilizarse para producción de grandes piezas (100 Ton.)⁴ así como también para piezas pequeñas (1Kg.). Puede utilizarse para la producción unitaria

⁴ CAPELLO E., Tecnología de Fundición, Roma, AFI, 1971, 475p

⁵ GOYOS L. y MARTINEZ H., Tecnología de Fundición II, Habana, 1994, 242p.

de piezas así como para la producción en serie. Puede producirse piezas de cualquier tipo de aleaciones, sean ferrosas o no ferrosas.

2.1.2. MOLDES PERMANENTES

También llamados coquillas, se construyen de metales, principalmente de fundiciones y aceros, las principales aleaciones que se colan en estos moldes son de: zinc, estaño, aluminio, magnesio y plomo, en menor medida de cobre y ferrosas. El máximo tamaño de piezas que se pueden obtener es de 200Kg.⁶ Existe una variedad de opciones para la producción de piezas metálicas en moldes permanentes dependiendo de la forma, tamaño y tipo de aleación a producirse. Siendo las piezas pequeñas las más producidas en este tipo de molde

Las siguientes son las ventajas de este tipo de moldes:

- Se logra mayor precisión en las dimensiones de las piezas que con moldes de arena.
- Las contracciones lineales son menores que en moldes de arena.
- Se necesita menos espacio de taller y menos manejo de materiales que cuando se usa moldes de arena.
- Para producción en serie el moldeo en coquilla resulta más económico que en moldes de arena.
- Siempre que se deseen fabricar series de más de mil piezas, el moldeo en coquilla resulta más económico que en moldes de arena

Las desventajas que presenta el moldeo en coquilla son:

- El elevado coste de las coquillas y de los accesorios.
- El tiempo y coste de la puesta a punto de la fabricación de cada pieza al que hay que sumar al coste de la coquilla.

2.2. TIPOS DE PROCESOS DE FUNDICIÓN CON MOLDES PERMANENTES.

El criterio que se utiliza para la clasificación de estos procedimientos es la presión con la que ingresa la colada de metal líquido en el molde. Existen tres tipos: baja presión, gravedad y alta presión.

⁶ ASM, Metal Hand book, Vol 15, USA, ASM, 1988

2.2.1. BAJA PRESIÓN.

La colada metálica se la ubica en una cámara hermética donde la presión es superior a la atmosférica, el molde se lo mantiene a presión atmosférica con una conexión al metal líquido. Como el metal está a presión superior se lo fuerza a subir y llenar el vacío del molde que lo llena a una presión correspondiente a la diferencia de las dos, de ahí el nombre de baja presión.

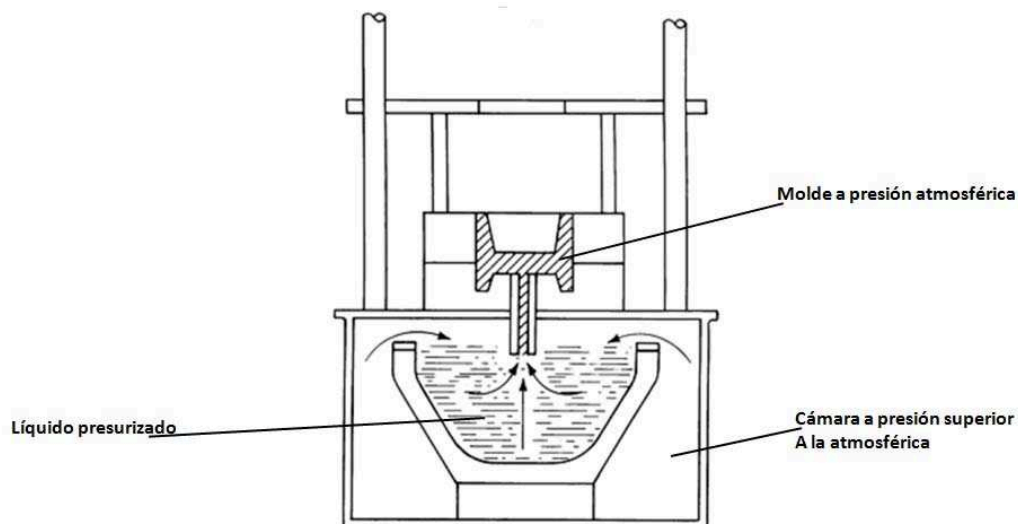


Fig. 2.1. Colada a baja Presión

2.2.2. GRAVEDAD.

Se destacan dos métodos: coquilla y colada centrifuga con eje horizontal.

2.2.2.1. Coquilla.

Método muy utilizado en nuestro medio, consiste en un molde metálico formado por dos piezas, normalmente la una fija y la otra móvil, la cual se cierra para el colado y se abre una vez solidificada la pieza, la colada de metal solo tiene la presión proporcionada por su peso.⁷

⁷ TITOV N. y STEPANOV Y, Tecnología del proceso de fundición, Moscú, Mir, 1981,460p.

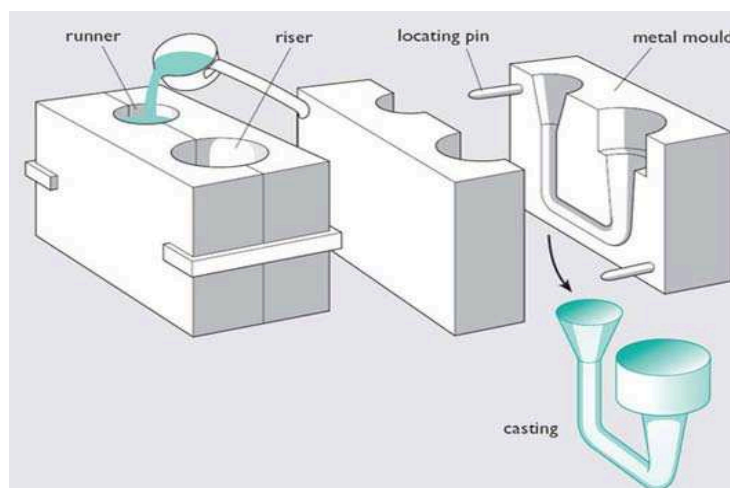


Fig. 2.2. Colado en Coquilla

2.2.2.2. Colada Centrífuga con eje horizontal.

El metal ingresa en el molde metálico mientras este gira, el giro se mantiene hasta que el metal haya solidificado, con este método se puede obtener piezas huecas sin utilización de noys, se utiliza también para producción de piezas pequeñas ubicadas radialmente al montante de entrada.

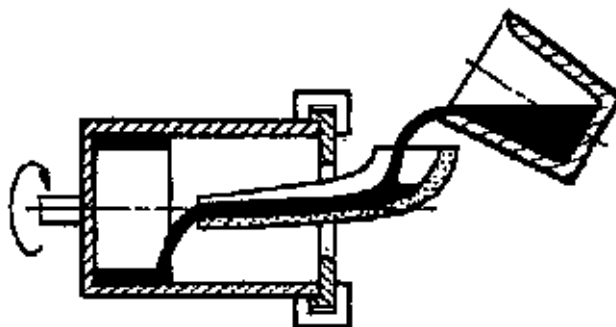


Fig. 2.3. Colada centrífuga de eje horizontal

2.2.3. COLADA A ALTA PRESIÓN.

También conocida como colada a presión, en este caso el material ingresa a la coquilla con la presión que le proporciona un pistón hidráulico, este método posibilita alcanzar los menores espesores (1mm) y proporciona el mejor acabado superficial.

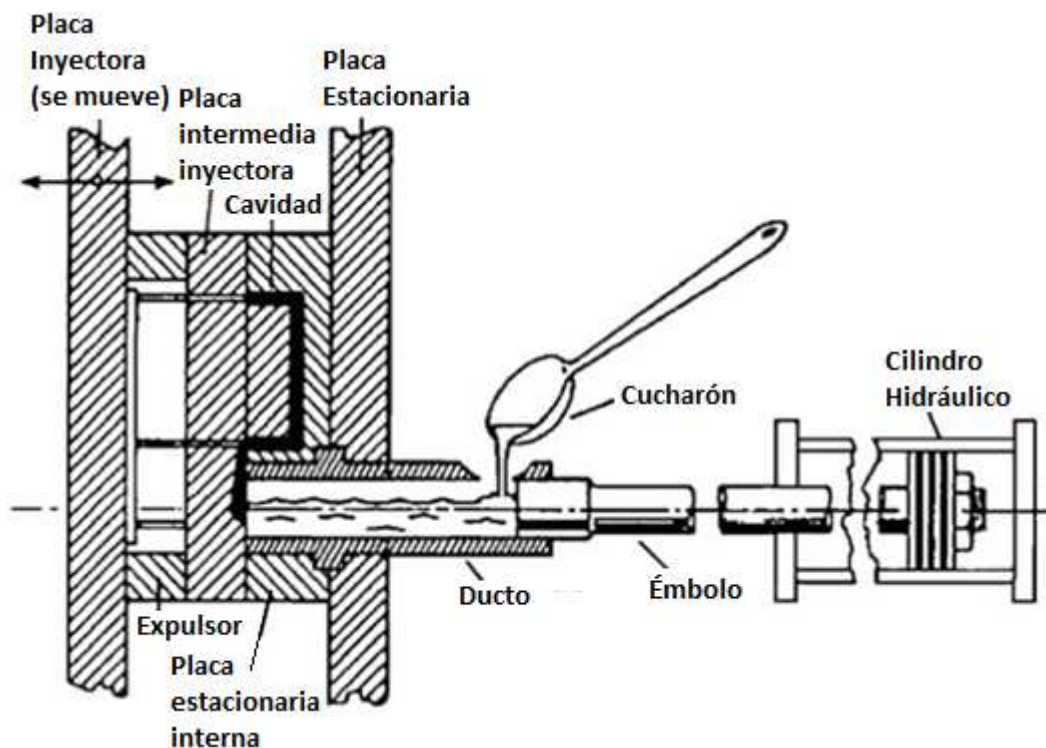


Fig. 2.4. Colada a presión

2.3.ALEACIONES UTILIZADAS PARA CONSTRUIR MOLDES PERMANENTES.

Los principales criterios para determinar el material a ser utilizado en la construcción del molde son: temperatura de colado del metal fundido, tamaño de la moldura a ser obtenida y número de piezas a producirse, en base a este criterio se ha elaborado la tabla 2.1

Mejores resultados, en especial en cuanto a la dilatación y sus consecuentes tensiones residuales se tiene con aceros especiales, entre estos se puede señalar los aceros refractarios.

La vida útil del molde depende del tipo de aleación utilizada y factores tales como: temperatura de colada, peso y forma de la moldura, método de enfriamiento y ciclo de calor.

Tabla 2.1. Metales recomendados para moldes permanentes ⁸

Aleaciones para Fundición	Numero de Coladas		
	1000	10,000	100,000
Para pocas fundiciones (25 mm ó 1 in, como máxima dimensión)			
Zinc	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020
Aluminio, magnesio	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris; Acero 1020	Hierro gris con insertos AISI H14; Acero 1020
Cobre	Hierro gris	Hierro gris	Aleaciones de hierro fundido

2.4.ALEACIONES PARA LA COLADA EN MOLDES PERMANENTES.

Las aleaciones de aluminio para moldes metálicos se dividen en aleaciones para colado a gravedad y colado a presión. La coquilla diseñada corresponde al primer grupo, por lo que se profundizará en este tipo de aleaciones, los tipos de aleaciones que son utilizadas con más frecuencia son las señaladas a continuación.

2.4.1. ALEACIONES DE ALUMINIO CON SILICIO (SILUMINIOS)

Aleaciones con muy buenas propiedades de fundición: buena fluidez, poca contracción, se utilizan principalmente en el orden de 9 a 14% de Si, con lo que al estar cerca de la eutéctica tienen un bajo rango de solidificación. Pueden tener la adición de otros elementos de aleación, la Aluminum Association of the United States (AA) le identifica con los dígitos 4xx.x donde el segundo y tercer dígito indica el tipo de aleación y el último dígito como se ha conformado, 0 para producción por fundición y 1 y 2 para producción en lingote. En el siguiente cuadro se señala la composición de dos de estas aleaciones:

⁸ ASM, Metal Hand book, Vol 15, USA, ASM, 1988

Tabla 2.2. Aleaciones Al-Si. ⁹

Aleación	Si,%	Cu,%	Mn,%	Mg,%	Zn,%	Ti,%	Otros,%
413.0	11.0-13.0	1.0 max.	0.35 max.	0.1 max.	0.5 max.	-	-
443.0	4.5-6.0	0.6 max.	0.5 max.	0.05 max.	0.5 max.	0.25 max.	-

2.4.2. ALEACIONES DE ALUMINIO CON MAGNESIO

Con un contenido mayor al 4% de magnesio se caracterizan por ser livianas y posibles de ser tratadas térmicamente, muy resistentes a la corrosión y fáciles de trabajar mecánicamente, la Norma DIN 1700 las detalla de acuerdo a su composición principal. A continuación se presenta ejemplos de este tipo de aleaciones:

Tabla 2.3. Aleaciones Al-Mg según la norma DIN 1700.

Símbolo	Densidad g/cm ³	Rango de solidificación	Temperatura de colada °C	Contracción de la fundición %			Uso
				en arena	en coquilla	inyectada	
G-AlSi10Mg(Cu)	2.65	570-620	680-750	1.1-1.2	0.5-0.8	0.5-0.8	1
G- AlMg3	2.7	560-630	680-720	1.1-1.5	0.8-1	0.5-0.8	3

2.4.3. ALEACIONES DE ALUMINIO CON COBRE

Por no tener muy buenas propiedades de fundición, estas aleaciones se utilizan para piezas de formas simples y de espesores medianos, tienen un porcentaje mayor al 4% de cobre, siendo la marca AA 2xx.x. En la tabla 2.4 se presentan aleaciones de este grupo:

Tabla 2.4. Aleaciones Al-Cu. ¹⁰

Aleación	Si,%	Cu,%	Mn,%	Mg,%	Zn,%	Ti,%	Otros,%
201.0	0.1 max.	4.0-5.2	0.2-0.5	0.15-0.55	-	0.15-0.35	Ag 0.4-1.0
208.0	2.5-3.5	3.5-4.5	0.5 max.	0.1 max.	1.0 max.	0.25 max.	-
222.0	2.0 max.	9.2-10.7	0.5 max.	0.15-0.35	0.8 max.	0.25 max.	-

2.4.4. ALEACIONES DE ALUMINIO CON SILICIO Y COBRE

Estas aleaciones tienen medianas propiedades de fundición, es decir no son convenientes para espesores muy finos y tampoco para piezas muy complicadas,

⁹ HUFNAGEL W. , Manual del aluminio,1995,456p.

¹⁰ HUFNAGEL W. , Manual del aluminio,1995,456p.

tienen menor ductilidad, alta resistencia mecánica y buena maquinabilidad. La marca AA es 3xx.x, a continuación se presentan dos de estas aleaciones que son recomendadas para el uso en moldes permanentes.

Tabla 2.5. Aleaciones Al-Si-Cu¹¹

Aleación	Si,%	Cu,%	Mn,%	Mg,%	Zn,%	Ti,%	Otros,%
<u>333.0</u>	8.0-10.0	3.0-4.0	0.5 max.	0.05-0.5	1.0 max.	0.25 max.	-
<u>356.0</u>	6.5-7.5	0.25 max.	0.35 max.	0.2-0.45	0.35 max.	0.25 max.	-

¹¹ HUFNAGEL W. , Manual del aluminio,1995,456p.

CAPÍTULO 3.

DISEÑO DE LAS PIEZAS A PRODUCIR

El objeto principal de esta tesis es el diseño del molde, para ello se utiliza avances tecnológicos de última generación, es importante por lo tanto escoger piezas para producir que tengan formas medianamente complejas, similares a las que produce la industria de la fundición local, de tamaño pequeño y que puedan ser utilizadas para la producción en serie en el futuro.

3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PIEZAS A PRODUCIR.

En los últimos años hay un crecimiento de la construcción de viviendas auspiciados por el Gobierno Nacional, aspecto que se incrementa con la creación del Banco de IESS, según información del MIDUVI en los últimos 4 años se han construido 50000 viviendas en el país, un 20% de estas viviendas utilizan ventanas con seguros giratorios, a las que se denominarán mancuernas, el déficit de viviendas actualmente es de 1'200.000 según estudios de Diario Hoy, por lo que la construcción de viviendas se incrementará y con ello las mancuernas. La forma de estas piezas determina que la producción de ellas sea por fundición.

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de mancuerna para cerrar ventanas de una edificación.



Fig. 3.1. Ejemplo de mancuerna para cerrar ventanas en una edificación.

La producción de piezas fundidas en el país adolece de varias deficiencias, una de ellas es la falta de estudios del tipo de molde más adecuado para la producción de una u otra pieza, la forma para determinar el método de fabricación es el de prueba y error, con lo que el tiempo que se utiliza para finalizar detalles es bastante amplio, e indudablemente también se tiene importantes pérdidas de materiales e insumos. Por ello la implementación de un procedimiento teórico efectivo que permita directamente definir la forma y dimensiones del molde es de mucha ayuda a la industria de la fundición en el país, de ahí que se ha elegido una forma y tamaño de pieza similar a los producidos en la industria de la fundición de metales no ferrosos en el país.

En base a estos criterios se ha decidido producir las mancuernas para ventanas de viviendas.

3.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS PIEZAS.

Para determinar el tipo de material a ser utilizado se realiza el siguiente análisis: función, restricciones y variables libres.¹²

Función.

La mancuerna sirve para garantizar el cierre de ventanas de casas. Puede estar en ambientes corrosivos; debe ser de baja densidad, de fácil instalación y tener una aceptable resistencia mecánica.

Restricciones.

La mancuerna debe ser de una aleación metálica que pueda ser producida por fundición y debe tener bajo costo.

Variables libres.

La longitud y el espesor pueden variar de acuerdo al diseño de tal manera que cumpla con los requerimientos.

¹² ASHBY M.; Materials Selection in Mechanical Design; USA;EH;2004;302p.

En base a estos criterios y a la experiencia en la producción de este tipo de piezas se elige como material una aleación de aluminio con buena colabilidad, designada por la Aluminium Association de USA como la aleación 324.0, la cual es recomendada y cuya composición es: Si: 7%; Cu: 0.5%;Mg: 0.7%.¹³

3.3. SELECCIÓN DE LA FORMA FINAL DE LA PIEZA.

La mancuerna que se diseña y construye por el método de fundición está conformada de las siguientes partes: mango, cabeza de martillo plano y el pin pasador como se muestra en la Figura 3.2.



Fig. 3.2 Ejemplo de mancuerna para cerrar ventana de una edificación.

Diseñar es formular un plan para llenar una necesidad y que habrá de ser satisfecha. Esto abarca varias disciplinas de Ingeniería Mecánica, tales como análisis de esfuerzos, ciencia de materiales, ciencias térmicas y de fluidos, con lo cual se va a identificar los problemas de desempeño de la pieza.

¹³ HUFNAGEL W. , Manual del aluminio,1995,456p.

Con respecto a la fabricación del molde para la producción de la pieza; se define todos los problemas y condiciones relacionados con el objeto que se diseña y fabrica. Tales condiciones o especificaciones son las características y dimensiones de la entrada y salida del metal colado, del espacio que deberá ocupar la pieza, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, la temperatura de trabajo y la confiabilidad.¹⁴

La fabricación asistida por computadora (en Hispanoamérica) o fabricación asistida por ordenador (en España), también conocida por las siglas en inglés CAM (computer-aided manufacturing), implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en todas las fases de la manufactura de un producto, incluyendo la planificación del proceso, la producción, el mecanizado, la administración y su control de calidad, con una mínima intervención del operario.

Debido a sus ventajas, se suele combinar el diseño con la fabricación asistidos por computadora en los sistemas CAD/CAM. Esta combinación permite la transferencia de información desde la etapa de diseño a la etapa de planificación y fabricación de un producto, sin necesidad de volver a capturar manualmente los datos geométricos de la pieza. La base de datos que se desarrolla durante el CAD es procesada por el CAM, para obtener los datos y las instrucciones necesarias para operar y controlar la maquinaria de producción.¹⁵

Para realizar el diseño de la pieza, mancuerna, se desarrolla un proceso iterativo en software de diseño CAD como SOLIDWORKS, donde se puede tener un historial de operaciones actuantes con sus detalles para la consolidación de la pieza final a producir.

Es importante destacar que la verdadera ventaja competitiva se obtiene de la utilización conjunta de ambas técnicas y de su aplicación paralela al diseño.

¹⁴ SHIGLEY, MITCHELL; Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta Edición, 915 pag.

¹⁵ Kalpakjian Serope, Schmid Steven (2001). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (4ª edición). Pearson Educación. p. 1073.

La mayoría de los paquetes de software se basan en técnicas de discretización por elementos finitos y son de aplicación general a todo tipo de materiales.

Con los criterios antes mencionados, a continuación se presenta en la Tabla 3.1 las consideraciones para el diseño de la pieza a fabricar.

*Tabla 3.1. Consideraciones para el diseño de piezas fabricadas por colado de metal fundido.*¹⁶

Diseño para piezas de colado de metal fundido
1-Se deben tomar consideraciones sobre el grosor de paredes. Las partes más delgadas se solidifican antes por lo que deben buscarse espesores uniformes.
2-Evitar acabados esquinados para eliminar la concentración de esfuerzos durante el moldeo y la solidificación.
3-Se deben considerar los claros de la pieza respecto al molde, necesarios para una mejor expulsión.
4-Evitar formas que impidan la expulsión de la pieza o hagan necesario el uso de mecanismos complejos para sacar las piezas.
5-Se requiere delinear la línea de partición del molde en la figura, con asistencia de un software o pericia del diseñador.
6-Buscar la simetría de la pieza. Geometrías más complejas significan mayores costes del molde y tiempo de fabricación.

Se presenta 3 alternativas de diseño de la mancuerna, las cuales evolucionan desde la actual pieza presente en el mercado hasta una pieza que cumple con las consideraciones de la Tabla 3.1

¹⁶ DACHILE, IX F, KAUFFMAN A. (2001) A novel haptics-based interface and sculpting system for physics-based geometric design. Computer Aided Design.

3.3.1. MANCUERNA A

Para el desarrollo de la primera alternativa se toma como base de diseño a las mancuernas que existen en el mercado actual. Figura 3.3.

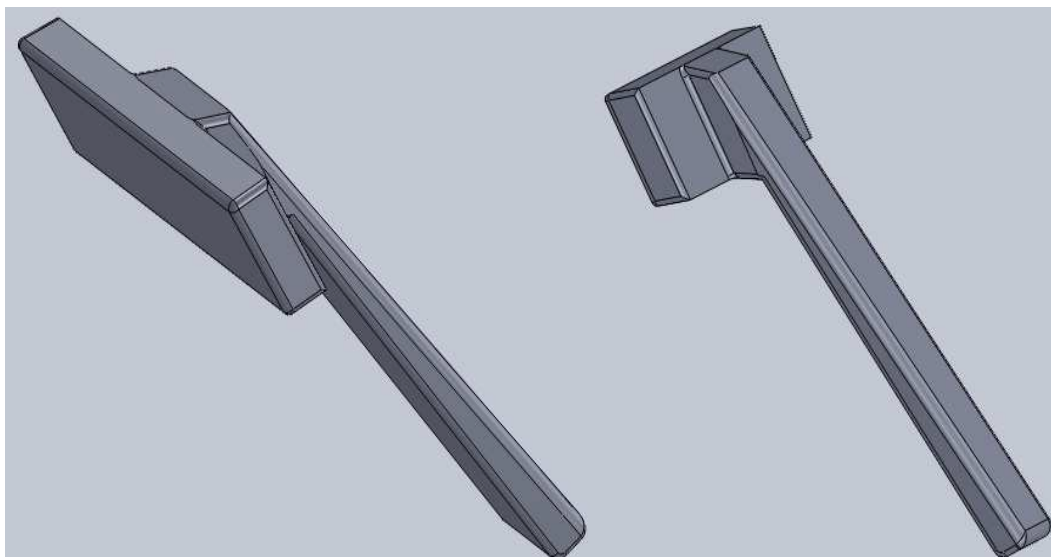


Fig. 3.3. Esquema de la Mancuerna A. Alternativa 1

Esta alternativa al cotejarla con la Tabla 3.1 y verificar su diseño tiene las siguientes observaciones:

- a) Tienen formas que impiden la expulsión de la pieza luego de la solidificación ya que no tiene ángulos de salida y que necesitará de mecanismos externos para su expulsión de la matriz lo que contradice al punto 3 de la Tabla 3.1
- b) No cumple con la consideración 2 de la Tabla 3.1 que se refiere a evitar los acabados esquinados para eliminar la concentración de esfuerzos durante el moldeo y solidificación.

3.3.2. MANCUERNA B

Se toma algunas conclusiones de la *Mancuerna A* para el desarrollo de la segunda alternativa, la *Mancuerna B*, se representa este prototipo en 3D en la Figura 3.4.

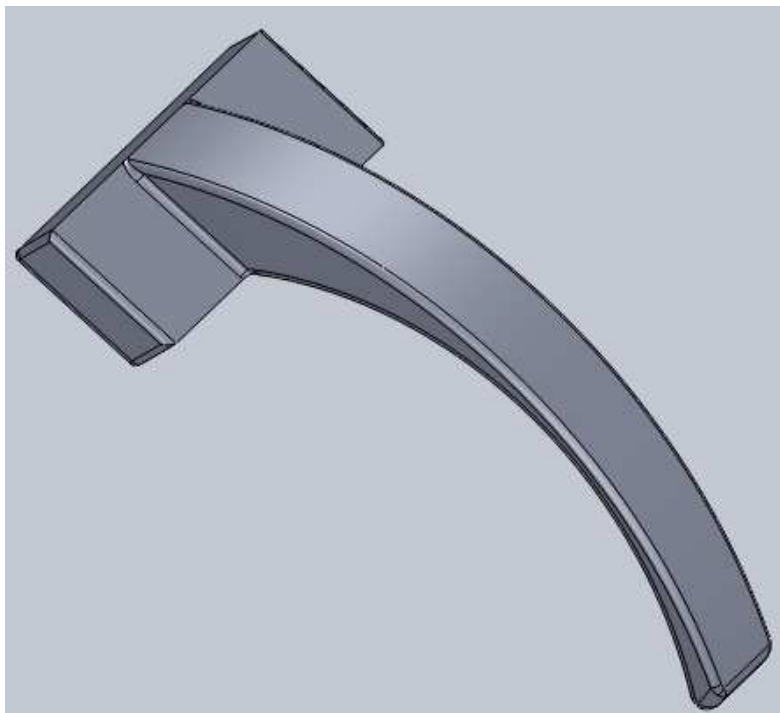


Fig. 3.4. Esquema de la Mancuerna B. Alternativa 2

Se analiza la segunda alternativa y se realiza una comparación con las consideraciones de la Tabla 3.1, se puede deducir que los puntos a ser estudiados son los que no están alineados a las consideraciones citadas:

- a) Formas inapropiadas que impiden la expulsión de la pieza luego de su solidificación ya que no tiene ángulos de salida y se necesitarían de mecanismos externos para su expulsión de la matriz y que contradice al punto 3 de la Tabla 3.1
- b) Se mejoró el punto 2 de la Tabla 3.1, ya que esta alternativa no tiene acabados esquinados y se mejora al no tener concentración de esfuerzos.

3.3.3. MANCUERNA C

La alternativa 3 cumple con todas las consideraciones de la Tabla 3.1. Se determina finalmente que la *Mancuerna C* es la que cumple todas las consideraciones requeridas para su diseño, fabricación y producción, la misma

que se presenta en la Figura 3.5 y con las dimensiones definidas en el plano en el Anexo I

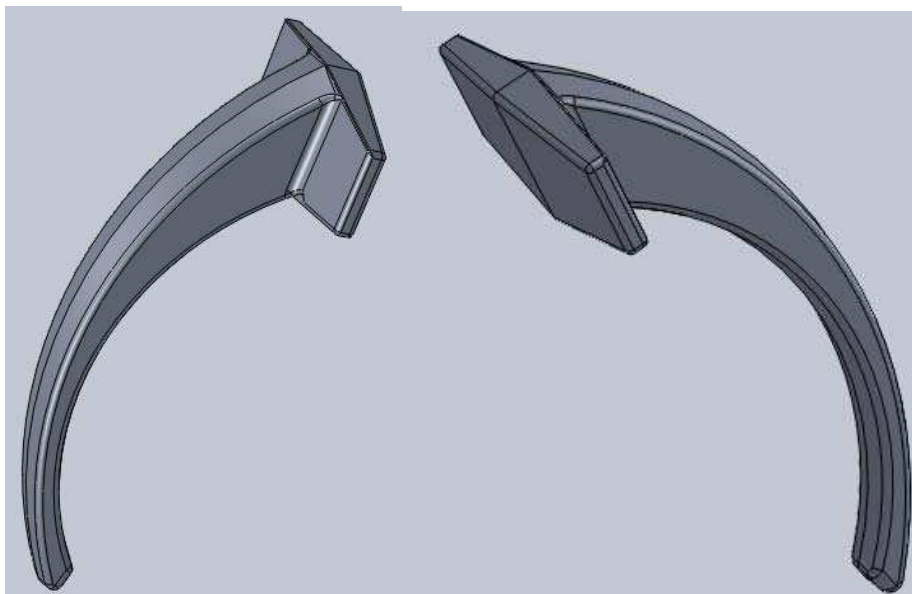


Fig. 3.5. Esquema de la Mancuerna C. Alternativa 3

3.4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR EL MEF

Para la práctica de simulación se toma una viga en voladizo como representación del estudio estático, Figura 3.6.

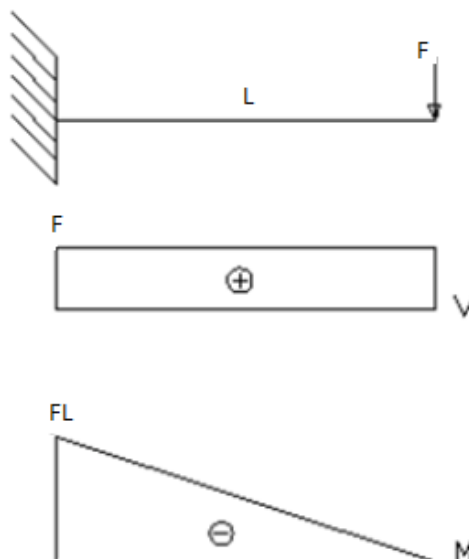


Fig. 3.6. Diagramas de equilibrio del estudio estático.

Para la simulación se usa el software ANSYS, el cual desarrolla y presta soporte a la ingeniería para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto

bajo un entorno real. Su desarrollo se basa en la teoría de elementos finitos para estructuras y volúmenes finitos.

“ANSYS está dividido en tres módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Los distintos módulos de ANSYS permiten solucionar los problemas por partes.”¹⁷

Para la simulación en **ANSYS**¹⁸ se utiliza la opción **Static Structural (ANSYS)** que se encuentra en el **Toolbox** mostrado en la Figura 3.7.

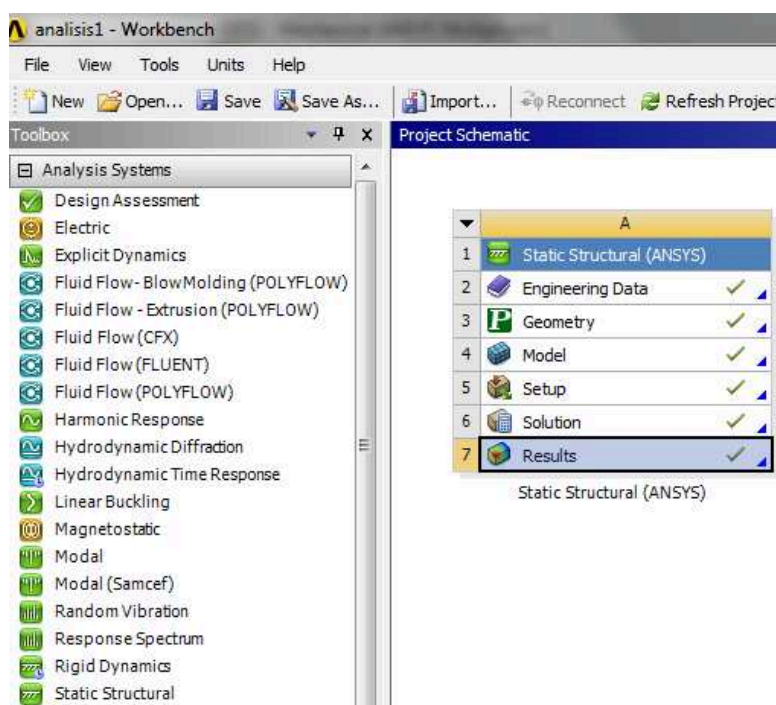


Fig. 3.7. Proceso de Análisis [Static Structural (ANSYS)].

Se desarrolla de forma secuencial:

1. **Datos del material** (Engineering Data),
2. **Geometría** (Geometry),
3. **Tipo de mallado** (Model),
4. **Restricciones** (Setup); y
5. **Resultados de soluciones requeridas** (Results).

¹⁷ Página oficial Del software, Introduction to a finite element analysis program: ANSYS.

¹⁸ **ANSYS**: Análisis estructural, transferencia de calor, dinámica de fluidos, electromagnética, campos acoplados.

- 1) **Datos del material**(Engineering Data): Se determina el material a ser usado por la pieza que es el *Aluminum Alloy*, se muestra en la Figura 3.8 conjuntamente con sus propiedades físicas y mecánicas.

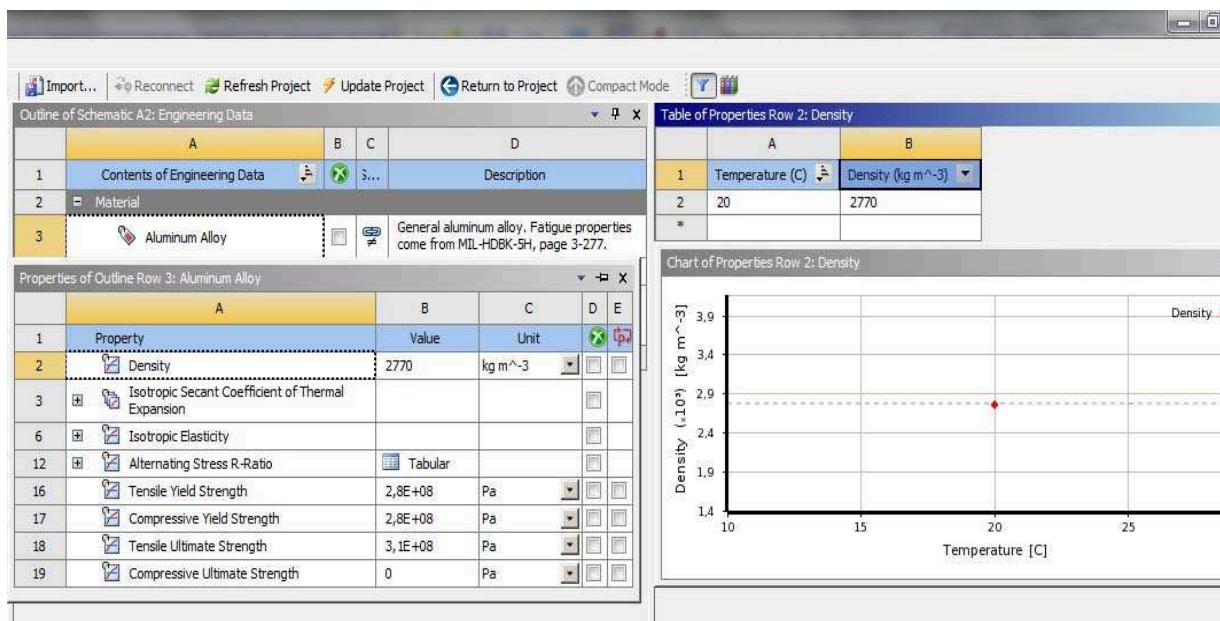


Fig. 3.8. Engineering data. Datos y propiedades del Material

- 2) **Geometría** (Geometry): Se importa la geometría en escala 1:1

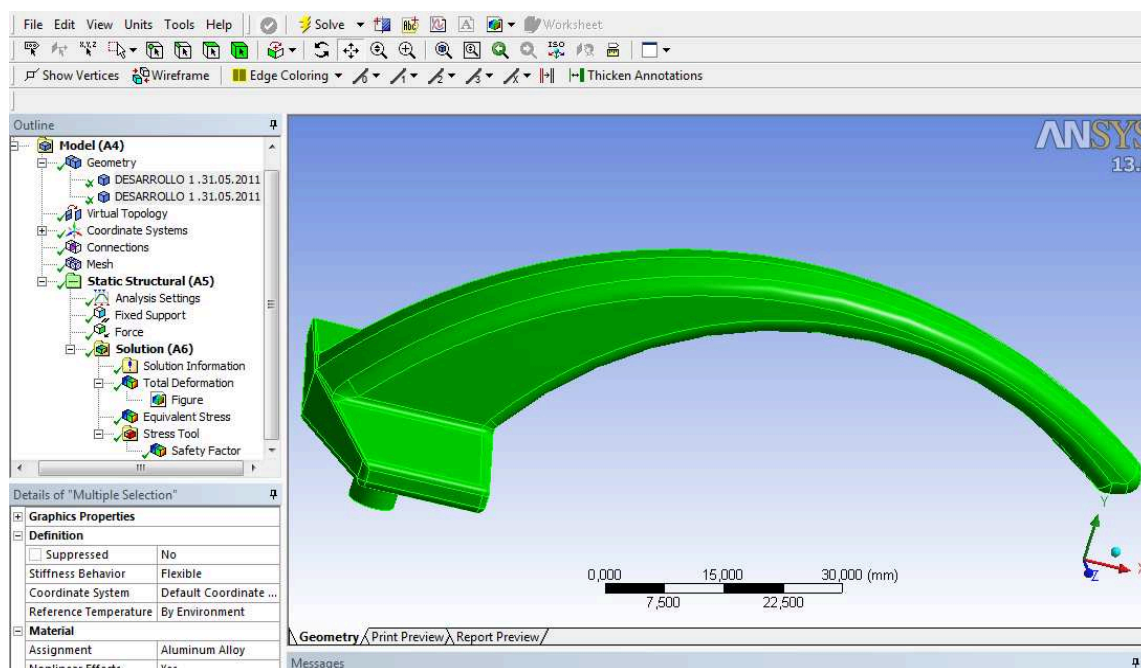


Fig. 3.9. Geometría importada a escala 1:1

- 3) **Tipo de mallado** (Model): Colocar las restricciones, las cargas y el mallado por defecto (Mesh). Se muestra este paso en la Figura 3.10 y el mallado en la Figura 3.11

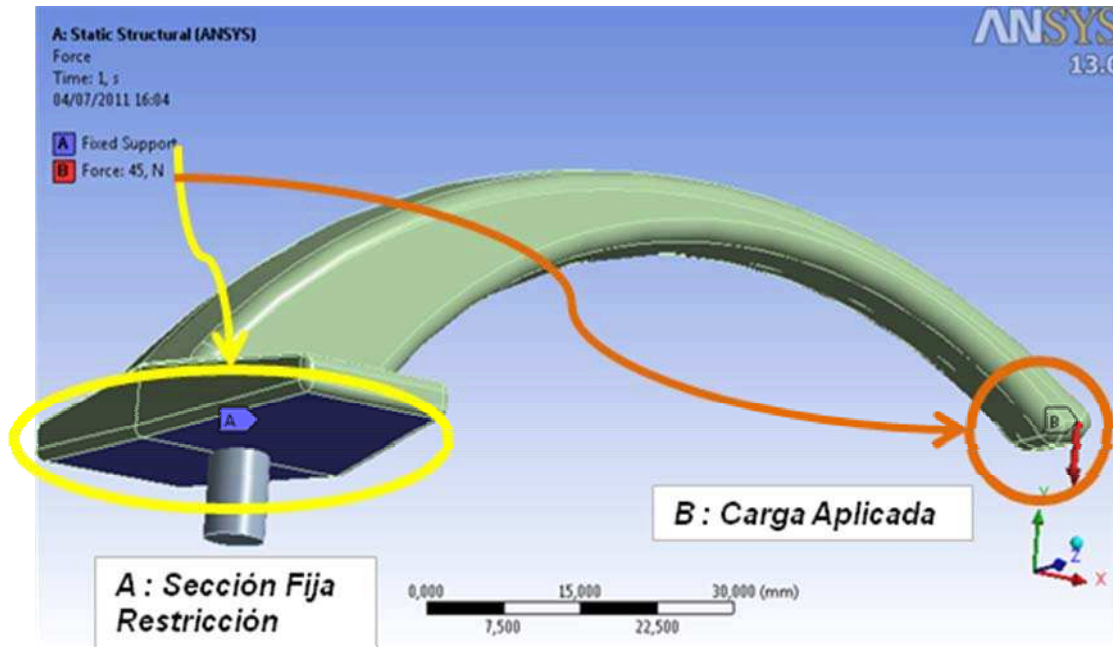


Fig. 3.10. Restricciones y carga

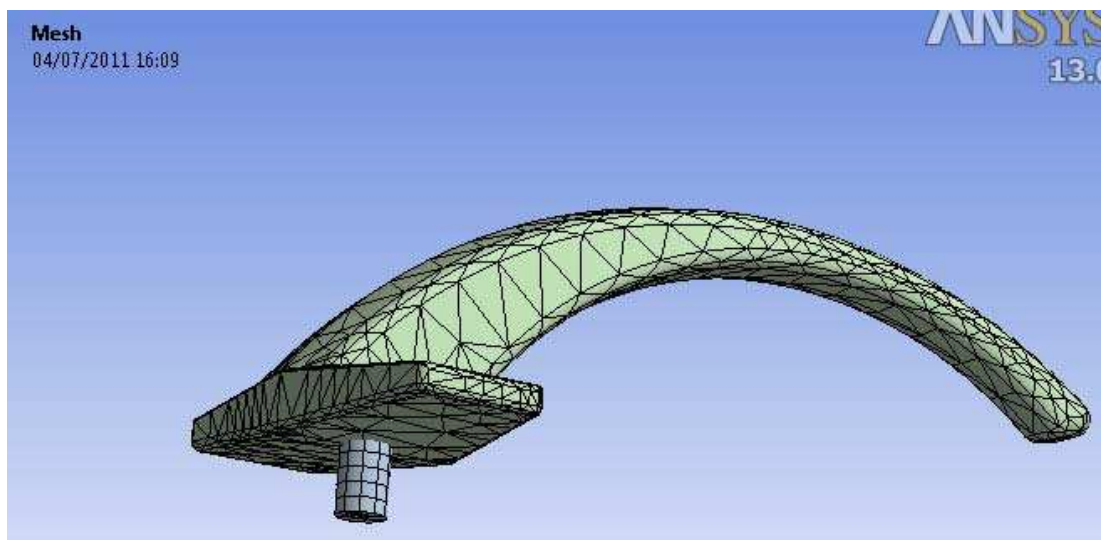


Fig. 3.11. Mallado por defecto (Mesh)

- 4) **Restricciones** (Setup): Se determina que soluciones se requieren analizar, como por ejemplo; la deformación total, el máximo esfuerzo

equivalente (Von Mises), el máximo esfuerzo principal, etc. Esto se muestra en la Figura 3.12

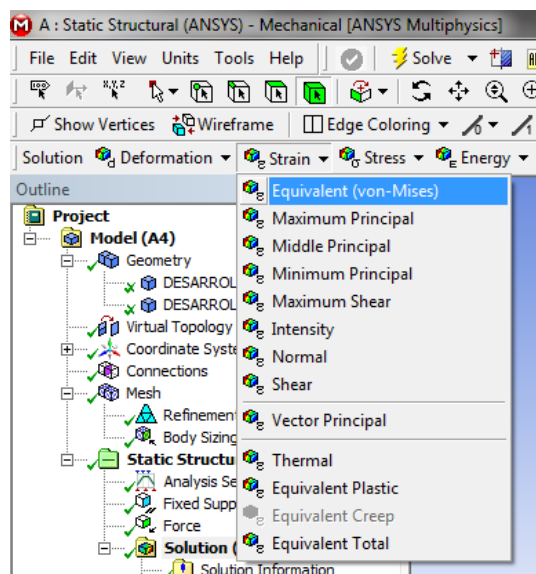


Fig. 3.12. Soluciones con el tipo de análisis requerido

En la Figura 3.13 se visualiza la corrida del análisis.

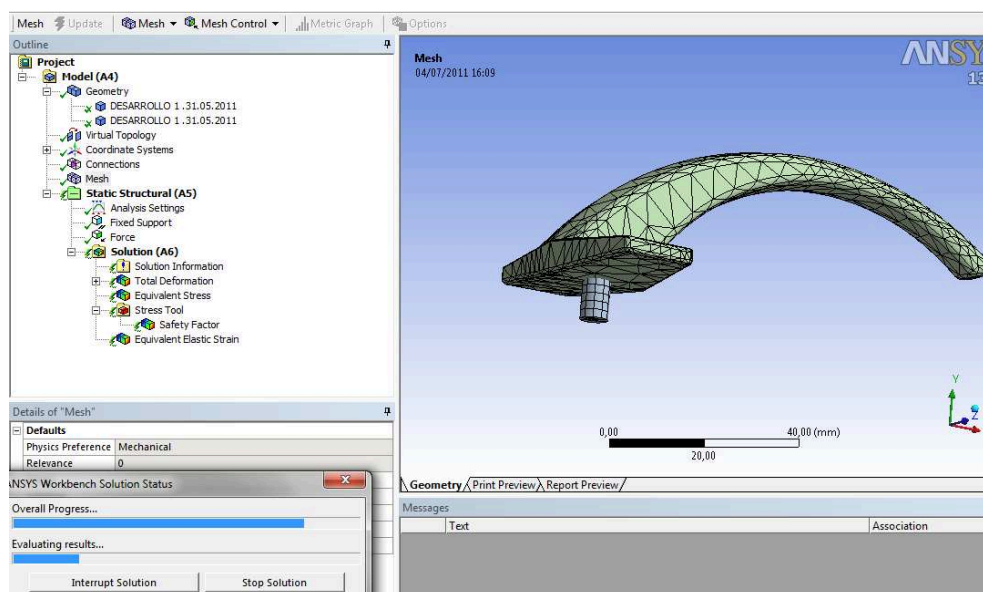


Fig. 3.13. Corrida del análisis

Para la **convergencia** se debe hacer corridas de ANSYS aumentando consecutivamente la cantidad de elementos utilizados, afinando la malla hasta conseguir que los resultados varíen mínimamente, proceso que se desarrollo según se muestra en la curva de convergencia mostrada en la Figura 3.14.

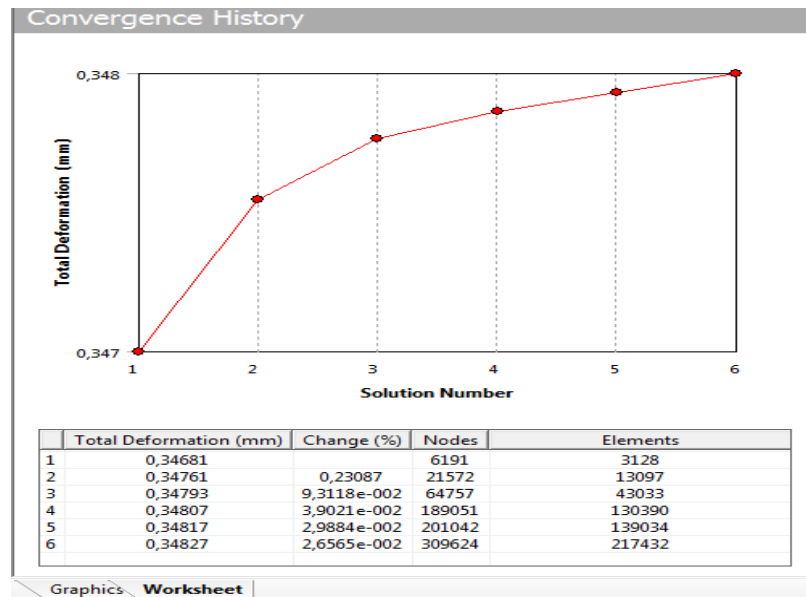


Fig. 3.14. Corrida del análisis

- 5) **Resultados de soluciones requeridas** (Results): Se determina los resultados obtenidos con la convergencia

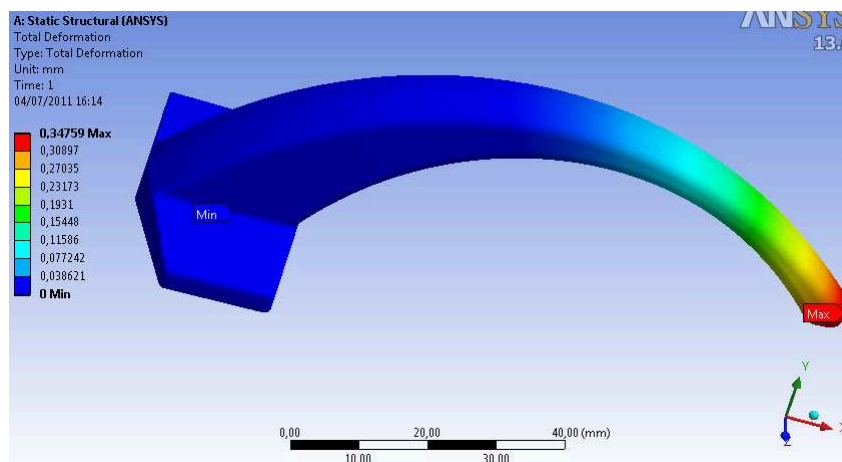


Fig. 3.15. Análisis de Deformación

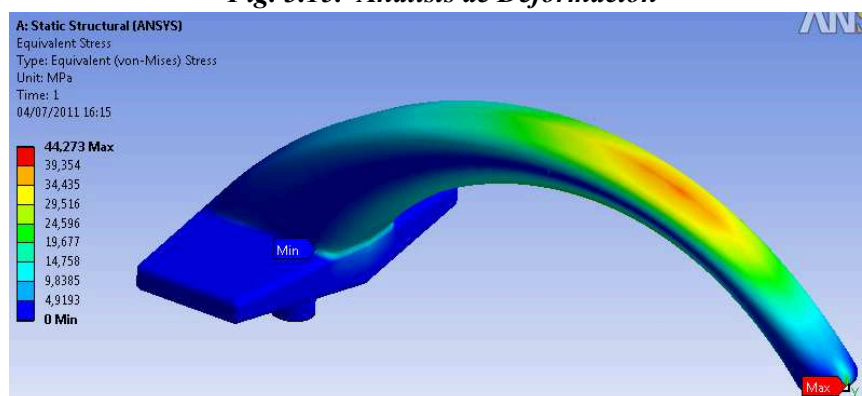


Fig. 3.16. Análisis de Esfuerzo Equivalente (Von-Mises)

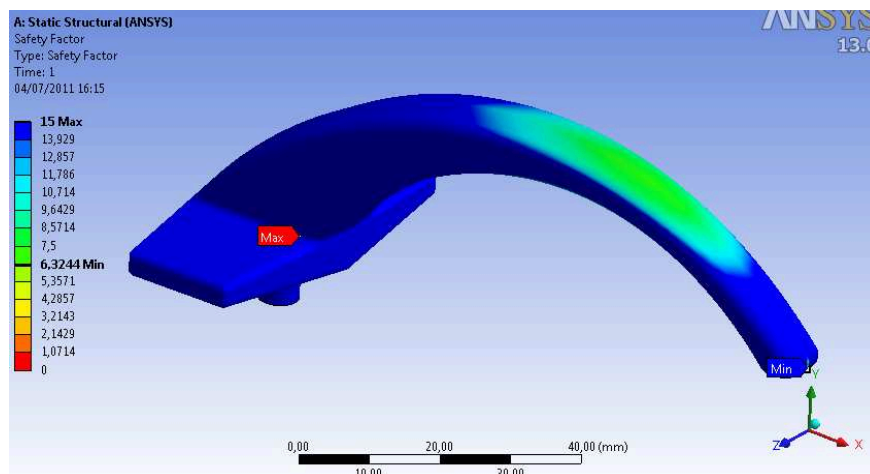


Fig. 3.17. Análisis de Factor de seguridad

3.5.VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Para tener una confirmación de las medidas de la pieza a producir se realiza un análisis de cargas expuestas y un análisis estático de una viga en voladizo y que se muestra en la Figura 3.18.

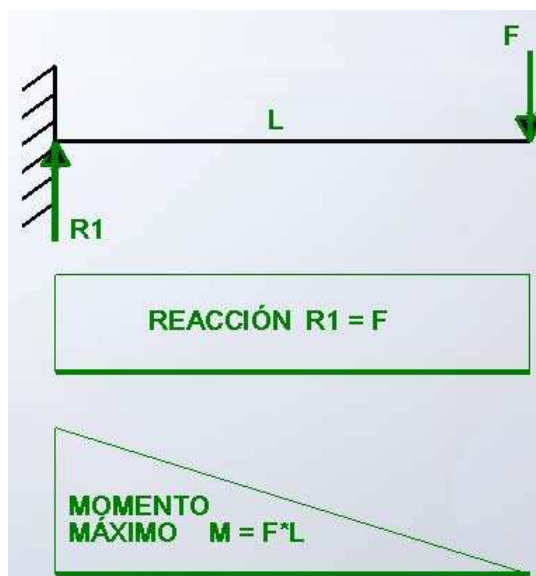


Fig. 3.18. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

Se parte de un análisis estático de una viga en voladizo. La tensión máxima σ sobre un voladizo puede ser acotada por:

$$\sigma \leq \frac{FL}{W_{mm}}$$

Ecuación 3.1

Donde:

F es la carga máxima sobre el voladizo.

L es la longitud del voladizo.

W_{\min} es el momento resistente de la sección de menor área.

El esfuerzo aplicado sobre la sección transversal viene dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A_t} \quad \text{Ecuación 3.2\#}$$

Dónde:

F : Fuerza ejercida [N]

A_t : Área de la sección transversal [mm²]

El factor de seguridad [n] se define por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S}{\sigma} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Dónde:

S : Resistencia a la fluencia del material del aluminio = 34.4 [Mpa]¹⁹

σ : Esfuerzo aplicado [Mpa]

Se desarrolla el diagrama de equilibrio de la pieza a desarrollar y se muestra en la Figura 3.19.

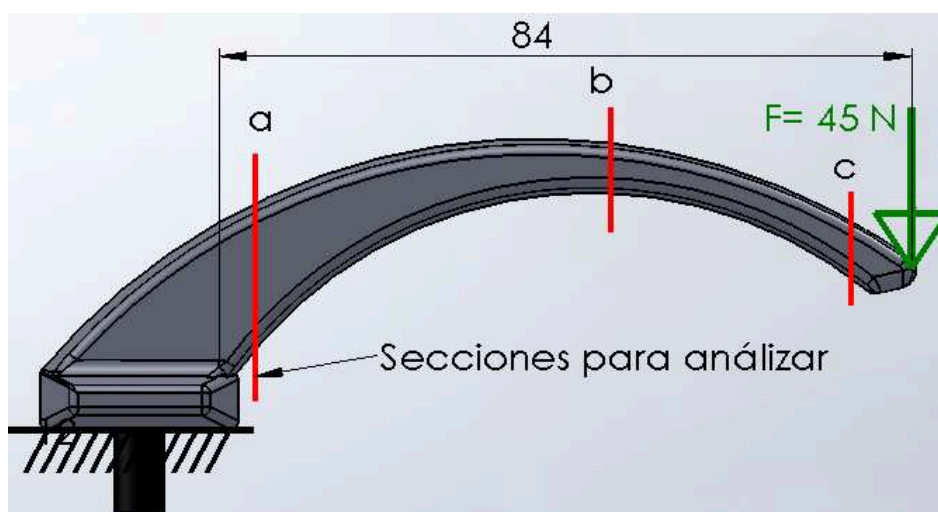


Fig. 3.19. Diagrama de Equilibrio.

¹⁹ *Materiales metálicos* V. Galvañ, M. Sorriano, C. Eslon Universidad Politécnica de Valencia 2005.

Donde:

$d = 84$ [mm]; Distancia desde el punto de apoyo hasta la fuerza ejercida.

$F = 45$ [N]; Fuerza ejercida.²⁰

Se describen en la Figura 3.10²¹ las secciones cortadas de la pieza y el valor de sus áreas donde se van a realizar el análisis

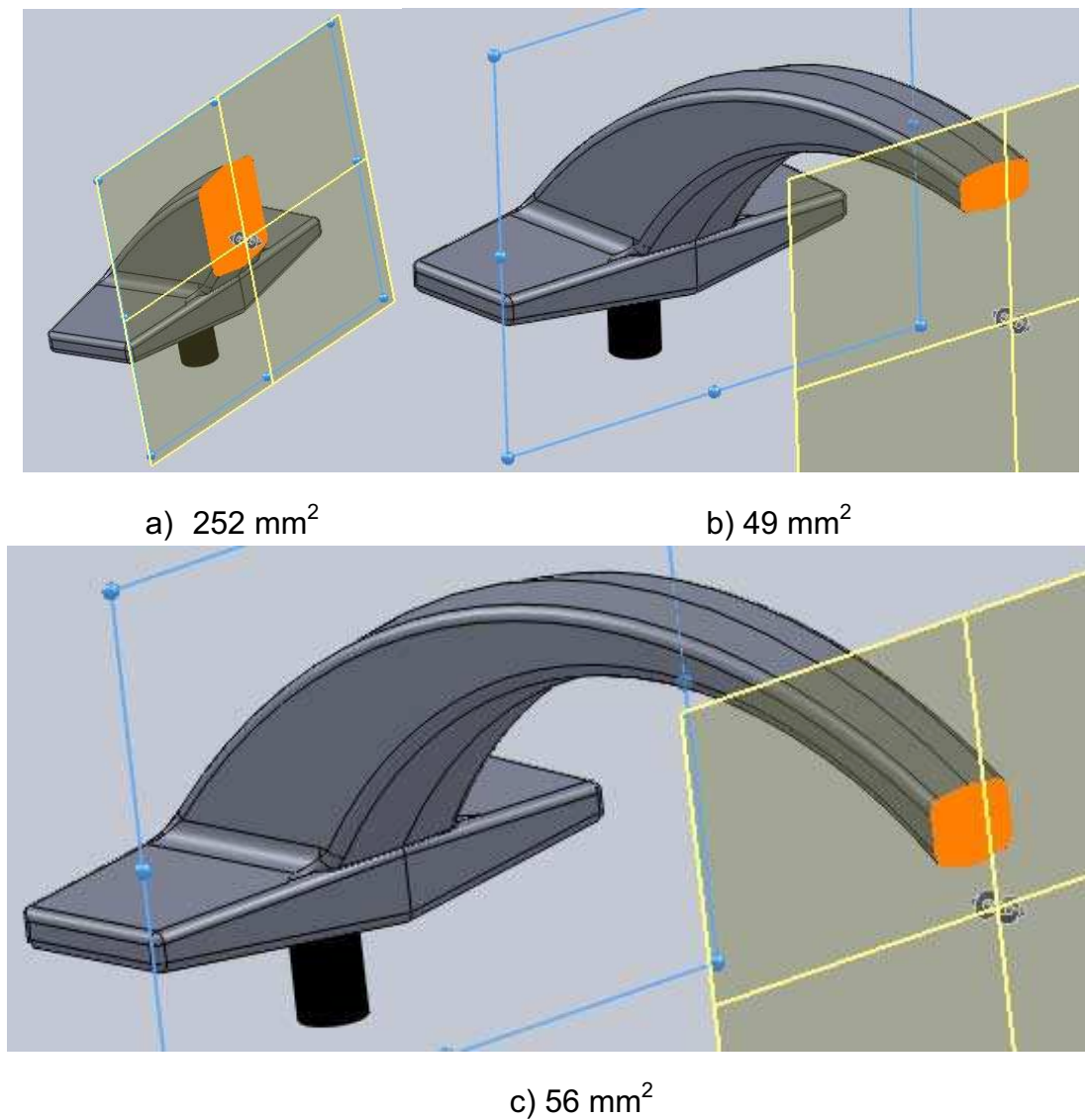


Fig. 3.20. Cortes de sección transversal y destacando sus áreas en mm²

²⁰ Dato obtenido al realizar una prueba.

²¹ Dato obtenido de un software CAD de diseño

De la Figura 3.18 se evalúa el diagrama de esfuerzos cortantes y la reacción [R1] en el apoyo conjuntamente con el momento flector máximo.

De la Figura 3.17 se obtienen los siguientes resultados de equilibrio de fuerzas y momentos.

$$\sum F_x = 0$$

$$R1 - F = 0$$

$$R1 = F = 45[N]$$

$$\sum M = F * L \quad \#$$

$$M_{MAX} = 45 * 84 = 3780[N * mm]$$

Utilizando la Ecuación 3.2 y la menor área de sección transversal de la Figura 3.18 que corresponde a 49 mm^2 se obtiene el esfuerzo aplicado sobre esa sección.

$$\sigma = \frac{45[N]}{49[\text{mm}^2]} = 0.92 [Mpa]$$

Con la Ecuación 3.3 se determina el factor de seguridad en el punto donde la sección transversal es la más pequeña.

$$n = \frac{34.4[Mpa]}{0.92[Mpa]}$$

$$n = 37$$

Se concluye que la pieza con las medidas definidas soporta las condiciones de trabajo tanto en la simulación de ANSYS como con el cálculo analítico.

3.6. CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA.

Las características de la pieza a obtener quedan determinadas de la siguiente manera:

- ❖ Proceso de Obtención: Fundición
- ❖ Material: Aluminio
- ❖ Propiedades Mecánicas : $S_y = 34.4[Mpa]$; $S_{ut} = 89.6[Mpa]$;
 $Y = 70[Gpa]$; $S = 75.8[Mpa]$ *Límite Elástico*²²

Dimensiones finales de la mancuerna desarrollada en la Figura 3.21:

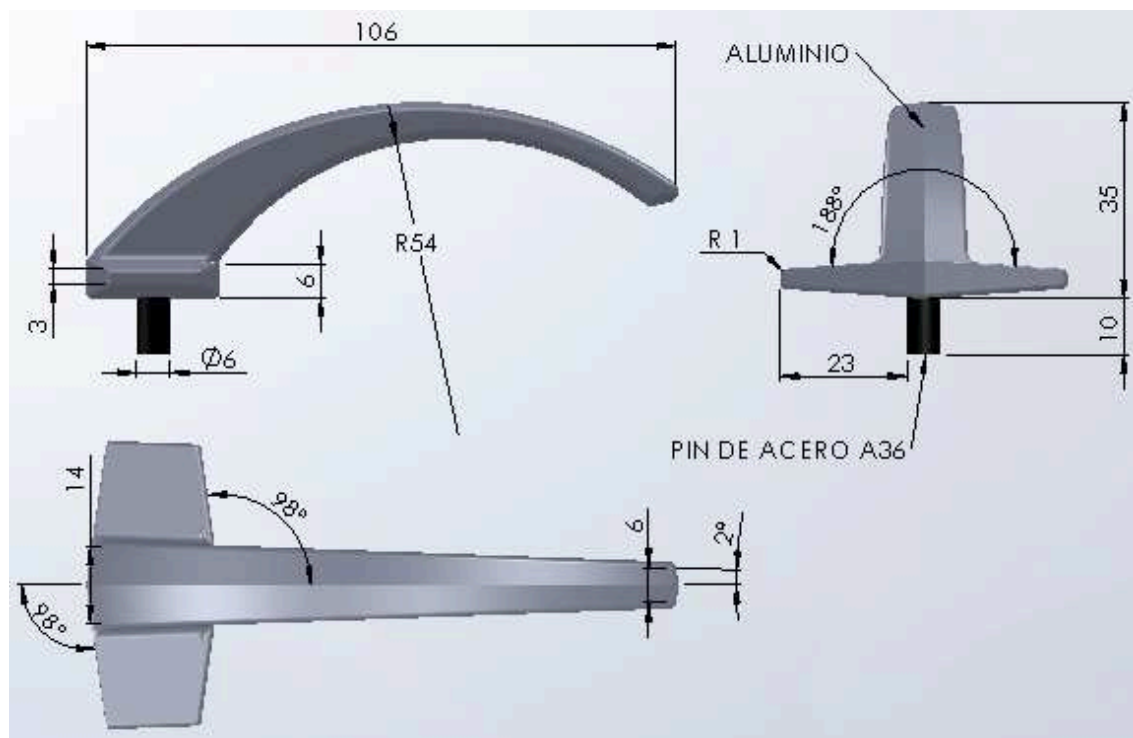


Fig. 3.21. Dimensiones de la mancuerna.

²² *Materiales metálicos* V. Galvañ, M. Sorriano, C. Eslon Universidad Politécnica de Valencia 2005

CAPÍTULO 4.

DISEÑO DEL MOLDE METÁLICO

La fundición en moldes permanentes metálicos es utilizada para la producción masiva de piezas de pequeño y mediano tamaño, de alta calidad y con metales de baja temperatura de fusión (aleaciones de aluminio, de zinc, de plomo o similares).

Las ventajas de su uso, como se ha señalado en el Capítulo II, son la gran precisión y calidad del acabado superficial de las piezas obtenidas, además, son muy económicos cuando se producen grandes cantidades de piezas. Existen varios tipos de moldes metálicos utilizados para la fabricación de piezas principalmente no ferrosas.

El tipo de molde metálico diseñado y construido es a gravedad, esta determinación se lo hace debido a que este tipo de molde es el más adaptable para ser usado en los talleres y fábricas de fundición del país y es el adecuado para el tipo de pieza a producir. Se procede a elegir un molde metálico para producir mancuernas de aluminio para cerrar ventanas, la colada de aluminio oscila entre 680 a 750 °C de temperatura.

Adicionalmente se coloca un pin de sujeción en la matriz, el mismo que sirve para sujetarlo a la ventana. Para la selección del material del molde se usa catálogos y se realiza un cálculo previo.

A continuación se presenta el flujo del proceso a seguir:

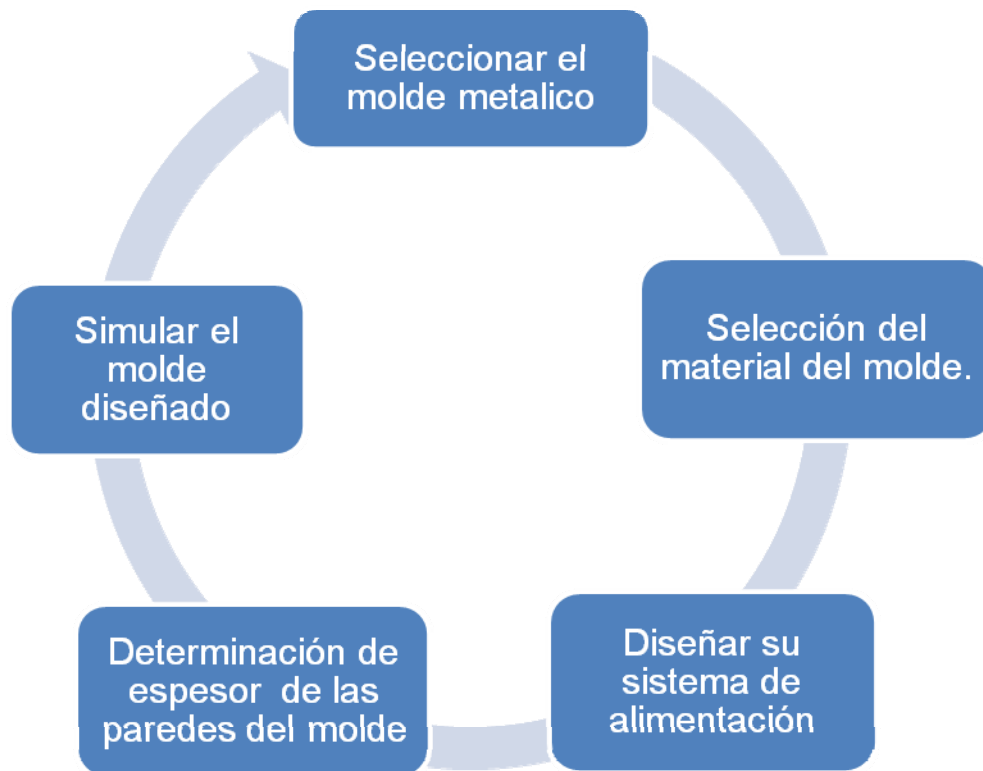


Fig.4.1. Proceso de diseño del molde metálico.

4.1.SELECCIÓN DEL MOLDE METÁLICO.

La necesidad de producción es de cuatro mancuernas para cierre de ventanas a la vez con una masa total de 200gr. y una producción de 50 piezas por hora. La vida útil de la coquilla es para una fabricación de 10000 mancuernas²³.

4.1.1. REQUERIMIENTOS.

Los requerimientos que debe satisfacer el molde son:

- Fácil salida de los gases al momento del colado y solidificación.
- Facilidad de montaje y desmontaje de las piezas que conforman el molde.

²³ ASM, Metal Hand book, Vol. 15, USA, ASM, 1988.

- Versatilidad para el desmontaje de las piezas fundidas.
- Seguridad del llenado de la pieza.
- Bajo rango de espesores de las paredes del molde.
- Durabilidad para una carga de trabajo de 10000 mancuernas.
- Buen acabado superficial.
- Fácil mantenimiento.
- Peso apropiado y maniobrabilidad.

4.1.2. ALTERNATIVAS.

Para valorar los criterios de funcionalidad y operación del molde se utiliza el **método ordinal corregido de criterios ponderados**. Los criterios usados fueron: funcionalidad, peso, facilidad de montaje y fabricación, sistema de alimentación, coeficiente de transferencia de calor, peso, facilidad de operación y el costo, se representa en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Método ordinal corregido de criterios ponderados ²⁴

CRITERIOS	Funcionalidad	Facilidad de Montaje y Fabricación	Sistema de alimentación	Dilatación térmica	Peso	Facilidad de operación	Bajo Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Funcionalidad		1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	5.5	14.7%
Facilidad de Montaje y Fabricación	1		1	1	0.5	1	1	6.5	17.3%
Sistema de alimentación	1	1		0.5	0.5	1	0.5	5.5	14.7%
Dilatación térmica	0.5	0.5	1		0.5	0.5	0.5	4.5	12.0%
Peso	0.5	1	0.5	0.5		0.5	1	5.0	13.3%
Facilidad de operación	1	1	1	0.5	1		0.5	6.0	16.0%
Bajo Costo	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5		4.5	12.0%
							SUMA=	37.5	100%

²⁴ Chase, R. B. & Aquilano, N. J. (2001). Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios (8ª Ed.). McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santa Fe de Bogotá, Colombia.

La primera alternativa es una ubicación vertical y escalonada de las mancuernas en el molde, el mismo que está constituido de dos partes. El ingreso del metal colado es por la parte superior de estas, como se muestra en la Figura 4.2

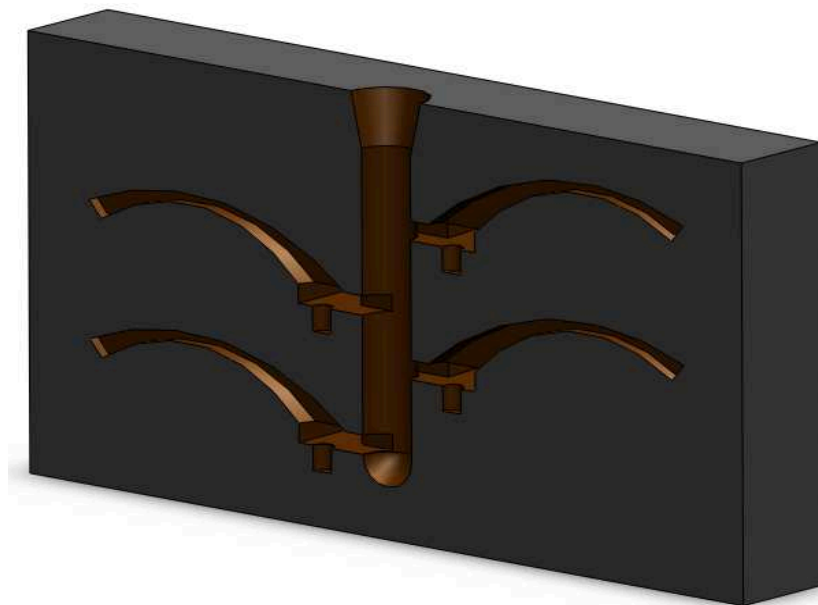


Fig.4.2. ALTERNATIVA 1.

La segunda alternativa es similar a la anterior pero con ingreso del metal colado al mismo nivel para cada par de piezas.

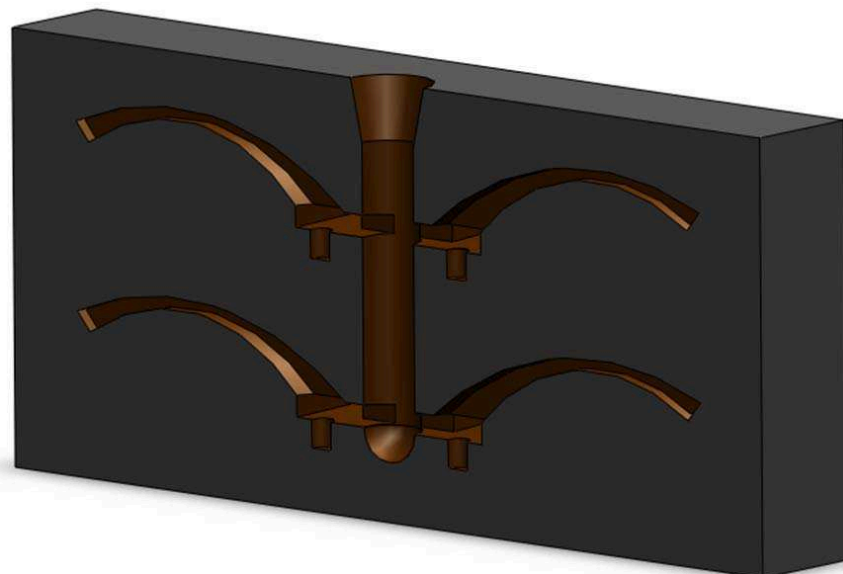


Fig.4.3. ALTERNATIVA 2.

La tercera alternativa es horizontal, la base del molde es de una pieza y la parte superior del molde es dividido en 4 piezas. El ingreso del metal es al mismo nivel para las cuatro mancuernas.

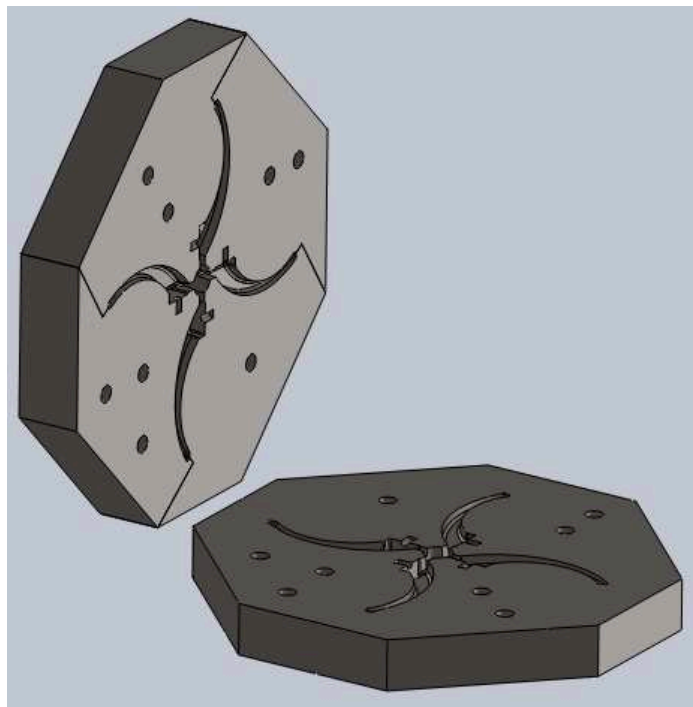


Fig.4.4. ALTERNATIVA 3.

4.1.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

Considerando las características de cada una de las alternativas analizadas se procede a llenar la siguiente Tabla de criterios ponderados:

*Tabla 4. 2 Selección de alternativa mediante criterios ponderados*²⁵

CRITERIOS	Funcionalidad	Facilidad de Montaje y Fabricación	Sistema de alimentación	Coefficiente de transferencia de Calor	Peso	Facilidad de operación	Bajo Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
ALTERNATIVA 1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	5.5	2
ALTERNATIVA 2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	5	3
ALTERNATIVA 3	1	1	1	0.5	0.5	1	1	7	1

²⁵ Chase, R. B. & Aquilano, N. J. (2001). Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios (8ª Ed.). McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Una vez valoradas las principales características de funcionalidad en base a los requerimientos que debe tener el molde metálico se selecciona la alternativa 3.

4.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL MOLDE

Para la selección del material del molde o coquilla para la producción por fundición de mancuernas de aluminio, se consideran las siguientes condiciones:

- Recubrimientos empleados.
- Temperaturas de colada del metal.
- Temperatura a la cual debe mantenerse la coquilla
- Forma y velocidad de la colada.
- Orden y cadencia de las operaciones de desmoldeo.

Las piezas de fundición se obtienen de forma exacta con una superficie de alta calidad proponiendo eliminar el trabajo de maquinado posterior.

El material del molde debe ser un acero para trabajos en caliente que posea resistencia a grietas por calentamiento, tenacidad en caliente, resistencia al impacto y que admita refrigeración con agua.

El Acero ideal para este uso sería el AISI: P20 (mejorado), según DIN: 40CrMnNiMo8-6-4, en aceros BÔLHER: M238. Sin embargo por aspectos de costo se toma la recomendación del MetalsHanbook²⁶ y se elige el acero A36.

4.3. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LAS PAREDES.

El espesor de las paredes del molde depende del tamaño de las piezas que se vayan a colar. Un molde de paredes demasiado gruesas con relación a la pieza, tiene una inercia térmica demasiado grande, lo que retrasa su calentamiento y posteriormente su enfriamiento, mientras que un molde demasiado delgado, se calienta demasiado en cada llenado y se enfría con rapidez en cada vaciado.

²⁶ ASM, Metal Hand book, Vol 15, USA, ASM, 1988.

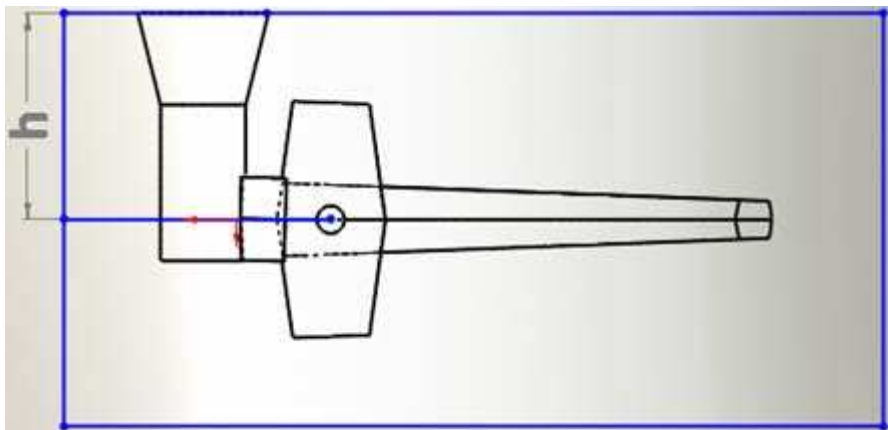


Fig.4. 5 Altura de pared.

El criterio que se considera es la altura del montante de alimentación. Para determinar esta altura se utiliza la fórmula²⁷

$$V_m \approx \frac{V_p \times RE}{U - RE}$$

Ecuación 4.3

Dónde:

V_m = Volumen de la Mazarota

V_p = Volumen de la mancuerna

U = % de utilización del metal

RE = Rechupe específico del metal en la mazarota (%)

$RE = 7.2$

$U = 14$

$$V_m = \frac{13258 \times 7.2}{14 - 7.2}$$

$$V_m = 14037 \text{ mm}^3$$

$$V_m = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$14037 = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$h = \frac{14037}{\pi \times 10 \times 10}$$

$$h = 44.7 \text{ mm}$$

Se aproxima a: $h = 45 \text{ mm}$. Esta es la altura del montante de alimentación y se toma como el valor para el espesor de la coquilla.

²⁷ NAVAS y Otros; Métodos de Cálculo en Fundición; CUBA; ISTH; 1990; 184P

4.4.DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

El sistema de alimentación debe garantizar un buen llenado de las piezas, una buena alimentación mientras solidifica, evitar la retención de gases en el interior de las piezas, una suficiente presión metalostática y así posibilitar una fácil separación de los canales de alimentación.

Se procede primero a definir el área del canal vertical o montante y del canal de alimentación con el método de círculos inscritos²⁸, luego se analiza con el Software VULCAN de elementos finitos.

Seguidamente se realiza los cálculos analíticos y se relaciona con las dimensiones obtenidas en el Software citado y se concluye las dimensiones finales del sistema de alimentación.

El método de los círculos inscritos consiste en insertar círculos en el espesor de la mancuerna y del sistema de alimentación y considerando la misma dirección de ingreso del metal pero en sentido contrario los círculos deben salir fácilmente por este camino, si no lo hace significa que existe la posibilidad de que se produzca rechupes en la pieza. Para la aplicación de este criterio se realiza un corte de una de las mancuernas con el sistema de alimentación, como se indica en la Figura 4.6, se define así una primera área del montante (A_M) correspondiente a un radio de 7mm. El área del canal de alimentación individual a cada una de las piezas se toma como valor $7/16 (A_M)$, que responde a una alimentación a presión, teniendo así las primeras medidas con las que se procede a simular.

El Programa VULCAN permite realizar la simulación y su análisis en tres etapas: llenado, solidificación térmica y enfriamiento termo-mecánico. Se procede a simular siguiendo el orden indicado.

²⁸ TAYLOR H., Foundry Engineering, USA, 1959, 407p.

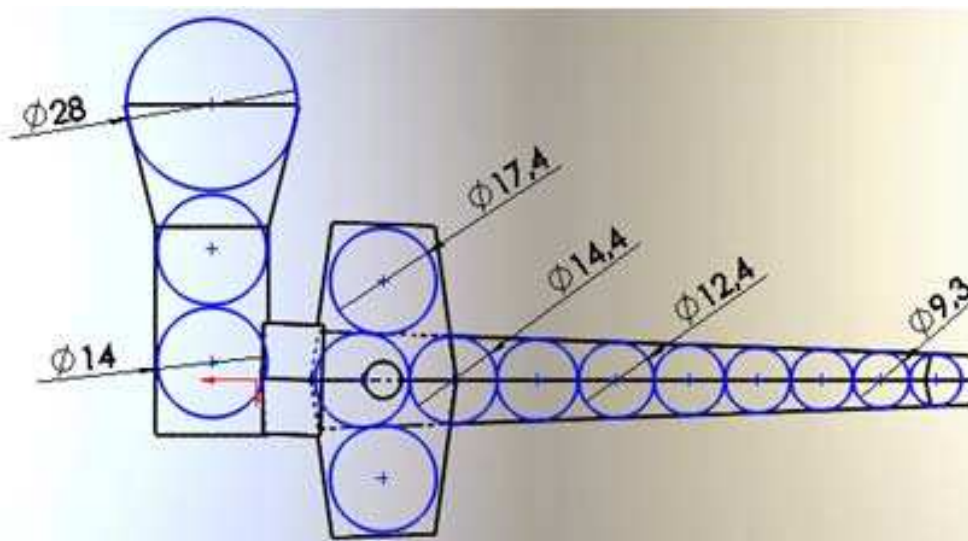


Fig.4.6. Determinación de A_M por el método de círculos inscritos

4.4.1 SIMULACIÓN DEL LLENADO.

La simulación en VULCAN se desarrolla de la siguiente manera:

1. Se Importa la geometría.igs, Se teclea el icono IGIS y se elige la carpeta donde previamente se ha guardado la geometría en otro software especializado en dibujo, en este caso de INVENTOR y grabado en formato igs:

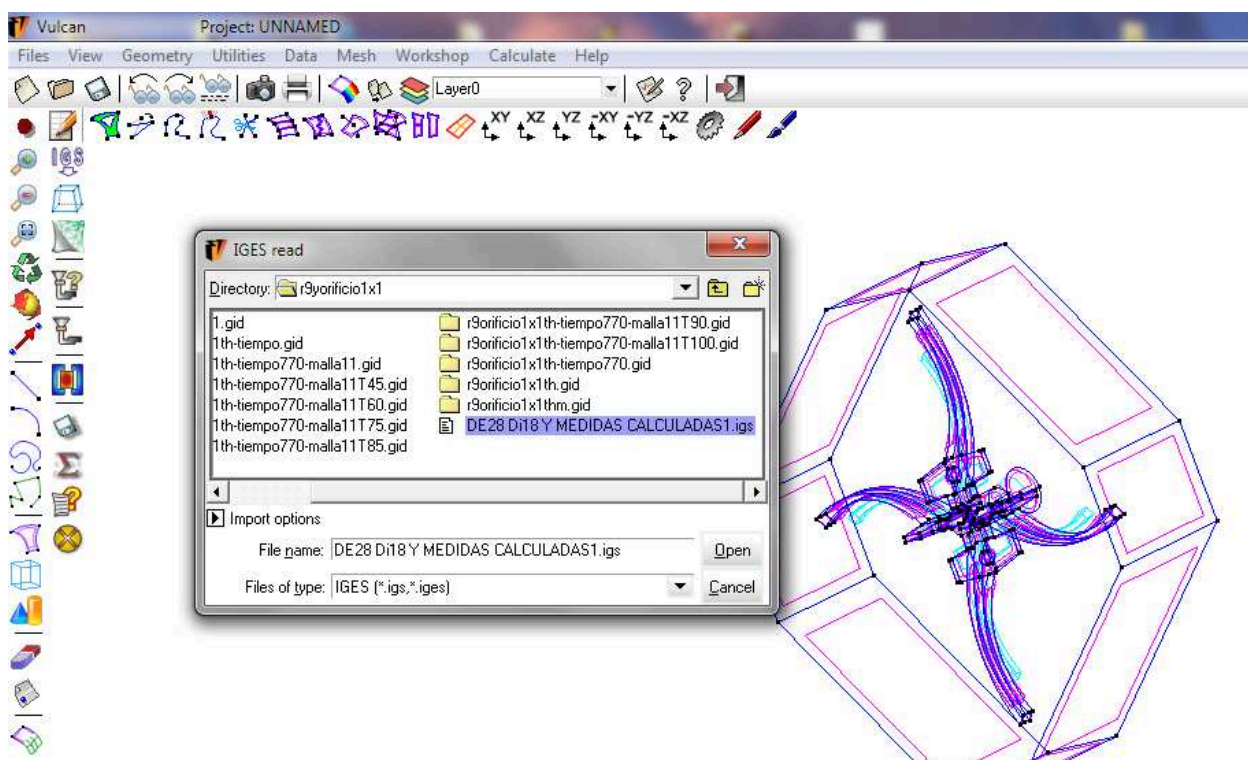


Fig.4. 7 Importación de geometría

2. Se crea las capas molde y moldura, es importante elegir una capa para el molde y otro para el sistema de alimentación y pieza, en este caso se ha llamado **Molde** y **Moldura** respectivamente. Esta y las posteriores creaciones y arreglos se hace desde la capa **Molde**:

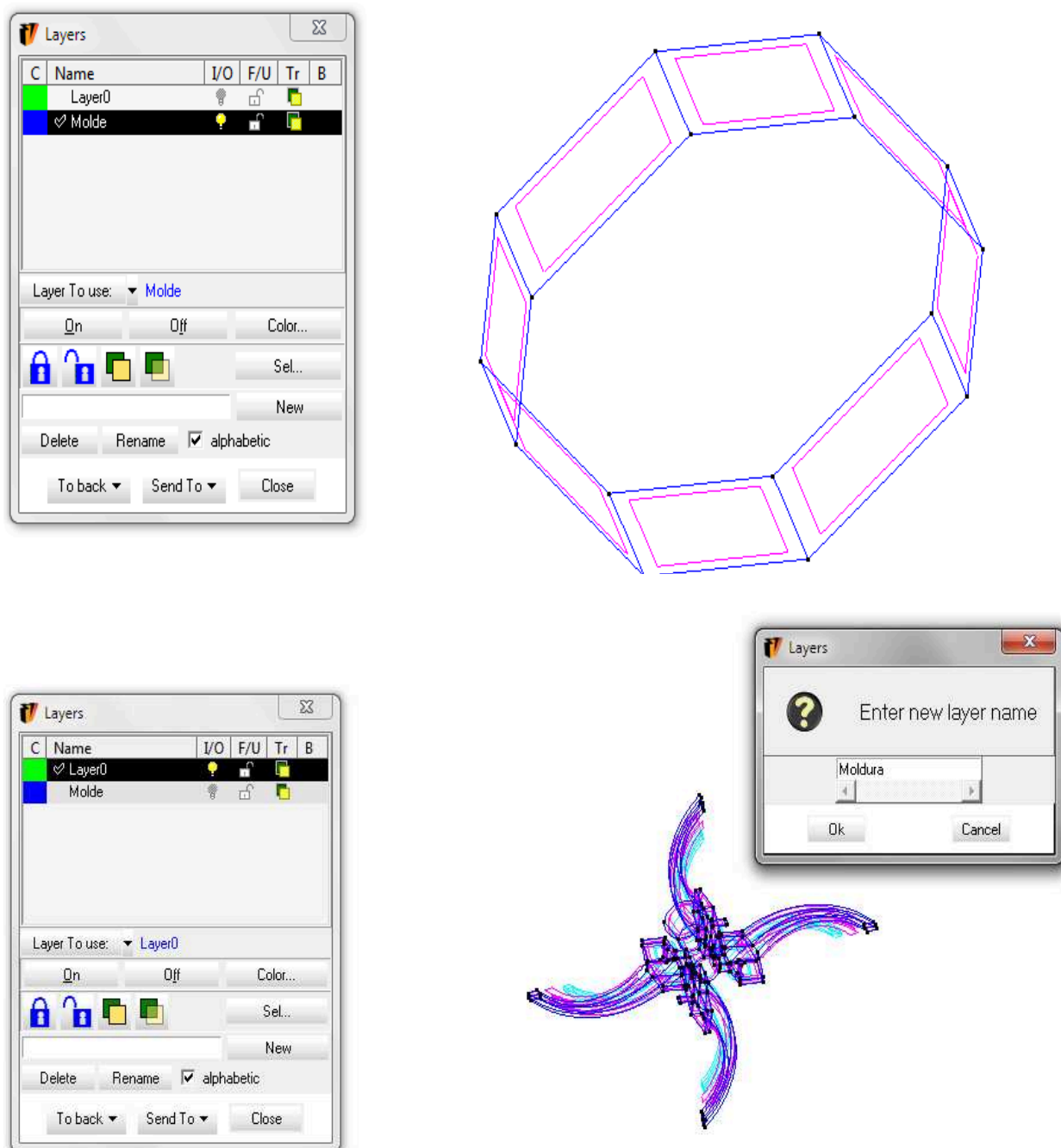


Fig.4. 8 Separación en diferentes capas al molde y a la moldura

3. Se crean superficies en los planos inferior y superior del **Molde**:

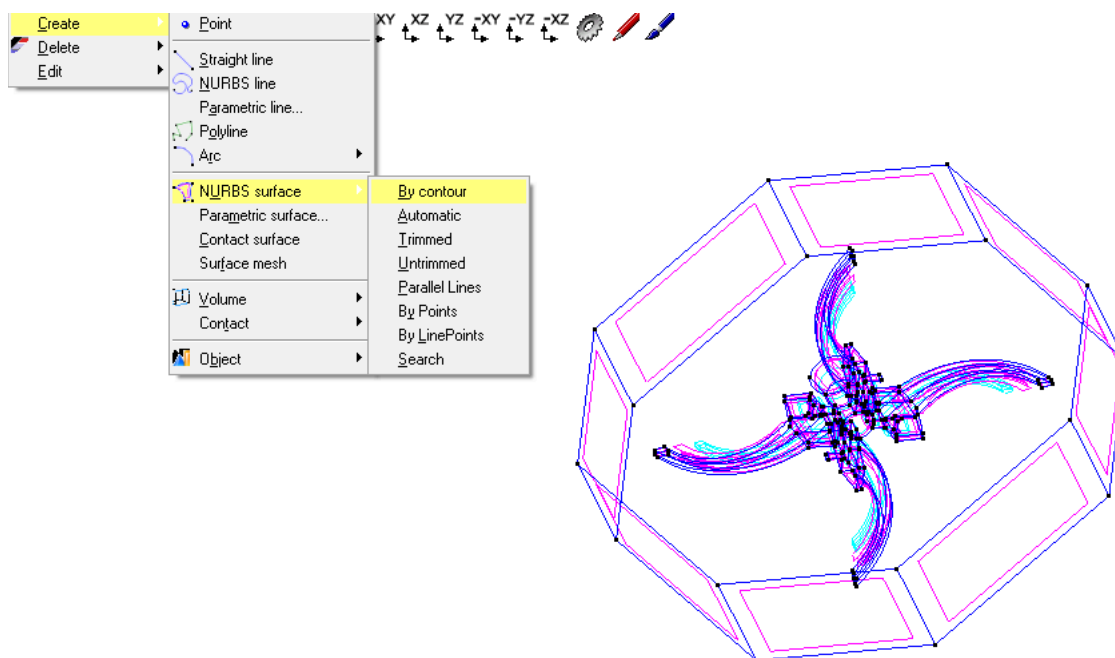
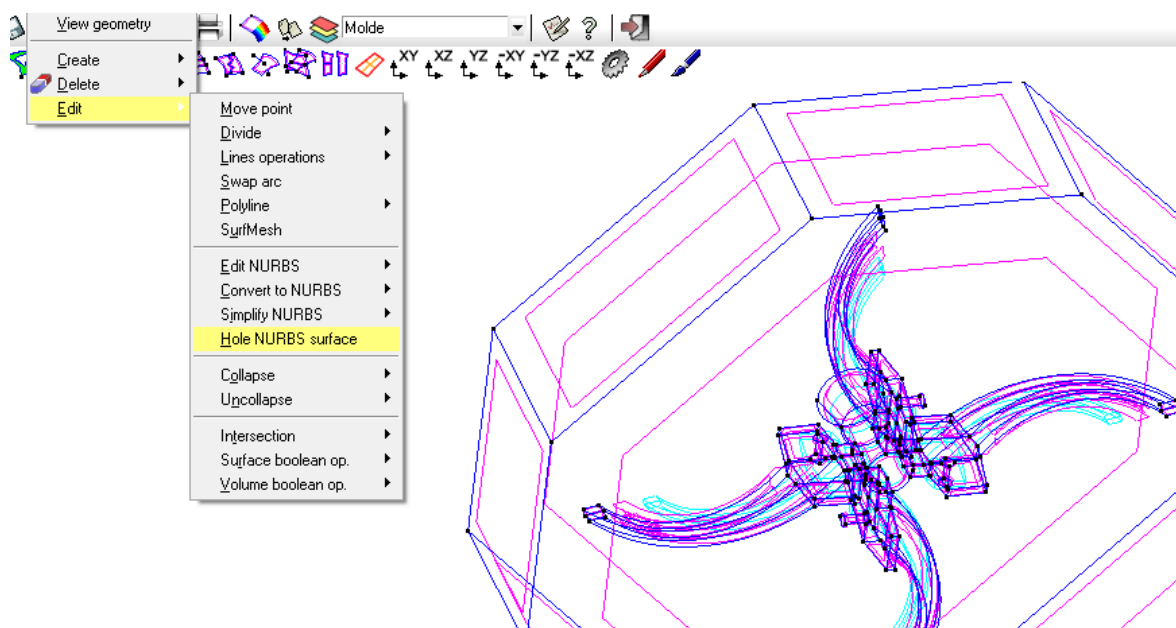


Fig.4.9 Creación de superficies

4. Se crea el orificio de ingreso de metal en la superficie superior del molde:
Se debe seleccionar la superficie superior y luego el orificio que constituye el ingreso del metal, se sigue el dialogo que en el texto inferior va presentando el programa:



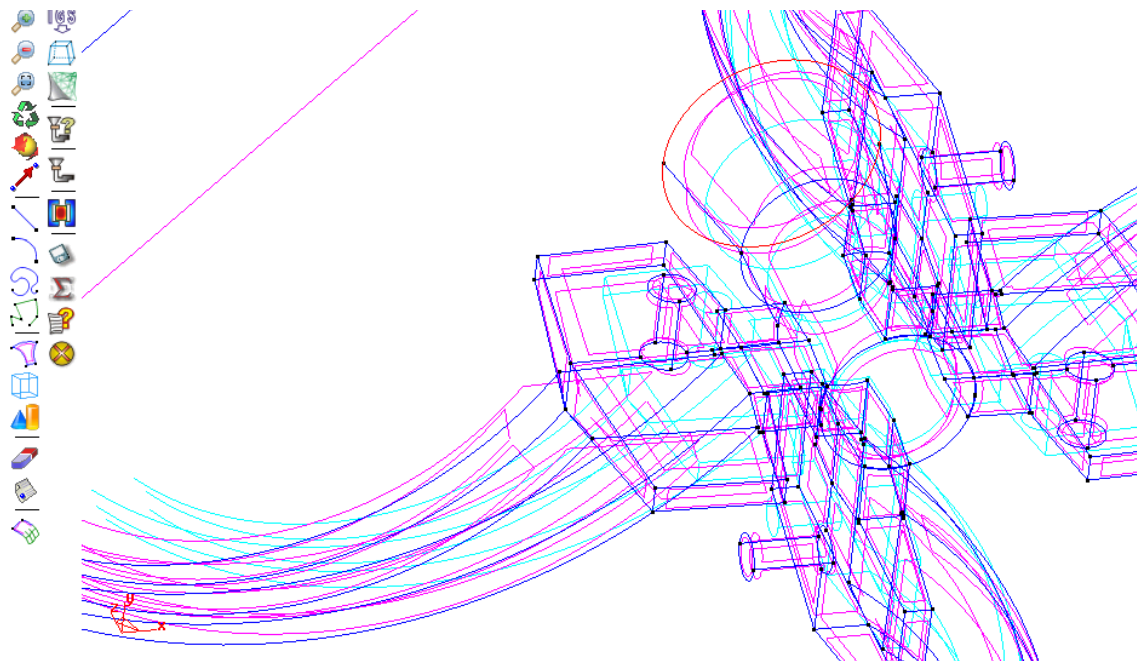


Fig.4. 10. Creación del orificio en la superficie superior del molde

5. Se crea el Volumen del molde. En este paso es importante indicar el orificio creado en el paso anterior:

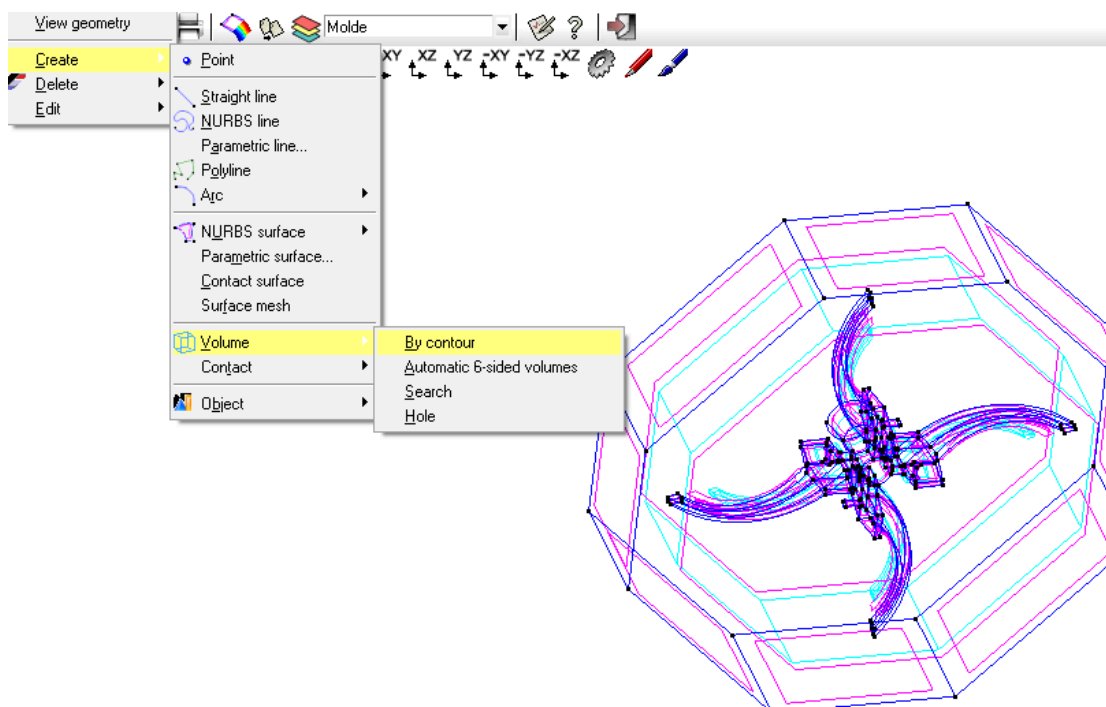


Fig.4. 11. Creación del volumen del molde

6. Se selecciona el tamaño de los elementos y se malla, es posible crear mallas diferenciadas del molde y de la moldura, e incluso de partes que requiera mayor precisión:

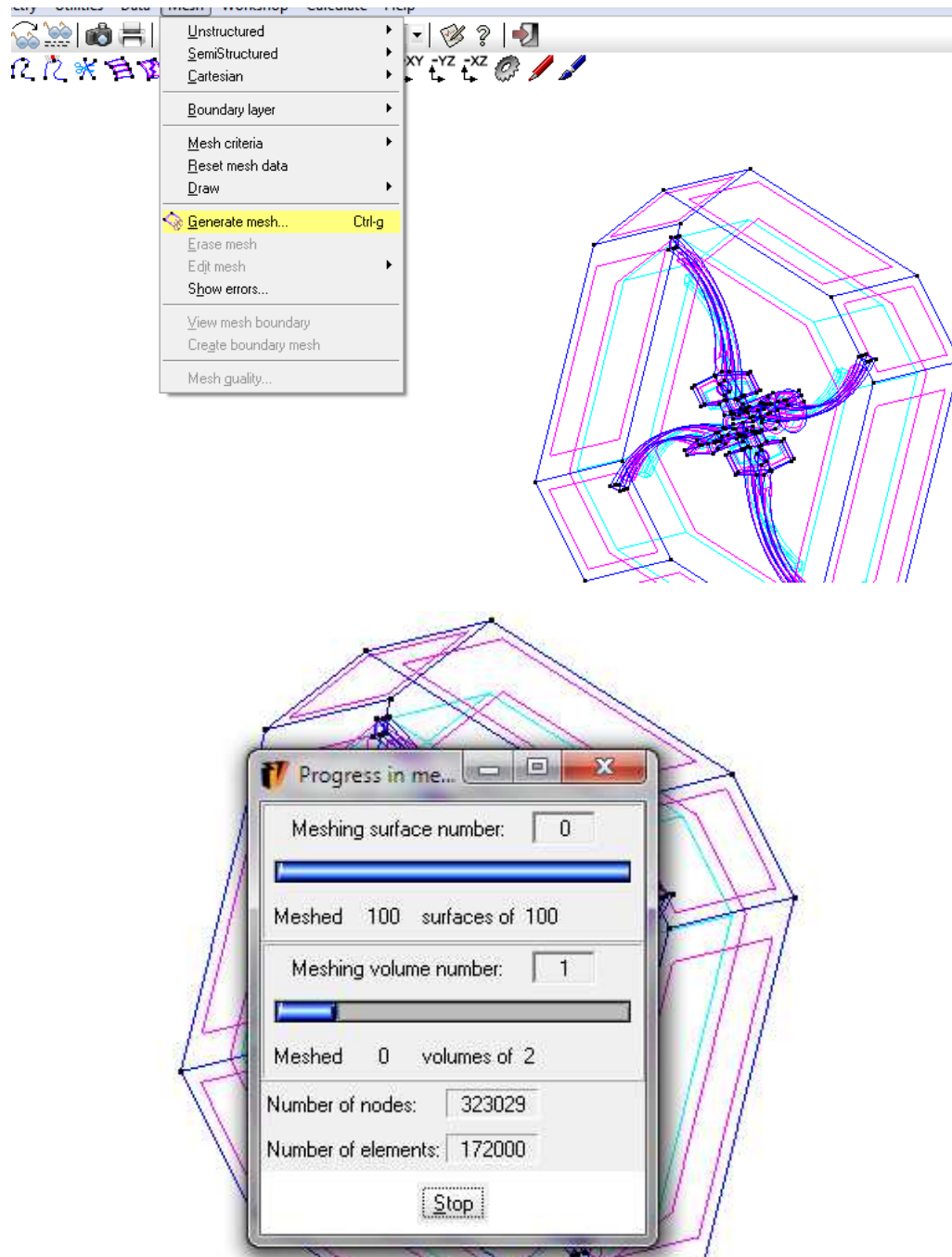


Fig.4. 12. Generación de la malla

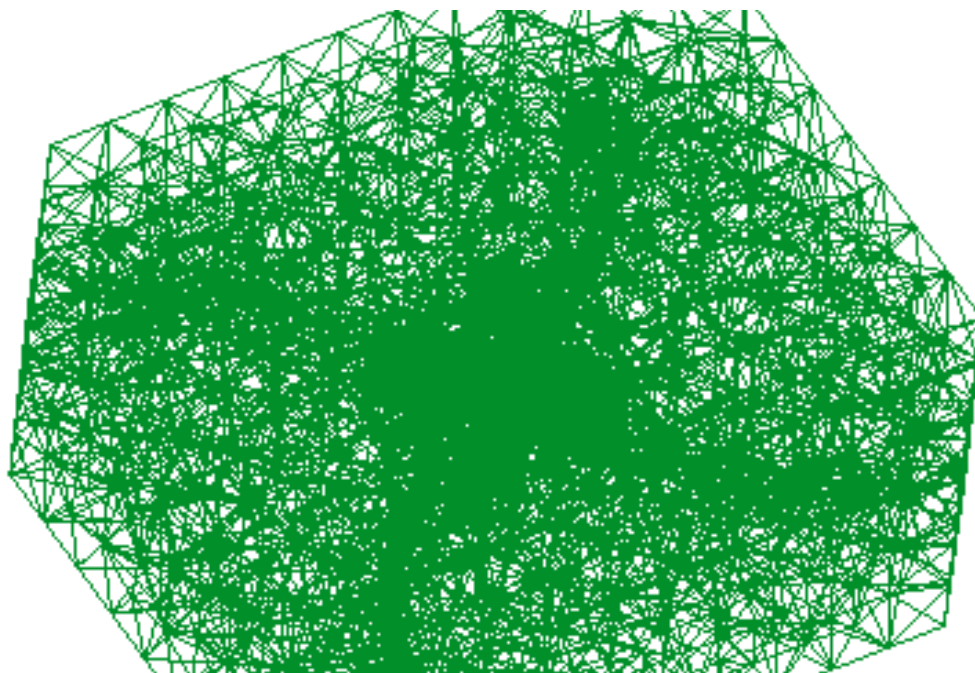


Fig.4.13 Malla generada

7. Se define el tipo de problema: En este caso se selecciona Fundición por gravedad y, la dirección y sentido que para el ejercicio es $-x$:

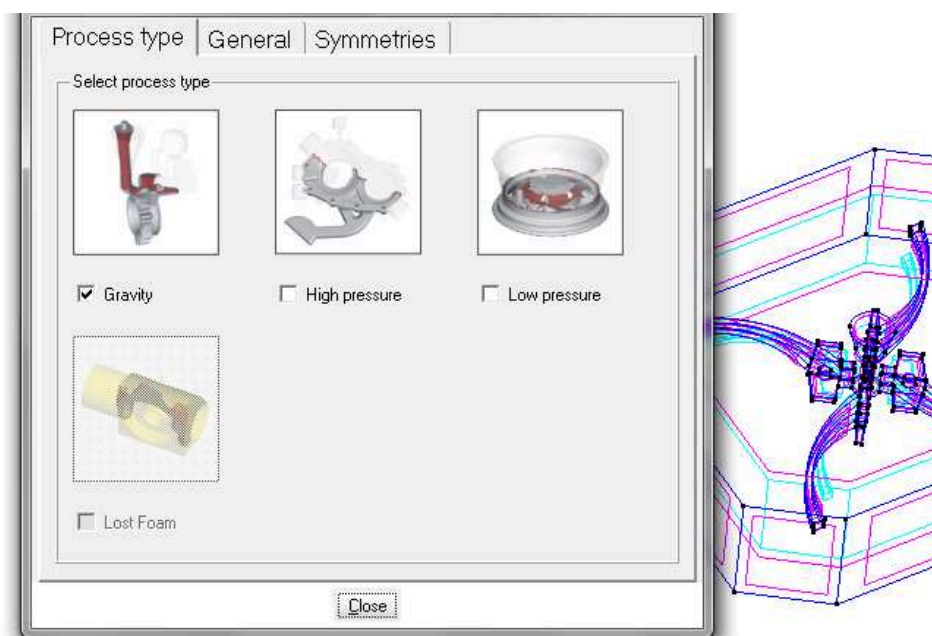


Fig.4.14 Selección del tipo de problema

8. Se define los componentes del proceso de fundición: es necesario elegir los materiales del molde, en este caso Acero y del metal fundido aleación de aluminio.

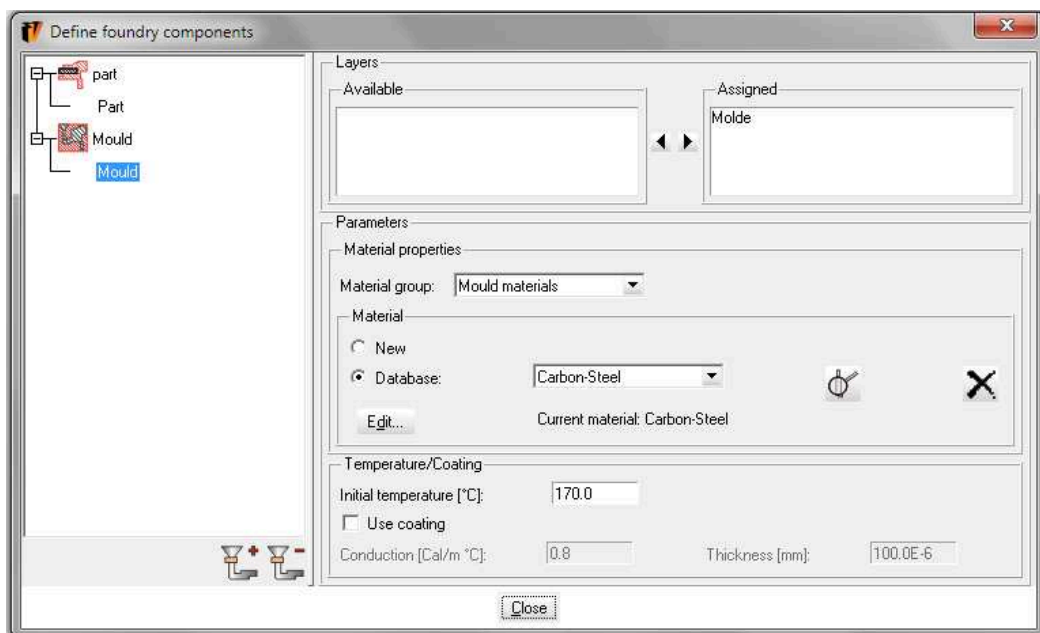


Fig.4.15 Selección del material para el molde y moldura

9. Se define el tipo de cálculo a realizar. En este caso el Llenado:

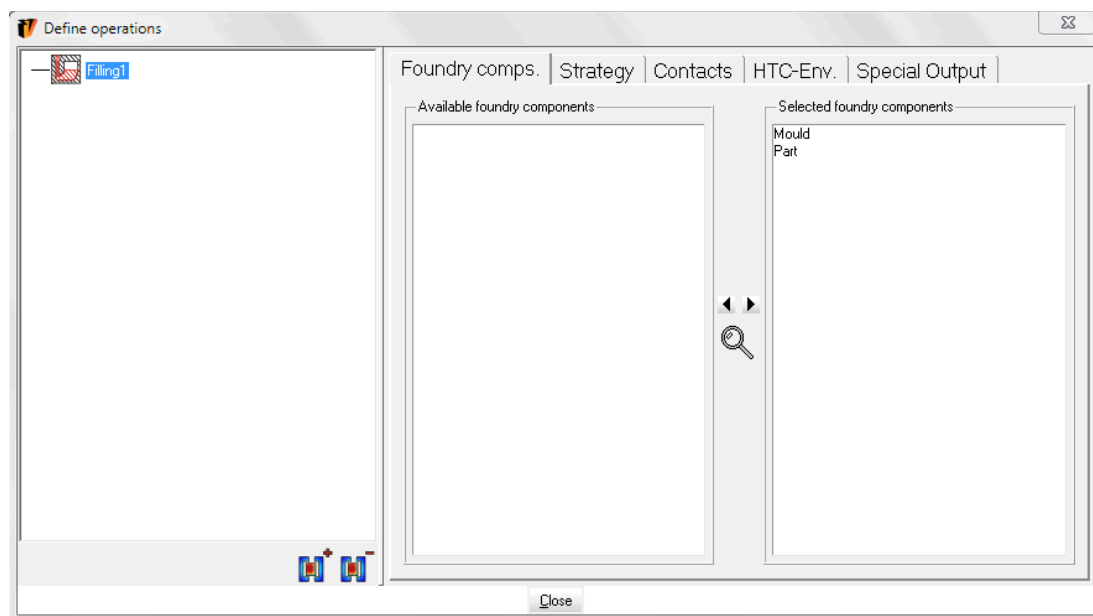


Fig.4.16 Selección del tipo de cálculo a realizar (Llenado)

10. Se procede a guardar el Proyecto y se ordena calcular:

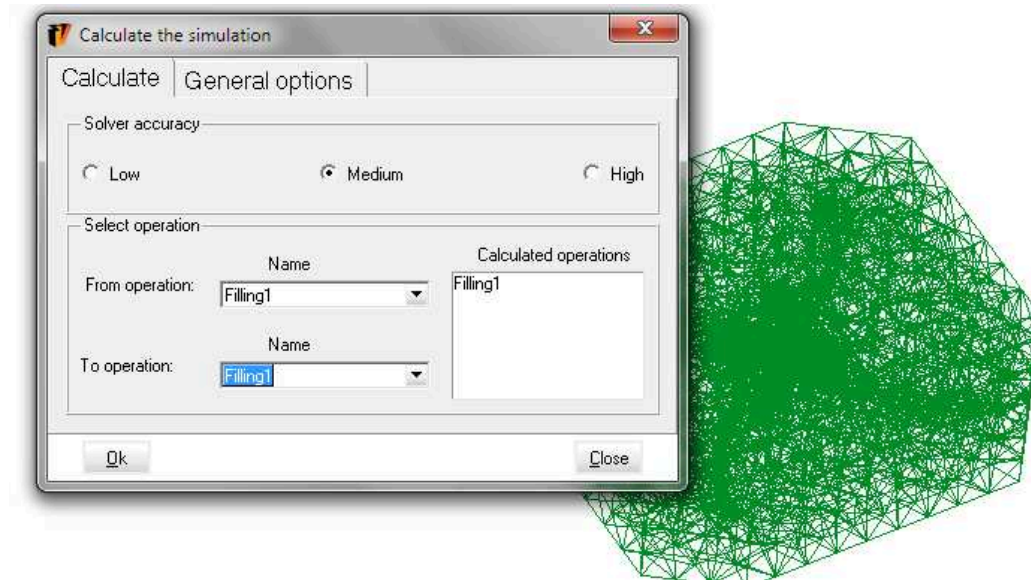
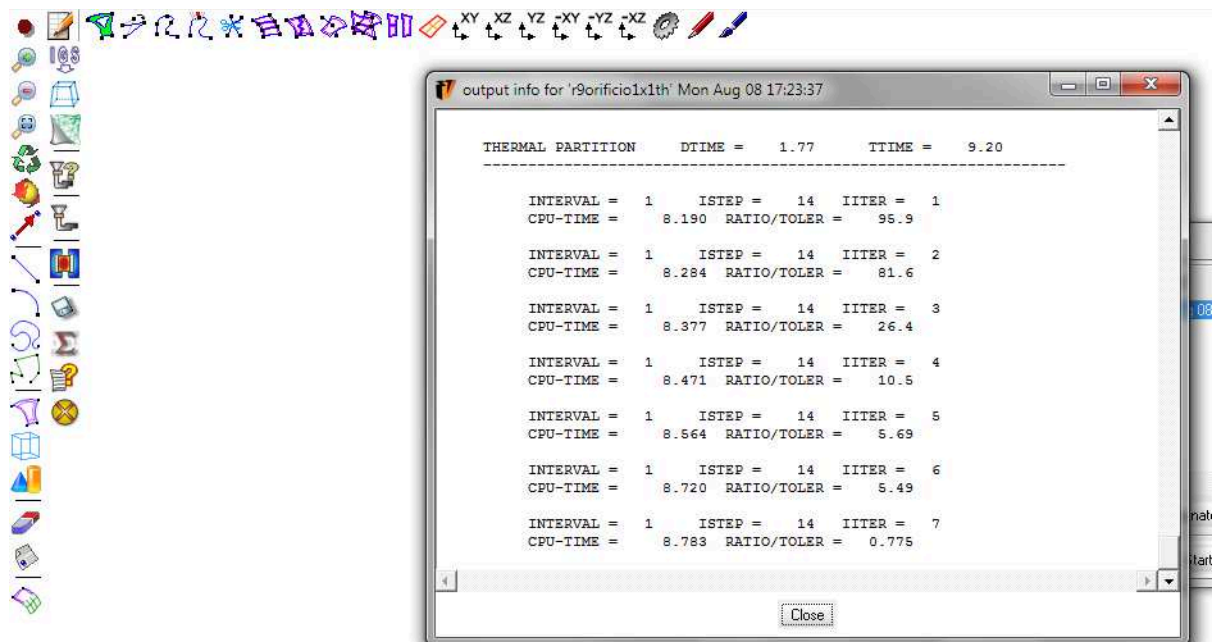


Fig.4.17 Cálculo para llenado en calidad media

12. Se desarrolla el cálculo:



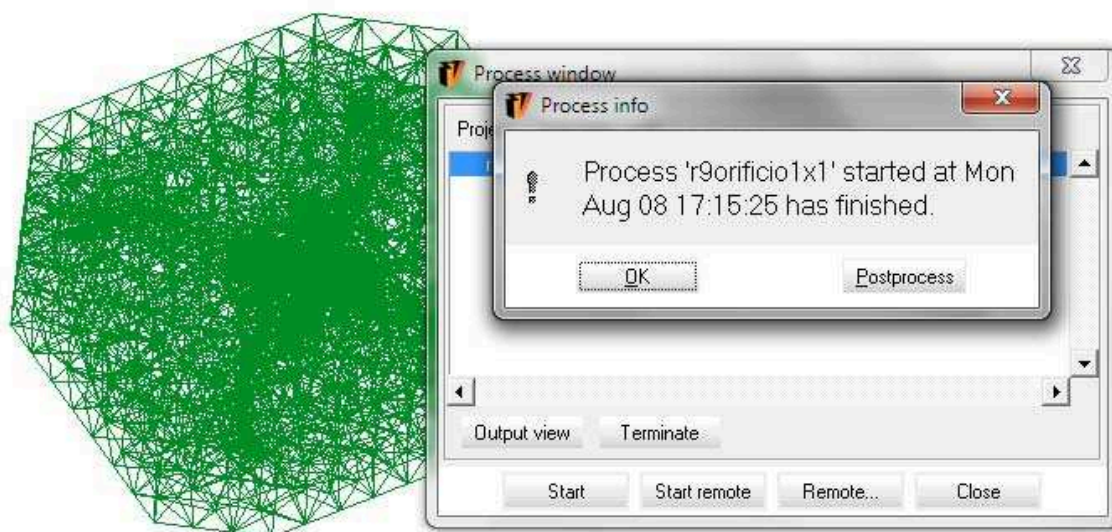


Fig.4.18 Desarrollo del cálculo

13. Se pasa al postproceso y se carga los resultados obtenidos:

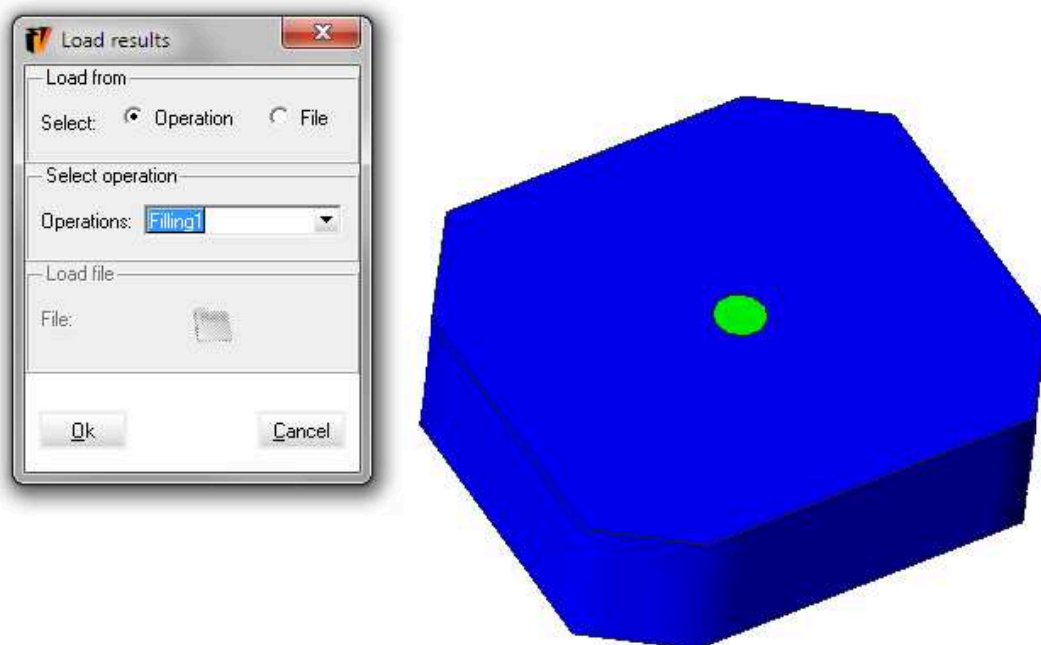


Fig.4.19 Carga de resultados obtenidos

14. Finalmente se procede a la lectura e interpretación de los resultados.

Para el caso en estudio los resultados más importantes son las zonas donde se tienen los últimos aires, la velocidad de la colada y la distribución de la temperatura en el llenado. Particularmente para el molde metálico es muy importante la información sobre las zonas de presencia de los últimos aires.

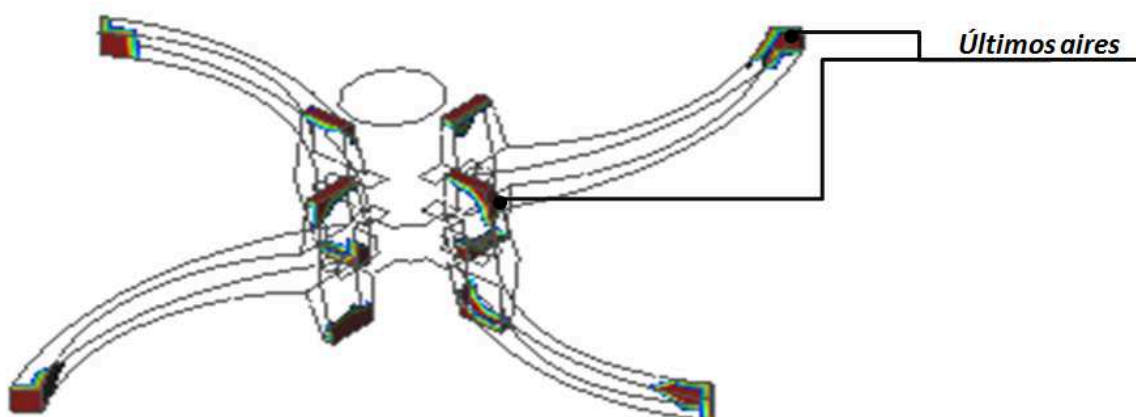


Fig.4. 20 Zonas de presencia de los últimos aires

4.4. 2 SIMULACIÓN DE LA SOLIDIFICACIÓN TÉRMICA.

Realizando el mismo procedimiento hasta el paso 8 seguido en la simulación de llenado se procede a seleccionar el tipo de cálculo de Solidificación Térmica, se calcula, se pasa al postproceso y se cargan los resultados, en esta operación son de importancia para el diseño los resultados obtenidos de última fracción en solidificar. Se inicia la simulación con las áreas determinadas por el método de círculos inscritos, ya utilizado en la simulación anterior, es decir el montante con un radio de 7 mm y los canales de alimentación con áreas correspondientes a 7/16 del área del montante.

En esta primera simulación se determina que el área del montante debería ser aumentada debido a que los últimos sólidos que se tiene aún se encuentran en cierto porcentaje en los detalles de la pieza, por lo que se determina una nueva

$$A_M = \pi * 9^2 \text{ [mm}^2\text{]}.$$

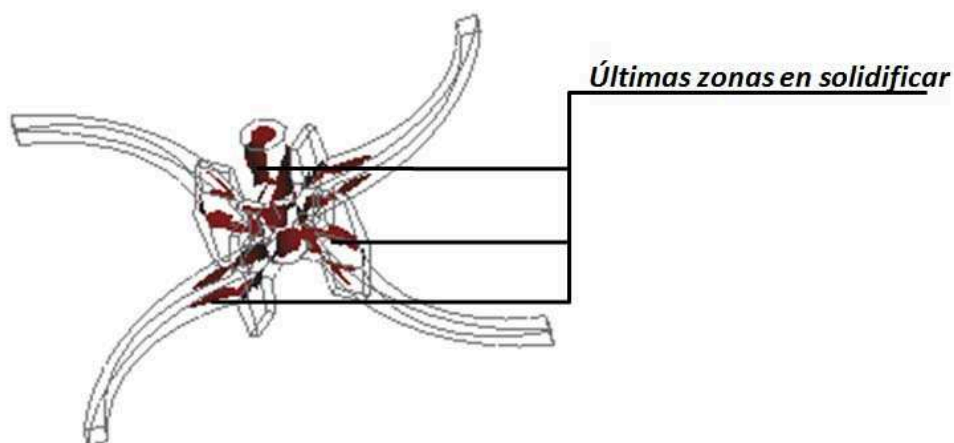


Fig.4. 21 Últimos sólidos en la moldura con radio de 7mm

Con este nueva valor se procede a simular nuevamente, adicionalmente, se perfecciona el mallado haciéndolo más fino en la zona de contacto del sistema de alimentación con la pieza obteniéndose que los últimos sólidos se trasladan al montante, aunque quedan aún algunos en la pieza.

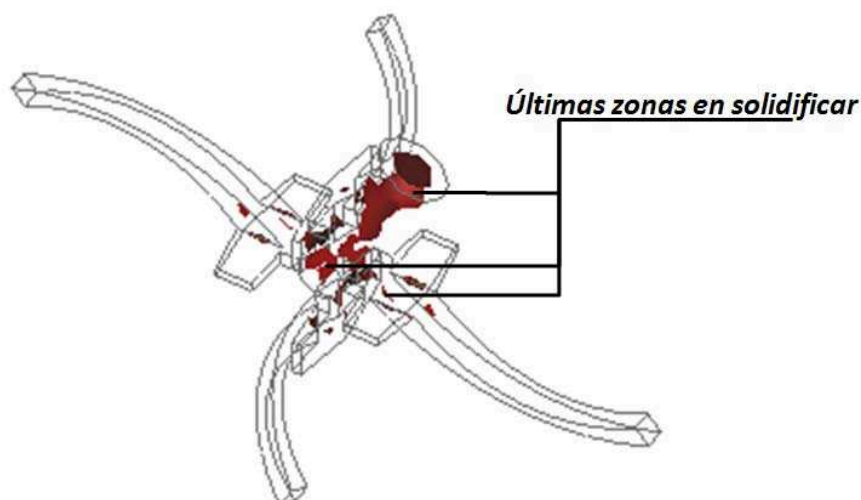


Fig.4. 22 Últimos sólidos en la moldura con radio de 9mm

Se puede notar que aún existen zonas en la pieza que solidifican al mismo tiempo que el montante por lo que se aumenta a un radio de 10mm, el área de los canales se considera la misma relación de $7/16$ del área del montante por lo que se lo determina a 7mm, obteniéndose una clara eliminación de los últimos sólidos en la pieza.

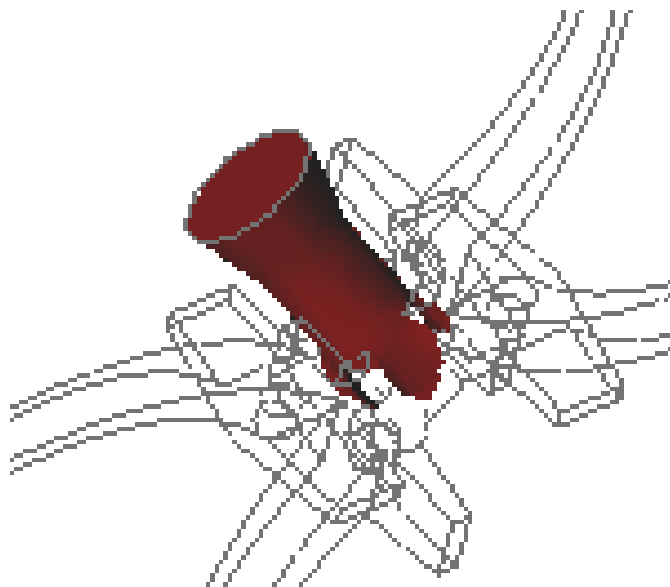


Fig.4. 23 Últimos sólidos en la moldura con radio de 10mm

Se observa que la última fracción de sólido es en el montante. Otro factor importante a analizar es el defecto Niyama, el cual es un criterio aplicado a los software de simulación de fundición que anticipa la presencia de rechupes en una determinada zona. Este criterio se aplica únicamente a la simulación con el último resultado, determinándose que los valores más altos están ubicados en el sistema de alimentación, confirmando así que los rechupes se presentarán allí y que no hay probabilidad de formación de rechupe en la pieza, donde los valores del defecto Niyama son los más bajos. Como se muestra en la Figura 4.24.

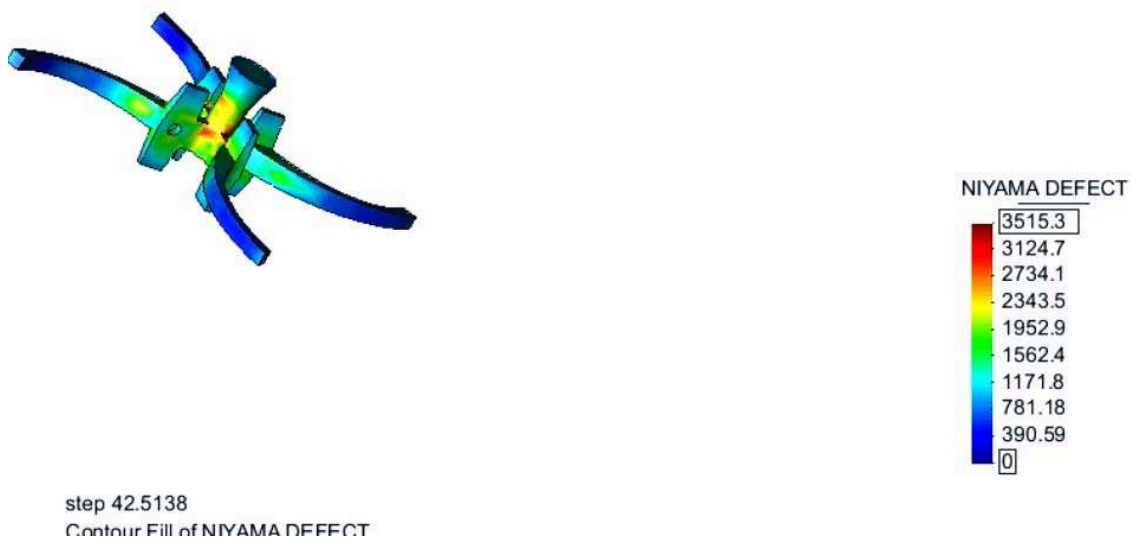


Fig.4. 24 Mayores valores del Defecto Niyama

4.4.3 SIMULACIÓN DEL ENFRIAMIENTO TERMO MECÁNICO.

Un aspecto importante para las propiedades finales de las piezas es determinar las tensiones residuales que se producen en el proceso de enfriamiento de la pieza en la coquilla, este análisis se lo hace con el paquete termal mecánico del software VULCAN, el procedimiento de simulación es similar a las dos simulaciones anteriores, hay que elegir el tipo de cálculo como Enfriamiento Termomecánico, los resultados obtenidos son totalmente satisfactorios ya que los esfuerzos residuales resultantes son totalmente despreciables en las cuatro piezas que se producen a la vez, tal como se muestra en la Figura 4.25

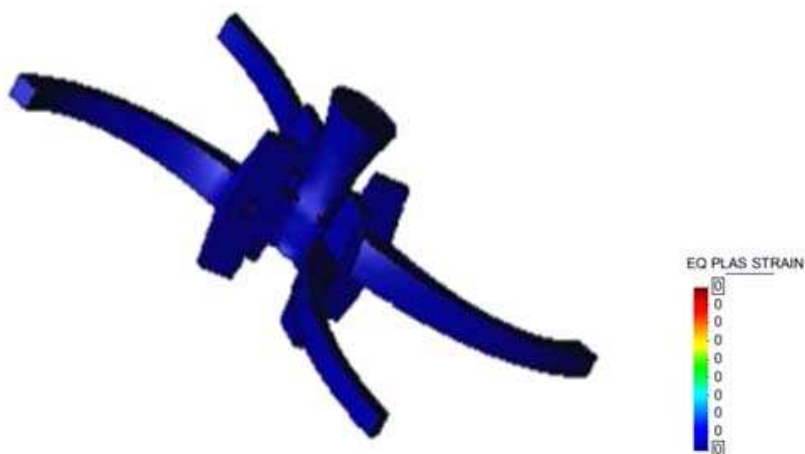


Fig.4. 25 Simulación de esfuerzos.

Se presenta a continuación un cuadro de resumen de los resultados obtenidos en la simulación:

Tabla 4. 3 Resumen de las simulaciones

RADIO DEL MONTANTE	Llenado	Últimos sólidos existentes	Defecto Niyama	Tensiones Residuales
7 mm	Bueno	En montante y Pieza	Alto en montante y medio en pieza	Nulo
9 mm	Bueno	Más en montante que en pieza	Alto en montante y medio en pieza	Nulo
10 mm	Bueno	Solo en montante	Alto en montante y	Nulo

			Bajo en pieza	
--	--	--	---------------	--

Se concluye que un área del montante correspondiente a un radio de 10 mm y un espesor de los canales de alimentación de 7mm es el adecuado.

4.4.4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS.

Con la simulación se han seleccionado las áreas del montante y de los canales de alimentación. Para validar estas áreas se realiza el cálculo utilizando el método de Y. Dubinski²⁹

$$\Sigma A_a = G / (T_v * K) \text{ cm}^2 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

A_a = Area del Montante

G = masa del liquido que pasa por el sistema de alimentación en Kg.

K = Velocidad específica de vertido Kg/ (cm².s)

T_v = Tiempo de vertido

$$T_v = S \sqrt{G} \text{ s.} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

S= coeficiente dependiente del espesor medio de la pieza (6 mm.)

De tabla 28 se tiene³⁰ S = 1,8

G = 0,215 Kg

T_v = 0.83 s.

La densidad relativa (K_v) de una pieza se obtiene con los valores máximos de la misma en dm³:

$$K_v = 0.04 \text{ Kg} / 1.5 \text{ dm}^3 = 0,027 \text{ Kg} / \text{dm}^3$$

El valor de K se determina con la tabla 29 para la densidad relativa calculada:

$$K = 0.1 \text{ Kg} / (\text{cm}^2 \cdot \text{s})$$

Reemplazando los valores calculados en la Ecuación 4.1:

$$A_a = \frac{0.215 \text{ Kg.}}{0.83 \text{ s.} \cdot 0.1 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}}$$

$$A_a = 2.9 \text{ cm}^2 = \pi * r^2 = 290 \text{ mm}^2$$

Siendo el montante circular su radio es:

²⁹ NAVAS y Otros; Métodos de Cálculo en Fundición; CUBA; ISTH; 1990; 184P.

³⁰ NAVAS y Otros; Métodos de Cálculo en Fundición; CUBA; ISTH; 1990; 184P.

$r = 0.96\text{cm} = 9.6\text{ mm}$, aproximando:

$r = 10\text{mm}$

Para el canal de alimentación se considera colado a presión con una relación de áreas:

$$A'' = A_0 * 7/16 = 137.4\text{mm}^2$$

Siendo la altura del canal de 20 mm el espesor del canal "e" será:

$$e = 137,4\text{mm}^2/20\text{mm} = 6,87\text{ mm}, \text{ aproximando este valor se tiene}$$

$$e = 7\text{mm}$$

Los dos valores $r = 10\text{mm}$ y $e = 7\text{mm}$ confirman los valores alcanzados con la simulación con el software VULCAN.

.

CAPÍTULO 5.

MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA COQUILLA

5.1. MECANIZADO COMPUTARIZADO.

CONTROL NUMÉRICO. *“Se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa.”³¹*

Para alcanzar un acabado de calidad por arranque de viruta, una alternativa es la introducción en las industrias de manufactura los criterios de automatización. Uno de los elementos importantes dentro de este resurgir de la automatización son las Máquinas Herramientas de Control Numérico Computarizado, las cuales brindan muchas ventajas, como la reducción de costes, el incremento de la productividad, la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Las máquinas de control numérico configuran una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales.

El control numérico se introdujo en los procesos de fabricación por varias razones:

- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.

³¹ Control Numérico. Autor: José Ramón Alique López. Editorial: Boixareu. Año: 1981

- Para obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad.

Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

5.2. PRINCIPIOS DEL CAD-CAM-CAE.

La fabricación asistida por ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos tradicionales al controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos para controlar las tareas de fabricación.

El Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina y de la geometría de los componentes en términos de códigos especiales, creando archivos informáticos especializados que dirigen el movimiento de la herramienta para obtener la pieza deseada, esto se realiza hoy en día mediante programación con software informático de mecanizado que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones está en constante expansión. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo.

5.3. MODELACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE SOFTWARE.

La integración total entre el CAD y el CAM permite simplificar notablemente los procesos constructivos. Durante la preparación, SolidWorks-CAD permite la extensión de superficies, definición de puntos de taladro, tapado de agujeros, extracción de curvas y definición del contorno para la creación de la mancuerna.

Analiza ángulos de salida, radios, superficies planas, alturas y realización de secciones dinámicas para validar la factibilidad de la pieza.

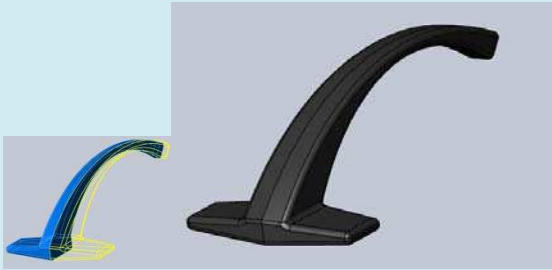
Para la separación de partes como Macho-Cavidad, el software los separa simplemente seleccionando las superficies o el sólido deseado, así se puede separar automáticamente el macho de la cavidad en todo tipo de piezas.

Para la elaboración del molde metálico de acero A36 para la producción de las mancuernas, se toma la geometría de la pieza definida en el apartado 3.6, el diseño final del sistema de alimentación y el espesor de las paredes definido en el capítulo 4. Con estas medidas finales del molde permanente se procede a utilizar las ayudas informáticas que ofrece el CAD, particularmente el software Solidworks.

En la siguiente tabla se describe el modelado de la mancuerna utilizando el software CAD.


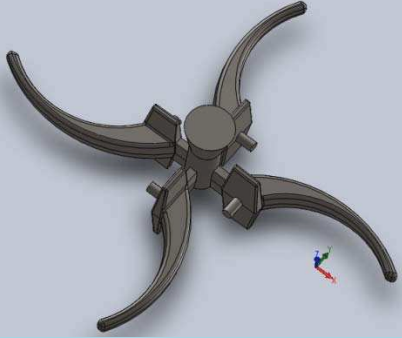
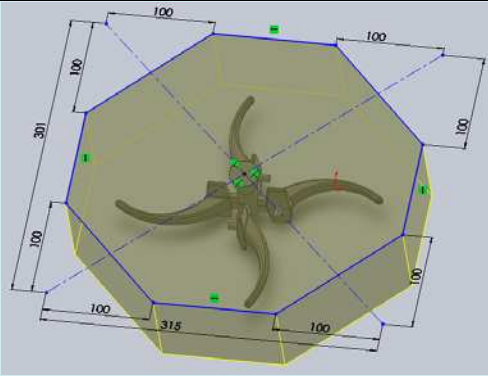
Tabla 5.1. Generación de la pieza a obtener.

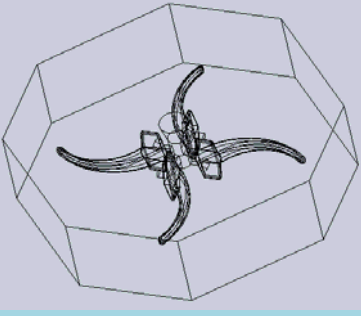
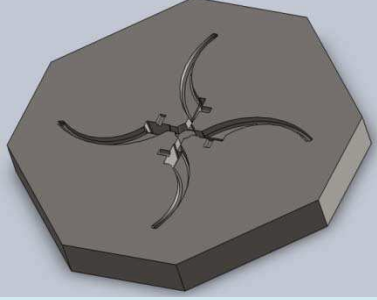
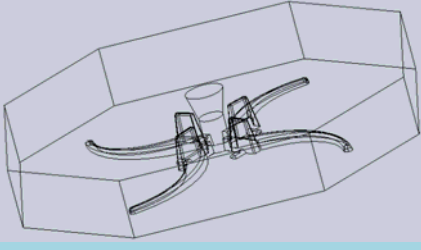
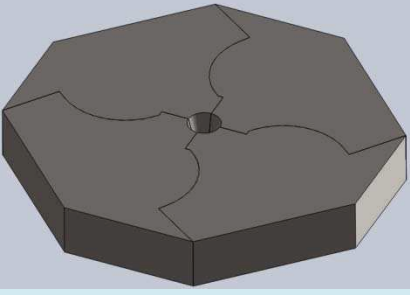
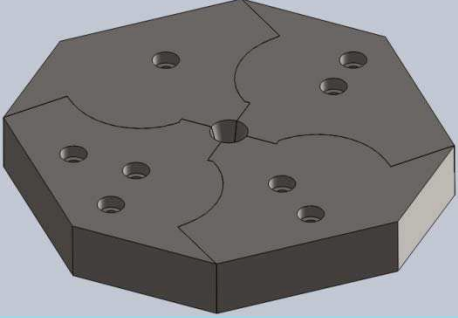
	<p>1.-Del croquis se realiza la Extrusión de la base de la pieza.</p>
	<p>2.- Se realiza Corte/Extruir.</p>
	<p>3.- Se construye un plano de trabajo.</p>
	<p>4.- Se realiza croquis en diferentes planos</p>
	<p>5.- Se realiza la operación de Recubrir con los croquis desarrollados anteriormente.</p>
	<p>6.- Se realiza redondeos o radios</p>

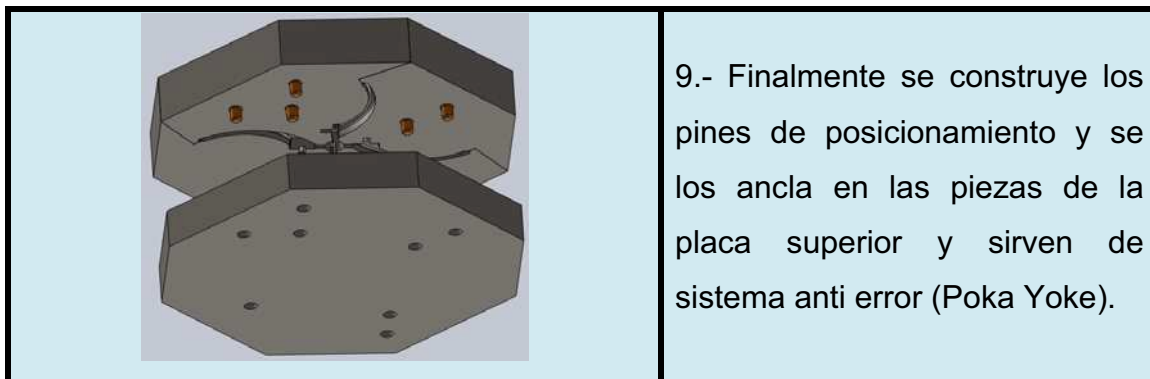
	<p>7.- Se realiza una simetría de cara y se escoge el sólido y así se tiene a la pieza final.</p> <p>8.- Geometría final de la mancuerna.</p>
---	---

Con la pieza desarrollada y las dimensiones definidas en el capítulo 4 se realiza la generación del molde, la secuencia de operaciones se muestra en la Tabla:

Tabla 5.2. Generación del Molde Base.

	<p>1.- Se desarrolla el montante, componente del sistema de alimentación que sirve para el ingreso del aluminio líquido.</p>
	<p>2.- Se coloca la pieza y su respectivo canal de alimentación y, se hace una matriz circular alrededor del montante.</p>
	<p>3.- Se construye la caja donde se van a alojar las piezas, el montante y los canales de alimentación.</p>

	<p>4.- Se realiza una resta de sólidos y se deja una caja hueca con la forma de las piezas y sistema de alimentación en el centro.</p>
	<p>5.- Se realiza un corte plano para definir la placa inferior y superior del molde. Aquí se ve la placa inferior</p>
	<p>6.- Con el resultado del corte se define la placa superior con la entrada para colar el material.</p>
	<p>7.- Se realiza el corte de la placa superior y se la divide en 4 piezas para un fácil montaje y desmontaje de las partes a obtener luego del proceso de fundición.</p>
	<p>8.- A continuación se efectúa unas perforaciones escariadas para colocación de pines de posicionamiento en cada una de las piezas cortadas de la placa superior.</p>



5.4. CAM Y DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA MAQUINADO.

Para el desarrollo del programa se consideran los siguientes criterios:

- a. Conocer los pasos para la secuencia de programación.
- b. Reconocer e identificar las diferentes herramientas de manufacturación.
- c. Entender el proceso de manufacturación.
- d. Seleccionar el CAM y crear los pasos de fabricación.
- e. Identificar las diferencias entre creación del programa, herramienta, geometría y el método.
- f. Reconocer e identificar el uso de las operaciones.

Los pasos secuenciales para la programación del molde en CAM son los siguientes:

Tabla 5.3. Secuencia de Programación. ³²



Verificado el programa se pasa a la fabricación, para ello se dispone de un centro de mecanizado VF3 marca HASS. Inicialmente se debe realizar los siguientes controles:

Programa de fabricación.- Se crea un ensamble de fabricación y se añade datos relacionados al tipo de pieza.

Establecer el Grupo de objetos Aparentados.- Minimiza la selección de objetos de uso repetido y establece el concepto de herencia, donde los parámetros se pueden transmitir a otros objetos.

Crear las Operaciones.- Permite asignar los parámetros y crea los métodos específicos que afectan la trayectoria o el camino de la herramienta.

Verificar la ruta creada de la herramienta.- Minimiza los errores mediante la visualización de la trayectoria de la herramienta.

³² SIEMENS PLM Software; NX Manufacturing Fundamentals

Post Proceso.- Es el recorrido de la herramienta, y de acuerdo al formato de datos y características de la máquina se desarrolla el lenguaje de la máquina CNC, con la combinación de su controlador personalizado.

La geometría que se obtiene del proceso de CAM es la mostrada en la Figura 5.1

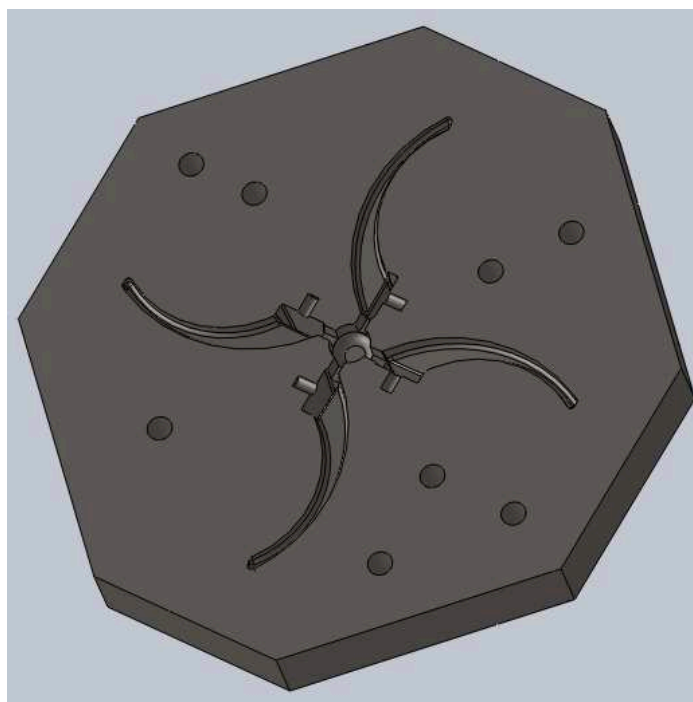


Fig.5. 1. Geometría definida para el CAM

5.5. MAQUINADO.

Se copia el lenguaje de máquina realizado en el software. Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes (x, y, z) para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes como el que se produce en este trabajo.

En el centro de mecanizado VF3 marca HASS una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos.

Las funciones preparatorias, también conocidas como G-Codes o Códigos G, son las más importantes en la programación CNC, ya que controlan el modo en que la máquina va a realizar un trazado, o el modo en que va a desplazarse sobre la superficie de la pieza que está trabajando.

Los posibles valores que acompañan a este comando, van de 00 a 99, y cada uno tiene una función determinada y se describen a los más importantes, o al menos aquellos que se consideran de vital importancia, en la Tabla 5.4

Tabla 5.4. Valores importantes del código G (Lenguaje de Máquina) ³³

G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
G90	Desplazamiento en Modo Absoluto.
G91	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

Por ejemplo, para que la máquina mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se dan los siguientes códigos:

```
G90 G71
G00 X0.0 Y0.0
G01 X10.0
G01 Y10.0
```

³³ RICARDO JIMÉNEZ; Ingeniería De Manufactura, Control Numérico por Computadora (CNC)

G01 X0.0

G01 Y0.0

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dando órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en alto o bajo relieve, un grabado artístico un molde de inyección de una cuchara o una botella.

En la Figura 5.2 se muestra la trayectoria de la herramienta en la simulación del molde permanente.

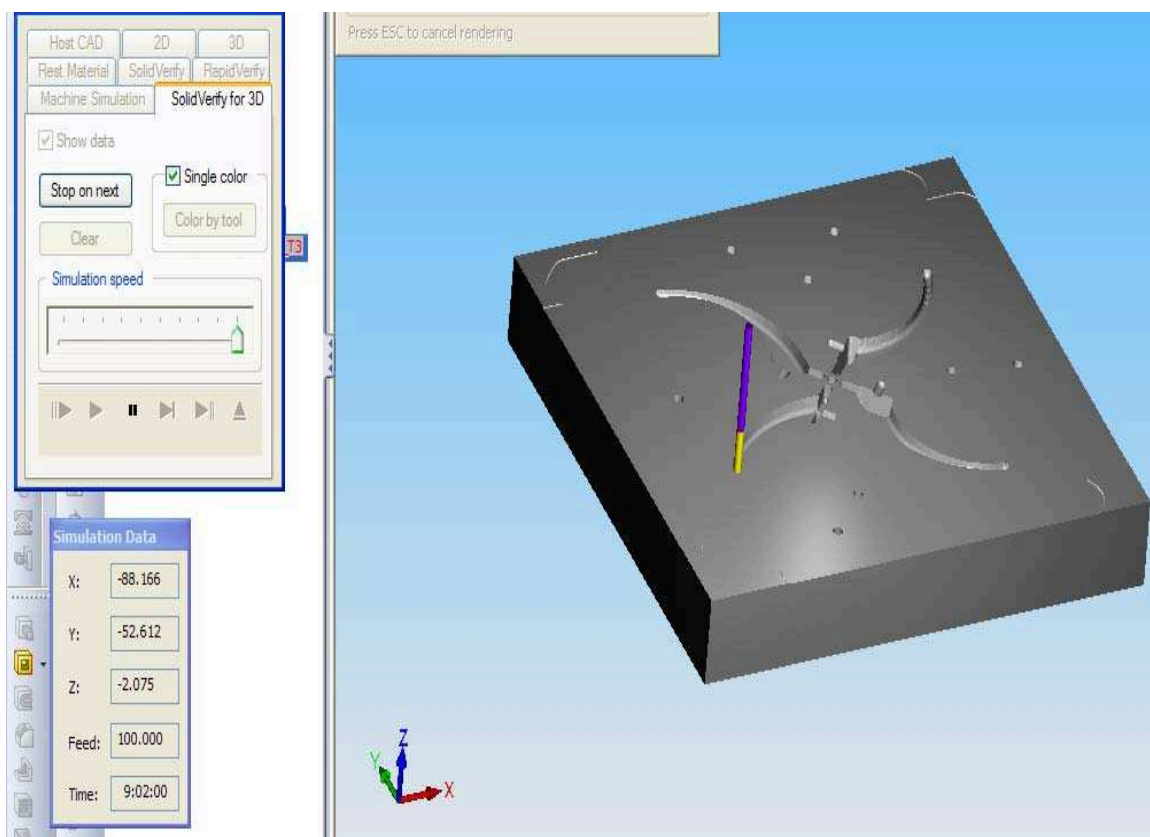


Fig.5. 2. Trayectoria de la herramienta en la simulación del software

El lenguaje de máquina y secuencia de órdenes para el desarrollo de las partes constitutivas en el mecanizado del molde permanente completo se describe en el ANEXO IV.




5.6. CONSTRUCCIÓN.

La metodología de fabricación de este tipo de moldes es aplicable en máquinas CNC, por lo que se modifican las operaciones para que sean realizadas por dichas máquinas. El proceso de fabricación es el siguiente:

- Encuadrado en la fresadora convencional,
- Ajuste en el banco de trabajo para eliminar filos cortantes
- Rectificado de las caras a conjugarse para el proceso de unión de las placas superior e inferior del molde.
- Mecanizar los agujeros en las placas para asegurar su posicionamiento en el plato de la CNC.

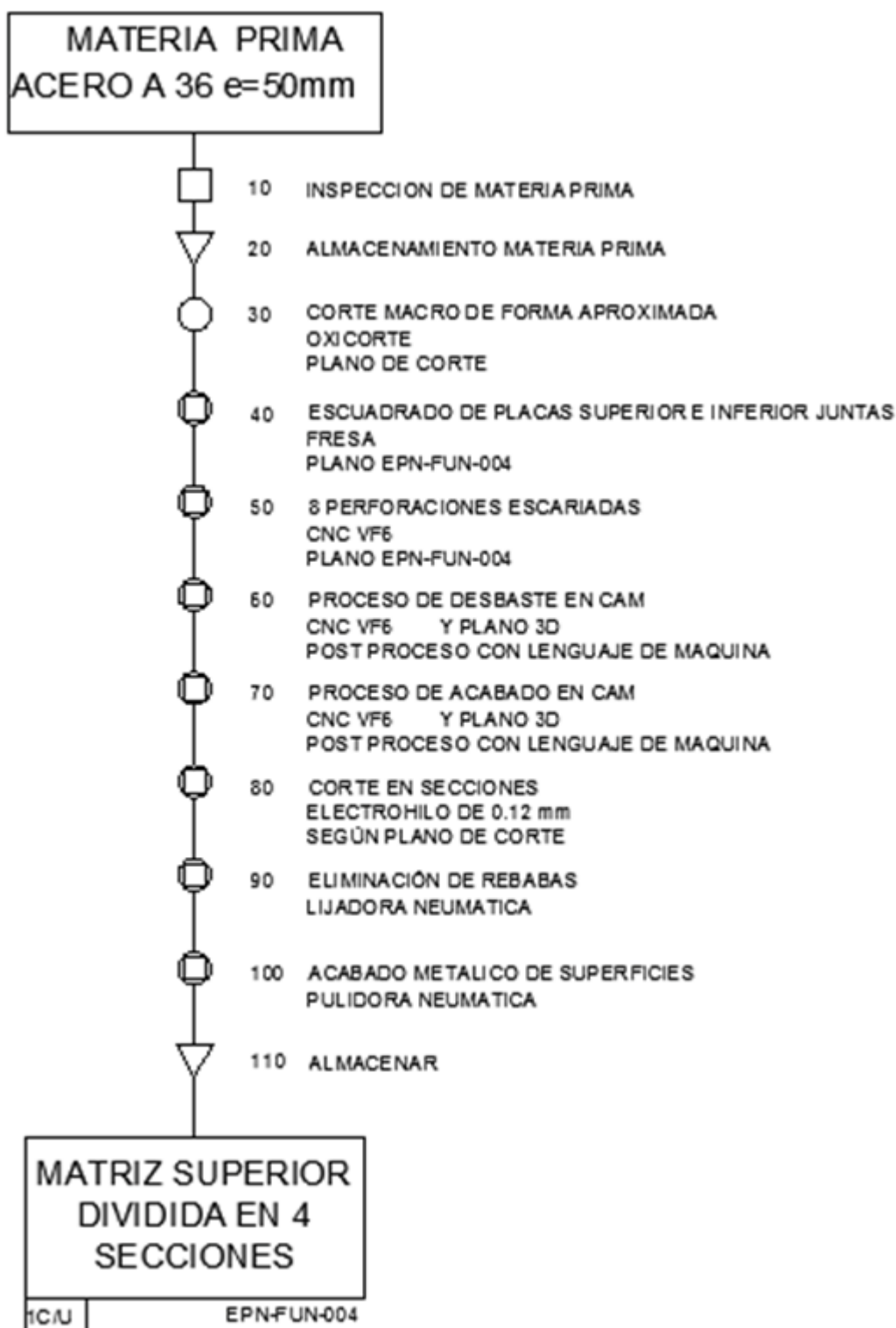
Para el proceso de construcción se toma en cuenta la siguiente simbología del proceso y que se detalla en la Tabla 5.5

Tabla 5. 5 Simbología del proceso de construcción

DESCRIPCION	SIMBOLO
ALMACENAMIENTO	
OPERACION	
TRANSPORTE	
OPERACION E INSPECCION	
INSPECCION	

Los pasos a seguir en la construcción de la parte superior del molde metálico se detalla en la Tabla 5.6:

Tabla 5. 6 Detalle de operaciones para la matriz superior



Se coloca la placa para la construcción del molde en la mesa del centro de mecanizado como se detalla en la Figura 5.3

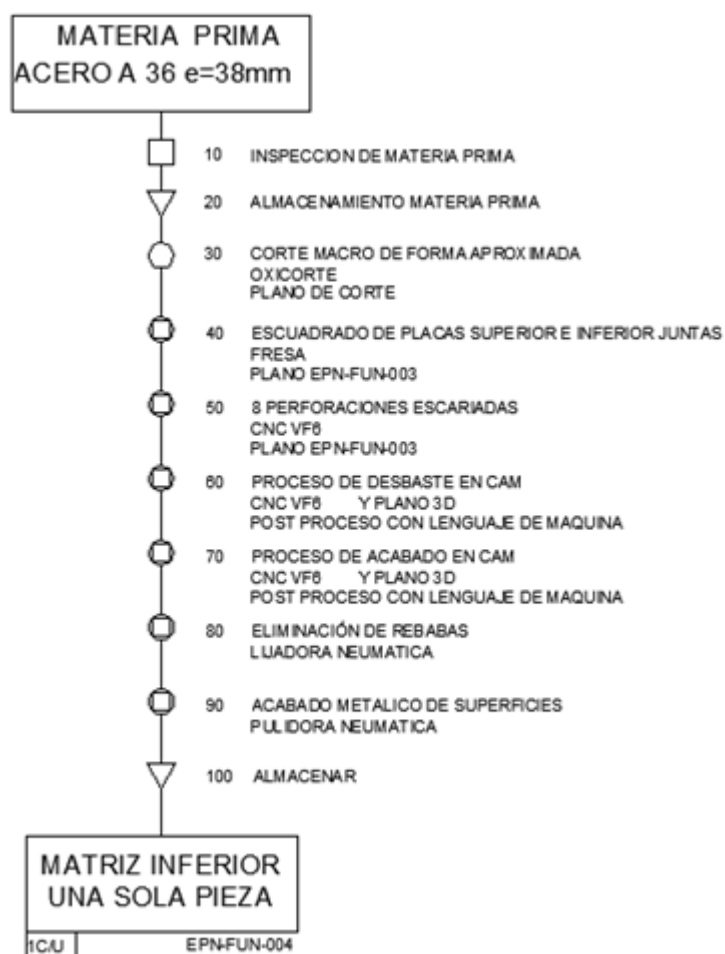


Fig.5. 3. Esquema de montaje de la placa en la mesa de la CNC

El corte del molde se realizó con electrohilo en la empresa INPROMAT, el maquinado CNC en la Empresa TECNIMACEC, el costo de fabricación fue de 1000 dólares americanos.

Los pasos que se sigue para la construcción del molde inferior se describe en la Tabla 5.7:

Tabla 5. 7 Detalle de operaciones para la matriz inferior



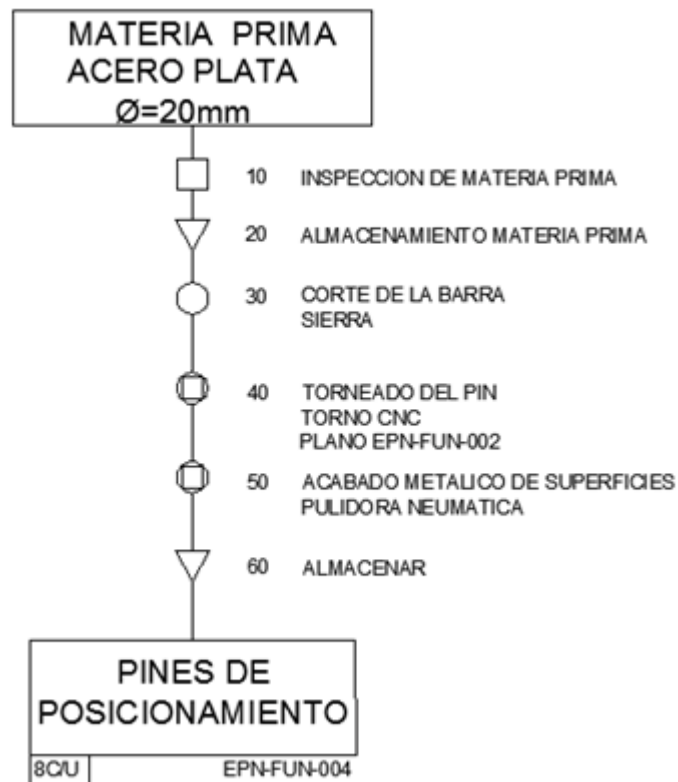
Se realiza el montaje de la placa para la construcción de la parte inferior del molde en la mesa del Centro de Mecanizado.



Fig.5. 4. Esquema de montaje de la placa en la mesa de la CNC

A continuación en la Tabla 5.8 se describe el proceso para obtener el pin de posicionamiento.

Tabla 5. 8 Detalle de operaciones para los pines de posicionamiento.



5.7.ENSAMBLAJE DEL MOLDE PARA COLAR EL MATERIAL FUNDIDO.

El diseño del molde contempla que la producción de piezas es con la participación de un solo operario, es por esto que las cuatro partes superiores del mismo tienen superficies diferenciadas que sostienen a los ejes de acoplamiento y coinciden física y visualmente con la correspondiente ubicación en la parte inferior-fija del molde. Se ha colocado agarraderas en cada una de las piezas superiores para colocarlas con celeridad y comodidad. Se ha determinado un procedimiento directo para la colocación de los pasadores que cada una de las piezas las contiene. Luego de colado el metal, el retiro de las cuatro partes superiores y de la pieza es también realizada por el mismo operario. El tiempo estimado en armar o en desarmar es de 40s.

Las herramientas que se requieren para esta operación son: guantes de cuero, pinza y martillo. En la Figura 5.5 se detalla el ensamble del molde



Fig. 5. 5. Detalle de Ensamblaje

CAPÍTULO 6.

PRUEBAS Y CONCLUSIONES

6.1.PRUEBAS

Se selecciona la aleación de aluminio AA 333.0 con 10% de silicio y 3% de cobre elegida en el diseño, se eleva a la temperatura en un horno a gas GLP en crisol de hierro fundido revestido, se llega a la temperatura de fusión en 1 hora, seguidamente se recalienta el material hasta 740⁰C, se desgasifica y, se procede a colar a una temperatura de 720⁰C.

6.1.1 PRIMERA PRUEBA.

En base a las condiciones antes indicadas se procede a colar utilizando para el molde pintura refractaria con un contenido de yeso 60%, grafito 30% y 10% de carbón, para facilitar la separación de las piezas del molde, lográndose los resultados siguientes:

Tabla 6. 1 Primeros Resultados

Colada	RECHUPE	ACABADOS.	Temp. Colada	Temp. Superficial	Temp. Media	Temp. Junto a Montante	tiempo de Desmoldeo
			⁰ C	⁰ C	⁰ C	⁰ C	s
1	Pequeño	Medio	720	41	71	56	90
2	Pequeño	Medio	725	52	71	61	95
3	Ninguno	Medio	730	54	75	95	90
4	Ninguno	Medio	722	56	76	110	92
5	Pequeño	Medio	720	58	78	114	92

Analizando los resultados obtenidos se determina sus causas:

- Llenado incompleto de las mancuernas, debido a ausencia de venteos.
- Pequeños rechupes, dado que no se ha realizado el cono de ingreso en la base del montante lo que ocasionaba mayores turbulencias.

- Defecto de forma en una de las mancuernas, debido a que el maquinado no se lo ha completado.

Estos defectos se observan en la figura 6.1. Se debe destacar que los errores encontrados son debido a imprecisiones en la construcción del molde y no del diseño del sistema de alimentación.



Fig.6. 1. Defectos de la primera prueba

6.1.2 SEGUNDA PRUEBA

Con la orientación obtenida en la simulación en VULCAN y analizando la forma de construcción de la coquilla se concluye que los gases no tienen el suficiente facilidad para su salida por los que se procede a construir pequeños canales en las zonas donde la simulación indica la presencia de los últimos gases:

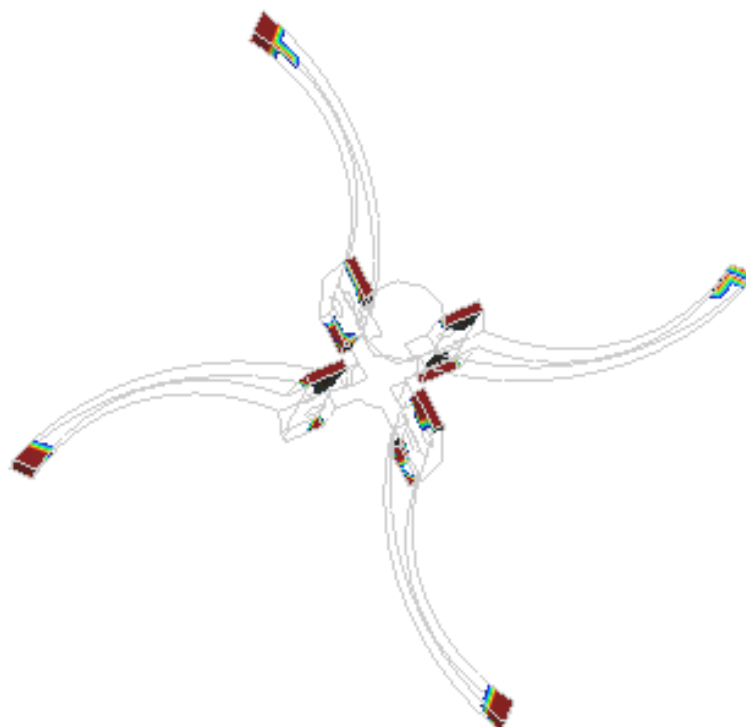


Fig.6. 2. Últimos gases

Adicionalmente se construye el sifón inferior en el montante y se corrige las partes mal terminadas. Realizadas estas correcciones se procede a preparar la colada de la aleación de aluminio seleccionada y se obtiene los resultados mostrados en la Tabla:

Tabla 6. 2 Resultados Finales

Colada	RECHUPE	ACABADO	Temp. Colada	Temp. Superficial	Temp. Media	Temp. Junto a Montante	t. Desmoldeo
			⁰ C	⁰ C	⁰ C	⁰ C	s
1	Pequeño	Bueno	723	41	76	50	90
2	Ninguno	Medio	724	52	72	60	90
3	Ninguno	Bueno	730	54	74	97	94
4	Ninguno	Bueno	725	56	77	111	90
5	Ninguno	Bueno	722	58	75	112	90

Resultados muy satisfactorios que se pueden apreciar en la Figura 6.3 de la moldura obtenida.



Fig.6. 3. Moldura obtenida

6.2. ANÁLISIS DEL PROCESO UTILIZADO Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

- El software VULCAN es una gran ayuda para el diseño de moldes permanentes. Los resultados que se obtienen reducen el tiempo de diseño y permite eliminar errores en el sistema de alimentación.
- Con el uso del Software se evita perdidas de material y de trabajo, permite directamente construir un molde útil una vez simulado.
- Con la simulación en el software se tiene una clara orientación para los errores que se presentan en el período de pruebas luego de construida la coquilla, así una vez que se presentaron las imperfecciones por falta de llenado, rápidamente se pudo concluir que era porque los gases no tenían fácil salida y eran retenidos en las zonas que indicaba la simulación, que coincidía con la falta de llenado.

- En el mallado se tiene que tener especial cuidado en la moldura más que en el molde, esto ayuda a afinar la solución y hacerla más confiable, en este caso se trabajó con una malla más fina en la moldura.
- Para la simulación en el VULCAN los dibujos deben ser realizados por facilidad en otro software, en este paso se tuvo mucho cuidado en los detalles de construcción del gráfico y se simplificó para facilitar su simulación, se optó por esta alternativa debido a que el módulo para construcción de gráficos en el VULCAN es mucho más largo y tedioso.
- El software que se utilizó para los dibujos fue el Solid Word, lo cual simplifica todo el proceso, porque estos mismos gráficos sirven de planos para la elaboración de los códigos G para su posterior construcción en el Centro de Maquinado
- El momento de las pruebas, se tomó muy en cuenta que los valores de: temperatura de colado, altura de vertido y temperatura a la que llega la coquilla, sean similares a los considerados en la simulación y en el cálculo analítico.
- La simulación en su etapa de enfriamiento permite determinar las tensiones residuales existentes, lo cual es muy útil para determinar la necesidad o no de tratamientos térmicos posteriores
- Para garantizar el uso de este software y otros es indispensable validarlos con cálculos analíticos, caso contrario se corre el riesgo de no tener un referente claro antes de proceder a su construcción
- Cuando primero se ha simulado se tiene mayor claridad del comportamiento del metal líquido en el molde y de su solidificación, aspecto muy importante tanto en el proceso de construcción como en el momento de las pruebas.

6.3. CONCLUSIONES

- ❖ Este trabajo es pionero en el uso de software de simulación para la producción de moldes permanentes en el país, dando así un aporte importante a la tecnificación de la producción de piezas fundidas.
- ❖ El uso de este método en la industria fundidora nacional llevará a mejorar el nivel tecnológico en el diseño de moldes permanentes y perdidos con un significativo ahorro de tiempo, dinero y trabajo.
- ❖ El presente trabajo abre un amplio camino en el uso de recursos computacionales en el diseño y producción de piezas fundidas.
- ❖ Con la experiencia en el uso de este software se concluye que un factor de seguridad recomendable una vez simulado en software VULCAN es de 15% en las dimensiones del sistema de alimentación
- ❖ La simulación es una herramienta muy útil pero no reemplaza al cálculo analítico ni a las consideraciones técnicas que el diseñador debe tomarlas.

6.4. RECOMENDACIONES.

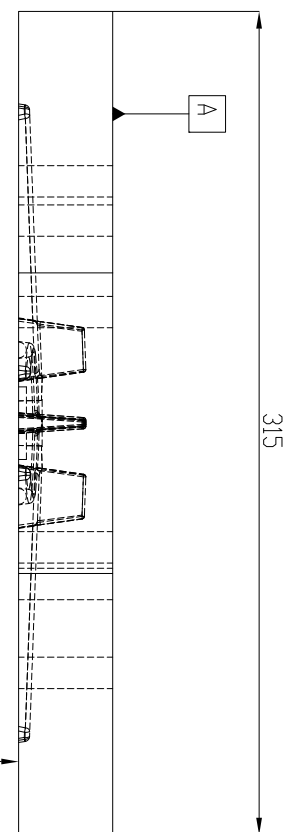
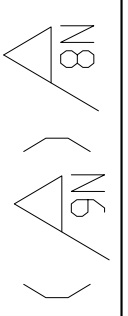
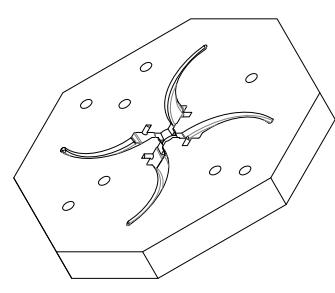
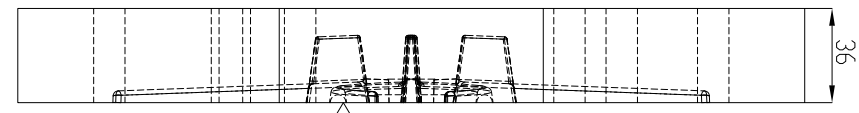
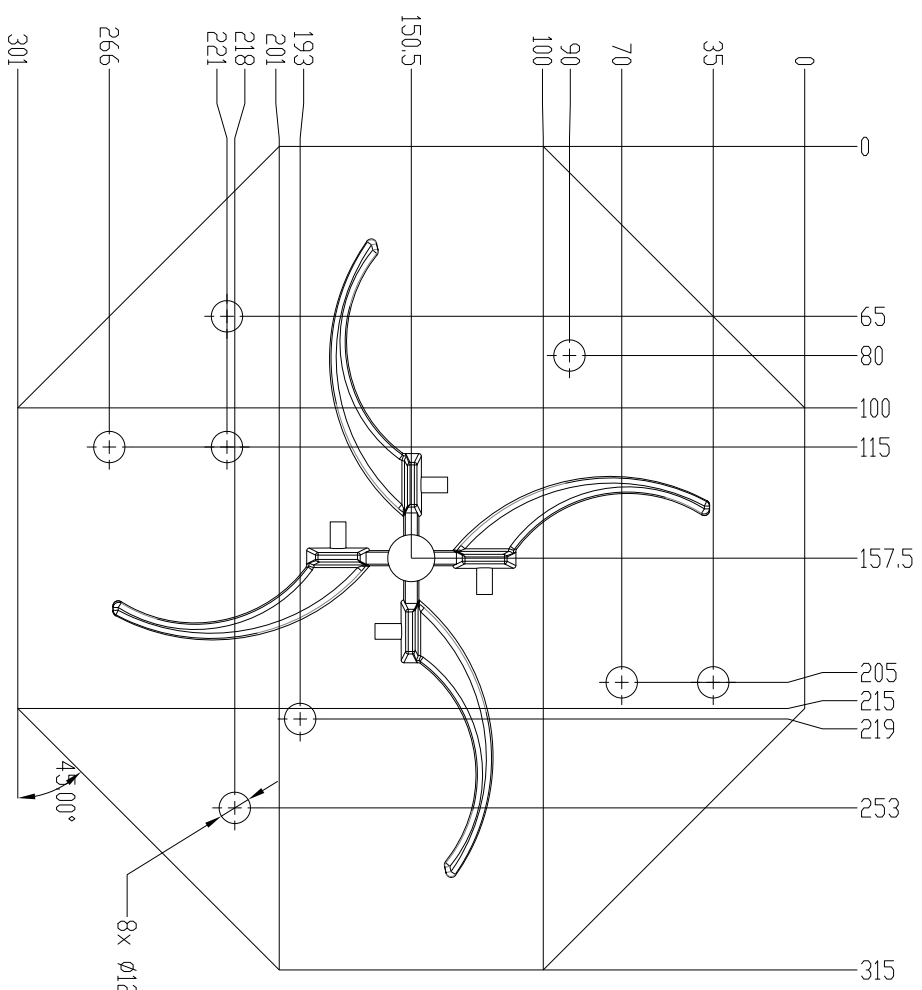
- Dada la precisión de las herramientas actuales (En este caso el hilo por corte de electroerosión) es importante revisar si los planos de unión dan la suficiente salida de aire.
- Se debe continuar profundizando en el uso del Software VULCAN y realizar capacitación del uso de otros Software para la simulación en fundición de igual o mayor capacidad de resolución.
- Es necesario profundizar en el estudio y comprensión del fenómeno físico, especialmente la dinámica del metal líquido y la transferencia de calor, tanto en estado estable como inestable.
- Se debe desarrollar investigación y cálculos en software matemáticos que permitan la solución de los modelos que representan el fenómeno.

BIBLIOGRAFÍA

1. HUTTON D.; Fundamental of finite element analysis; USA; Mac. Graw Hill; 2004; 486p.
2. OÑATE y ZÁRATE; Introducción al método de los elementos finitos; España; 2001; 240p.
3. CAPELLO E., Tecnología de Fundición, Roma, AFI, 1971, 475p
4. GOYOS L. y MARTINEZ H., Tecnología de Fundición II, Habana, 1994, 242p.
5. ASM, Metal Hand book, Vol 15, USA, ASM, 1988
6. TITOV N. y STEPANOV Y, Tecnología del proceso de fundición, Moscú, Mir, 1981,460p.
7. ASHBY M.; Materials Selection in Mechanical Design;USA;EH;2004;302p.
8. HUFNAGEL W. , Manual del aluminio,1995,456p.
9. DACHILE, IX F, KAUFFMAN A. (2001) A novel haptics-based interface and sculpting system for physics-based geometric design. Computer Aided Design.
- 10.FLEMINGS; Solidification Processing; USA; McGraw-Hill, 1974, 355p.
- 11.BEELEY P., Foundry Technology, Oxford, B.H., 2001,731p.
- 12.Control Numérico. Autor: José Ramón Alique López. Editorial: Boixareu. Año: 1981
- 13.TAYLOR H., Foundry Engineering, USA, 1959, 407p.
- 14.NAVAS y Otros; Métodos de Cálculo en Fundición; CUBA; ISTH; 1990; 184P.
- 15.INSTITUTE OF PHISICS, Solidification and casting, Bristol, IoP, 2003, 420p.
- 16.SHIGLEY MITCHELL., Diseño de Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw-Hill; Cuarta edición 1983, 914p
- 17.CAMARERO J. y MARTINEZ A., Matrices Moldes y Utilajes, España, CIE, 2003,478p.
- 18.SIEMENS PLM SOFTWARE., NX Manufacturing Fundamentals, Student Guide MT11041 NX5, Brasil, Abril 2007
- 19.ARIAS ESPIN WILLIAN DANILO; Diseño y construcción de un equipo para colado en molde permanente; QUITO; EPN; 2007.
- 20.RODRIGUEZ y BOADA; Diseño y Construcción de un equipo de laboratorio para colado centrífugo vertical; QUITO; EPN; 2009

ANEXOS

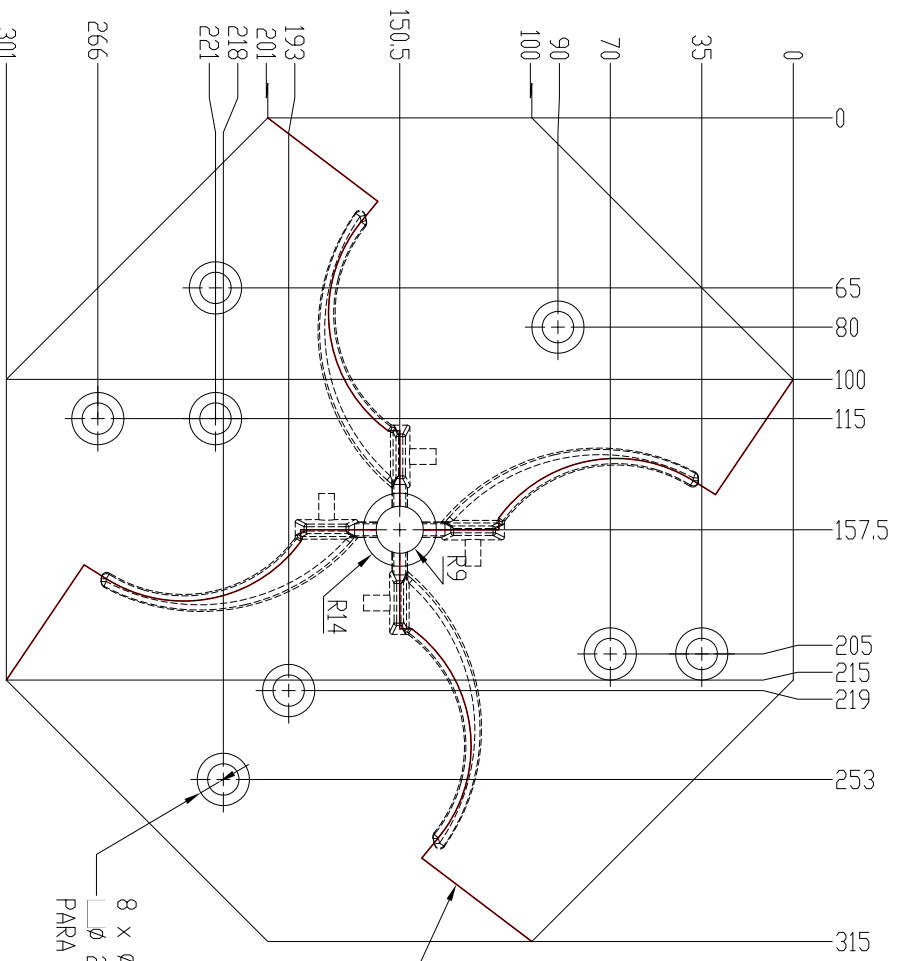
ANEXOS I PLANOS



NOTAS:
- Se define la cota por coordenadas para el proceso de fabricacion en el centro de mecanizado.

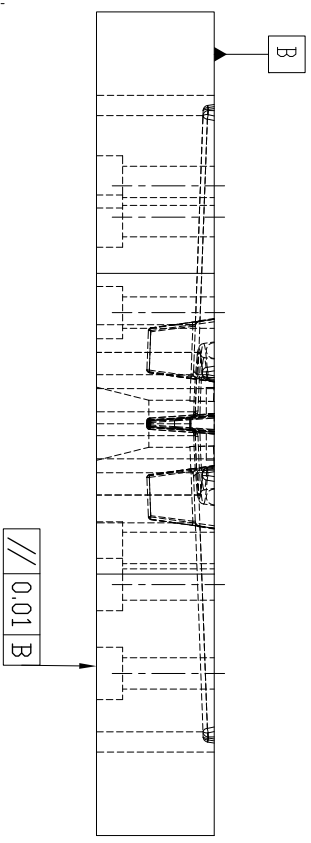
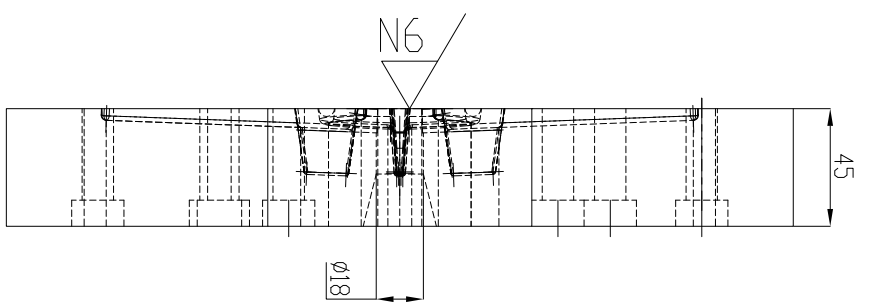
0.01	A
------	---

SI NO SE INDICAN CONTRAINDICACIONES ACABADO SUPERFICIAL EN MM LINEAL ± 0.05 ANGULAR $\pm 1^\circ$		ACABADO REPEROS Y HUECOS EN VIVAS		NI CAMBIAR LA ESCALA EPN FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA MATRIZ-PLACA INFERIOR		REVISION 03	
DIBUJ.	AVINUEZA	FIRMA	FECHA	06/06/2011	TITULO	EPN	
VERIF.	FONDEO/AVINUEZA			06/06/2011	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
PROB.	IZABARRAN			22/07/2011	MATRIZ-PLACA INFERIOR		
FABR.	AVINUEZA			19/07/2011	MATERIAL		
CAJADI.					A36		
					Nº DE DIBUJO		EPN-FUN-003
					ESCALA		1:1
					HOLA 1 DE 1		A3



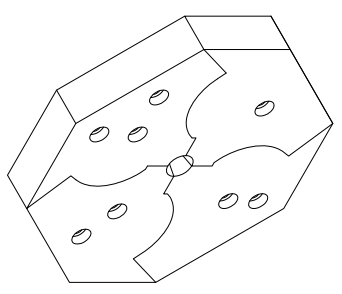
Camino del corte
PROCESO: ELECTRO HILLO
Diámetro Hilo: 0.12 MM

8 x Ø 12 POR TODO
PARA PINES



NOTAS:
-Se define la cota por coordenadas para el proceso de fabricacion en el centro de mecanizado.
-Luego del mecanizado se define la particion por el proceso de electo hilo, y se divide en 4 piezas.

SI NO SE INDICAN CONTRAINDICACIONES ACABADO SUPERFICIAL EN MM TOLERANCIAS ± 0.05 ANGULOS -15°		ACABADO		REPAROS Y REVISIONES Y NOTAS		NO CAMBIAR LA ESCALA		REVISION		03	
DIBUJ. AVINUEZA		FECHA		MATERIAL		TITULO		EPN		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
VERIF. FAYEDOR/AVINUEZA		22/07/2011		A 36		MATRIZ- PLACA SUPERIOR		EPN		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
DISEÑ. AVINUEZA		19/07/2011				Nº DE DIBUJO		EPN-FUN-004		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
CORR. AVINUEZA						ESCALA		1:1		HOJA 1 DE 1	
CALCUL. AVINUEZA						Nº DE DIBUJO		EPN-FUN-004		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
						ESCALA		1:1		HOJA 1 DE 1	
						Nº DE DIBUJO		EPN-FUN-004		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
						ESCALA		1:1		HOJA 1 DE 1	
						Nº DE DIBUJO		EPN-FUN-004		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
						ESCALA		1:1		HOJA 1 DE 1	

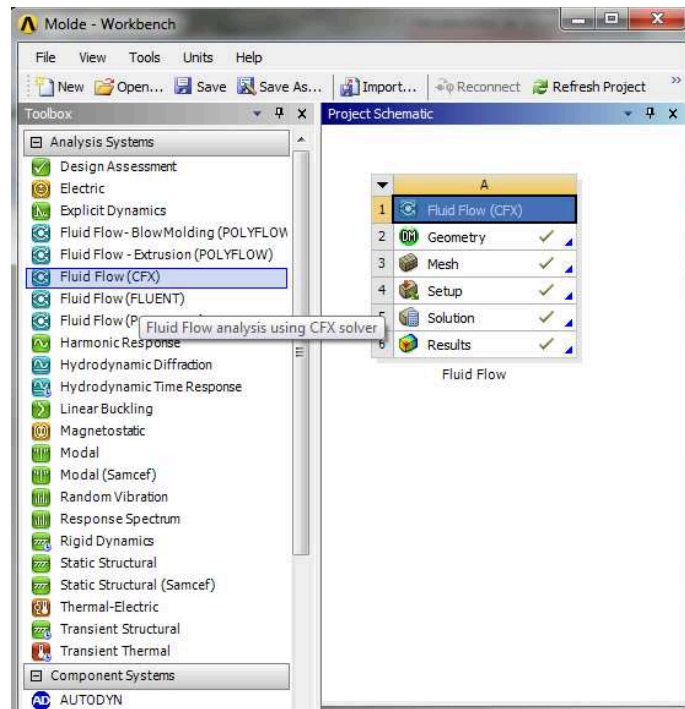


ANEXO II ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN ANSYS.

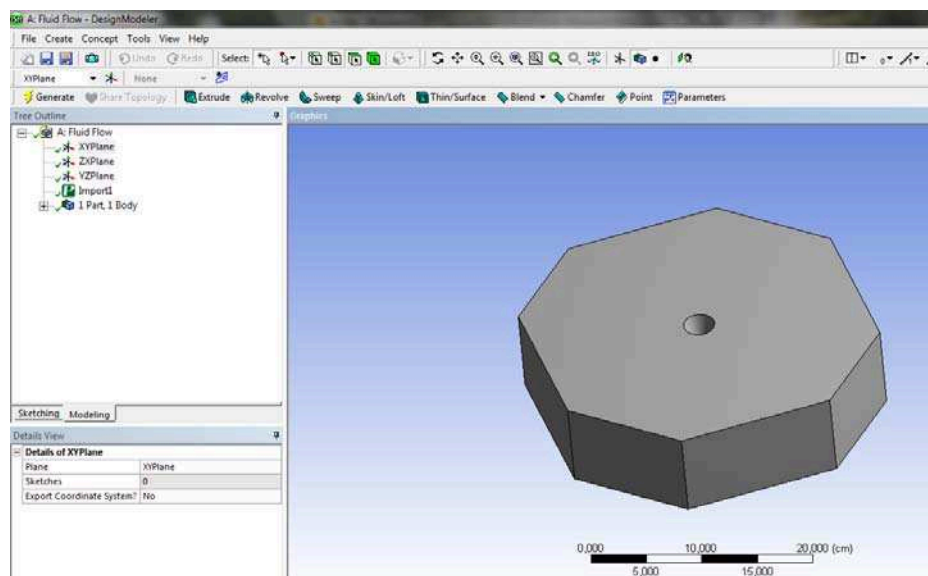
Se realizara en el programa de discretización por elementos finitos que son el ANSYS y la secuencia del análisis es:¹

Tomando en cuenta que el las partes a ser analizadas se diseñan en un programa de CAD.

- 1) Se escoge el sistema del análisis. FLUID FLOW (CFX)

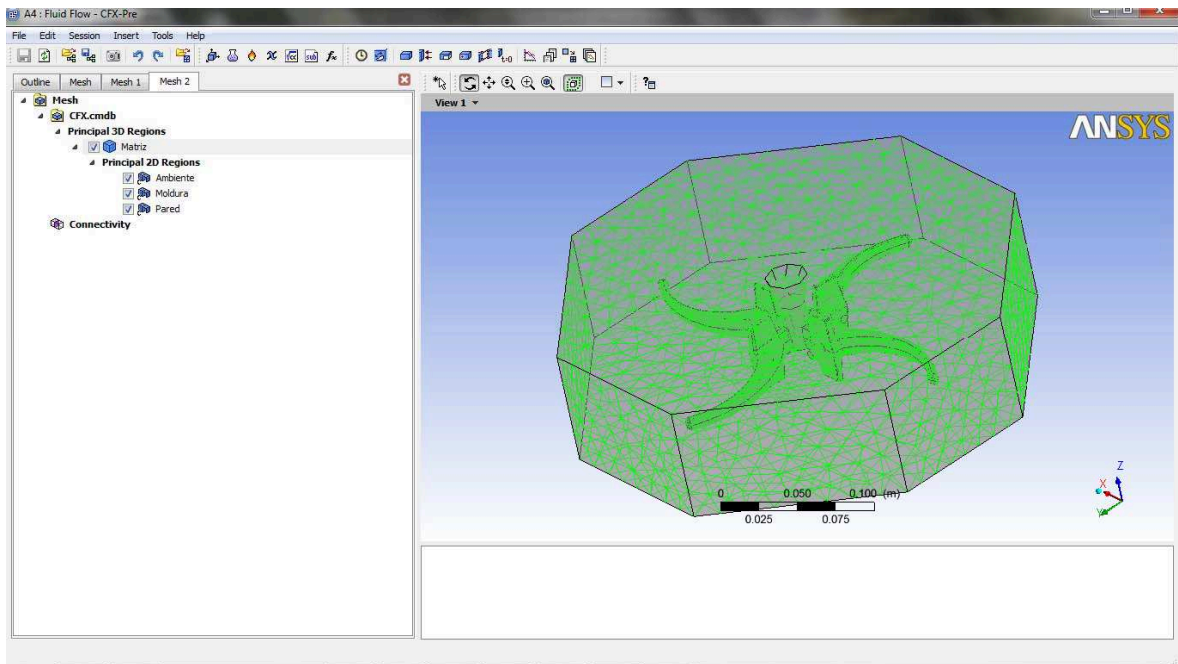


- 2) Se importa la geometría en escala 1-1

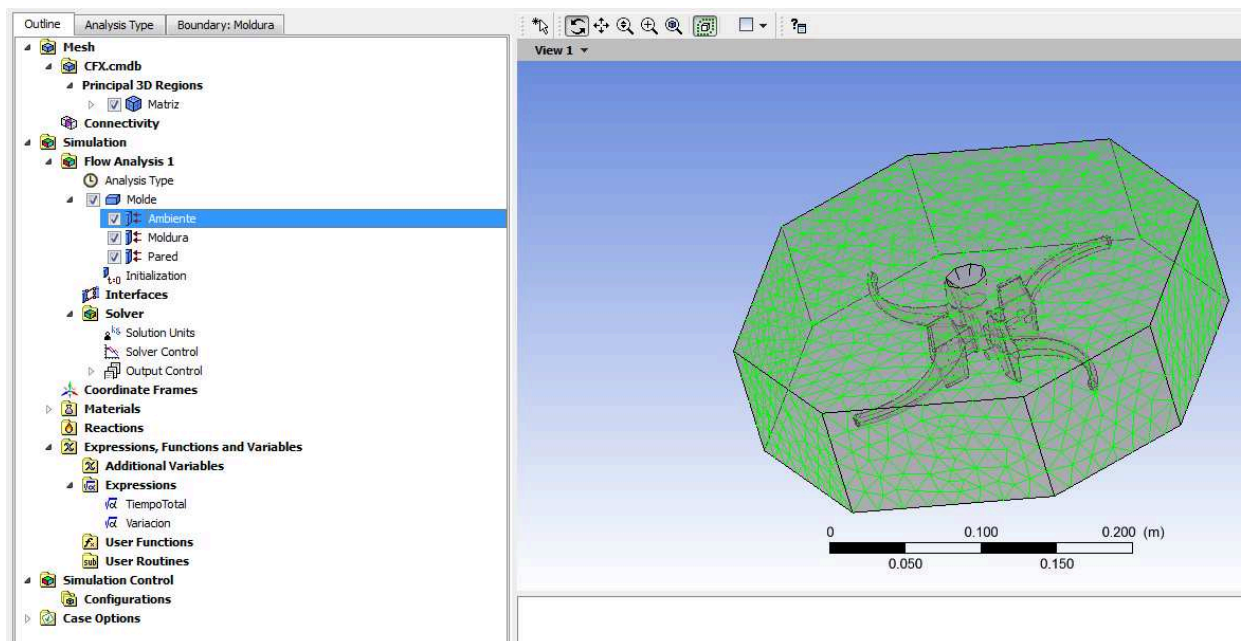


¹ Detalle de análisis por elementos finitos del ANSYS

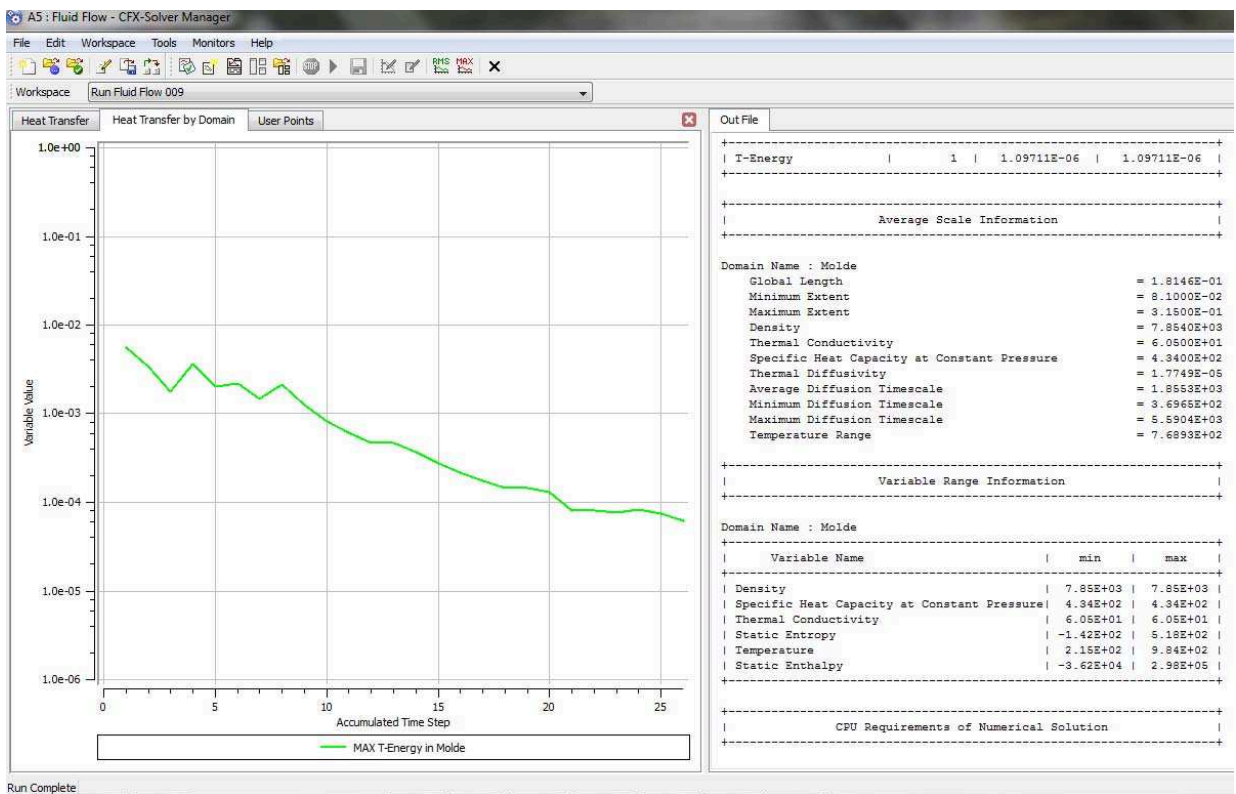
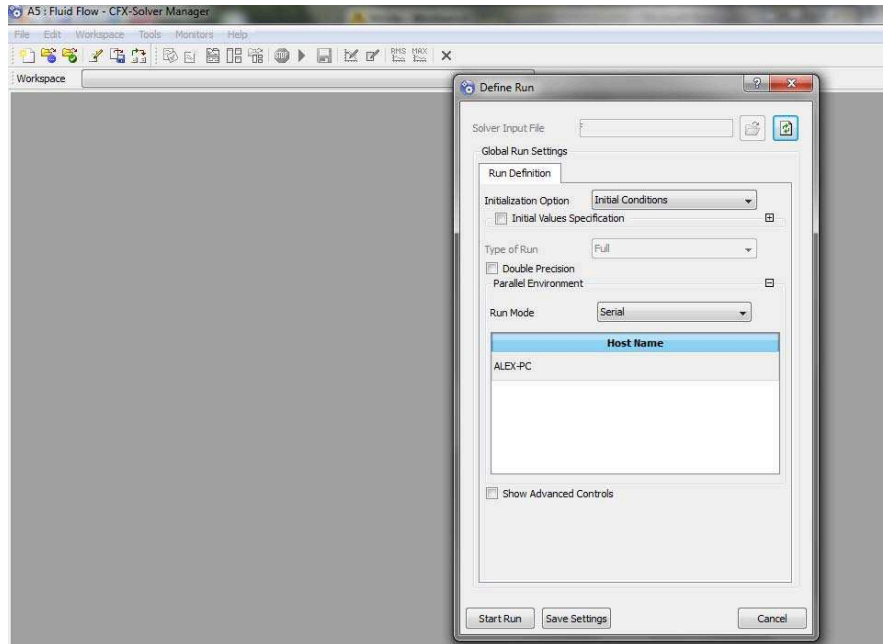
- 3) Se desarrolla el mallado y la designación de las regiones para el análisis. (moldura, pared y el ambiente)



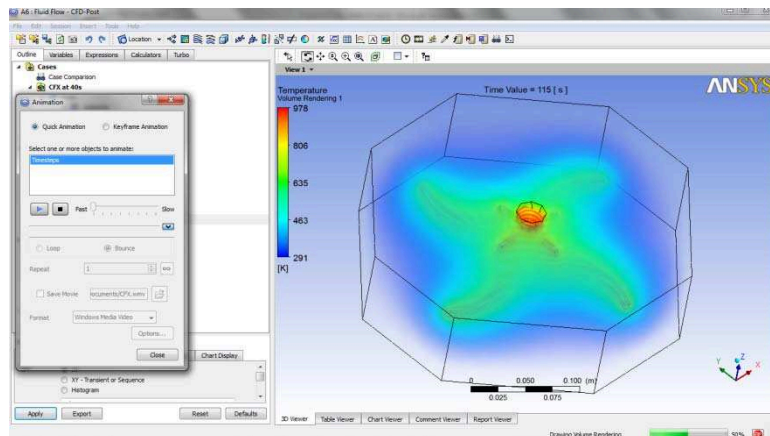
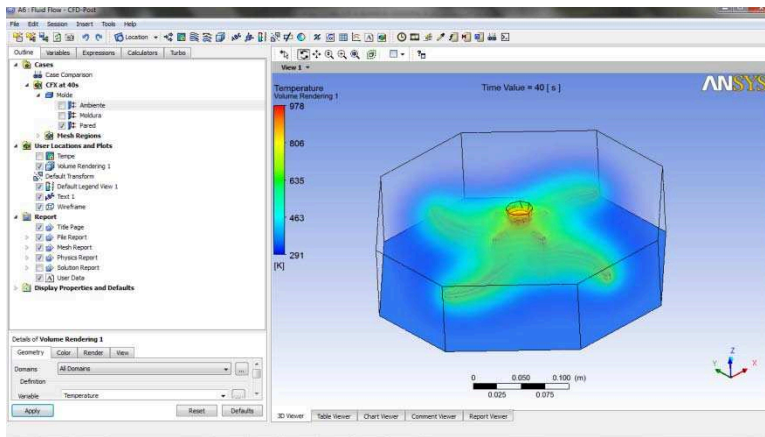
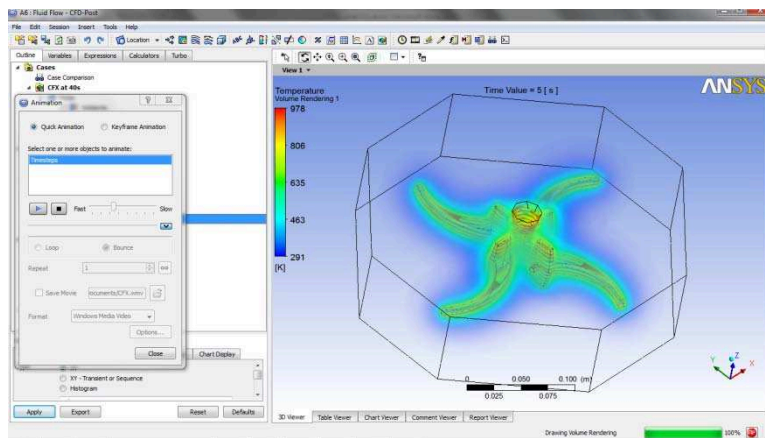
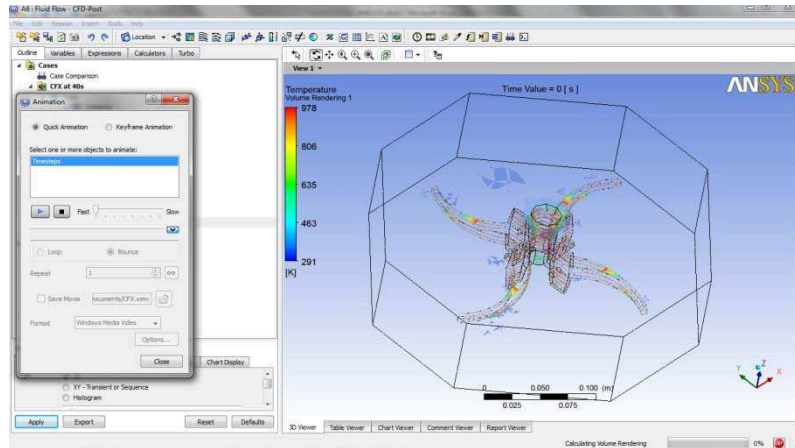
- 4) Se desarrolla el modelo del análisis. Es colocar las restricciones y las cargas que van actuar sobre cada región como son su temperatura de trabajo, tipo de material, datos de inicio que son los de borde, outline, tipo de análisis, etc. [PRE-PROCESO]



5) Se procede a realizar la solución del proceso. [PROCESO]



6) Se determina los resultados obtenidos. [POST-PROCESO]



ANEXO III LENGUAJE DE MÁQUINA PARA CNC EN CÓDIGO G.
 LENGUAJE DE MAQUINA PARA UN CENTRO DE MECANIZADO CNC.

DESBASTE:

%

O5000 (PLANEADO.TAP)
 (MCV-OP) (14-JUL-2011)
 (SUBROUTINES: O2 .. O0)

G90 G17

G80 G49 G40

G54

G90 G00 G40 G54

G43 H1 D31 G0 X-84.422 Y140.828 Z50. S2500 M3

M8

X-84.422 Y140.828 Z10.

Z2.

G1 Z-0.5 F600

X84.422

X100.99

G2 X101.941 Y140.773 R8.284

G1 X109.22 Y133.495

G2 X100.99 Y124.26 R8.284

G1 X-100.99

X-117.558

G3 X-118.509 Y124.205 R8.284

G1 X-125.788 Y116.927

G3 X-117.558 Y107.692 R8.284

G1 X117.558

X134.126

G2 X135.077 Y107.637 R8.284

G1 X142.356 Y100.359

G2 X134.126 Y91.124 R8.284

G1 X-134.126

X-150.694

G3 X-151.645 Y91.069 R8.284

G1 X-158.924 Y83.791

G3 X-150.694 Y74.556 R8.284

G1 X150.694

X162.078

G2 X162.078 Y57.988 R-8.284

G1 X-162.078

G3 X-162.078 Y41.42 R-8.284

G1 X162.078

G2 X162.078 Y24.852 R-8.284

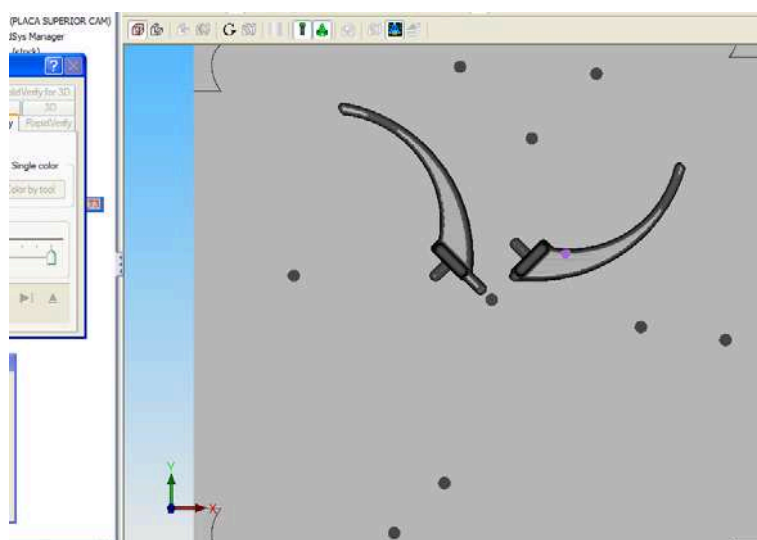
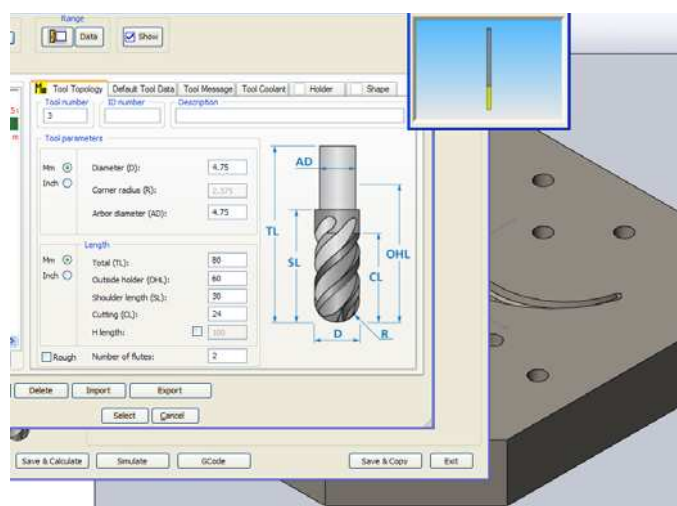
G1 X-162.078

G3 X-162.078 Y8.284 R-8.284

G1 X162.078

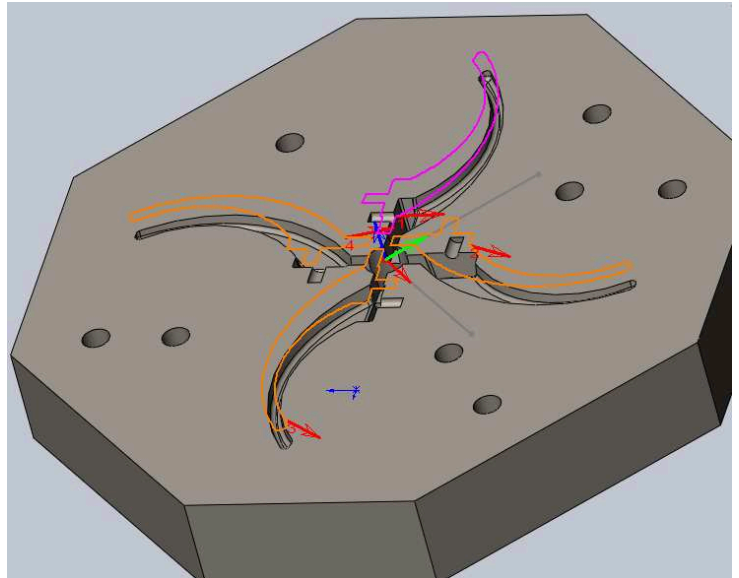
G2 X162.078 Y-8.284 R-8.284

G1 X-162.078



G3 X-162.078 Y-24.852 R-8.284
 G1 X162.078
 G2 X162.078 Y-41.42 R-8.284
 G1 X-162.078
 G3 X-162.078 Y-57.988 R-8.284
 G1 X162.078
 G2 X162.078 Y-74.556 R-8.284
 G1 X150.694
 X-150.694
 G3 X-158.924 Y-83.791 R8.284
 G1 X-151.645 Y-91.069
 G3 X-150.694 Y-91.124 R8.284
 G1 X-134.126
 X134.126
 G2 X142.356 Y-100.359 R8.284
 G1 X135.077 Y-107.637
 G2 X134.126 Y-107.692 R8.284
 G1 X117.558
 X-117.558
 G3 X-125.788 Y-116.927 R8.284
 G1 X-118.509 Y-124.205
 G3 X-117.558 Y-124.26 R8.284
 G1 X-100.99
 X100.99
 G2 X109.22 Y-133.495 R8.284
 G1 X101.941 Y-140.773
 G2 X100.99 Y-140.828 R8.284
 G1 X84.422
 X-84.422
 G0 Z200.
 M30
 %
 ACABADO:
 %
 O5000 (ACAINF.TAP)
 (MCV-OP) (17-JUL-2011)
 (SUBROUTINES: O2 .. O0)
 G90 G17
 G80 G49 G40
 G54
 G90 G00 G40 G54
 G43 H1 D31 G0 X-142.659 Y-102. Z50. S2500 M3
 M8
 X-142.659 Y-102. Z10.
 Z2.
 G1 Z0. F600
 X-135.588 Y-94.929 Z-0.047
 X-74.6 Y-155.917 Z-0.448
 G3 X-65.761 Y-159.578 Z-0.494 R12.5
 G1 X65.761 Z-1.105

G3 X74.6 Y-155.917 Z-1.151 R12.5
 G1 X155.917 Y-74.6 Z-1.686
 G3 X159.578 Y-65.761 Z-1.732 R12.5
 G1 Y65.761 Z-2.344
 G3 X155.917 Y74.6 Z-2.389 R12.5
 G1 X74.6 Y155.917 Z-2.925
 G3 X65.761 Y159.578 Z-2.97 R12.5
 G1 X-65.761 Z-3.582
 G3 X-74.6 Y155.917 Z-3.628 R12.5
 G1 X-155.917 Y74.6 Z-4.163
 G3 X-159.578 Y65.761 Z-4.209 R12.5
 G1 Y-65.761 Z-4.821
 G3 X-155.917 Y-74.6 Z-4.866 R12.5
 G1 X-74.6 Y-155.917 Z-5.405
 G3 X-65.761 Y-159.578 Z-5.451 R12.5
 G1 X65.761 Z-6.069
 G3 X74.6 Y-155.917 Z-6.115 R12.5
 G1 X155.917 Y-74.6 Z-6.655
 G3 X159.578 Y-65.761 Z-6.701 R12.5
 G1 Y65.761 Z-7.319
 G3 X155.917 Y74.6 Z-7.365 R12.5
 G1 X74.6 Y155.917 Z-7.905
 G3 X65.761 Y159.578 Z-7.951 R12.5
 G1 X-65.761 Z-8.569
 G3 X-74.6 Y155.917 Z-8.615 R12.5
 G1 X-155.917 Y74.6 Z-9.155
 G3 X-159.578 Y65.761 Z-9.201 R12.5
 G1 Y-65.761 Z-9.819
 G3 X-155.917 Y-74.6 Z-9.865 R12.5
 G1 X-74.6 Y-155.917 Z-10.405
 G3 X-65.761 Y-159.578 Z-10.451 R12.5
 G1 X65.761 Z-11.069
 G3 X74.6 Y-155.917 Z-11.115 R12.5
 G1 X155.917 Y-74.6 Z-11.655
 G3 X159.578 Y-65.761 Z-11.701 R12.5
 G1 Y65.761 Z-12.319
 G3 X155.917 Y74.6 Z-12.365 R12.5
 G1 X74.6 Y155.917 Z-12.905
 G3 X65.761 Y159.578 Z-12.951 R12.5
 G1 X-65.761 Z-13.569
 G3 X-74.6 Y155.917 Z-13.615 R12.5
 G1 X-155.917 Y74.6 Z-14.155
 G3 X-159.578 Y65.761 Z-14.201 R12.5
 G1 Y-65.761 Z-14.819
 G3 X-155.917 Y-74.6 Z-14.865 R12.5
 G1 X-74.6 Y-155.917 Z-15.405
 G3 X-65.761 Y-159.578 Z-15.451 R12.5
 G1 X65.761 Z-16.069
 G3 X74.6 Y-155.917 Z-16.115 R12.5
 G1 X155.917 Y-74.6 Z-16.655



G3 X159.578 Y-65.761 Z-16.701 R12.5
G1 Y65.761 Z-17.319
G3 X155.917 Y74.6 Z-17.365 R12.5
G1 X74.6 Y155.917 Z-17.905
G3 X65.761 Y159.578 Z-17.951 R12.5
G1 X-65.761 Z-18.569
G3 X-74.6 Y155.917 Z-18.615 R12.5
G1 X-155.917 Y74.6 Z-19.155
G3 X-159.578 Y65.761 Z-19.201 R12.5
G1 Y-65.761 Z-19.819
G3 X-155.917 Y-74.6 Z-19.865 R12.5
G1 X-74.6 Y-155.917 Z-20.405
G3 X-65.761 Y-159.578 Z-20.451 R12.5
G1 X65.761 Z-21.069
G3 X74.6 Y-155.917 Z-21.115 R12.5
G1 X155.917 Y-74.6 Z-21.655
G3 X159.578 Y-65.761 Z-21.701 R12.5
G1 Y65.761 Z-22.319
G3 X155.917 Y74.6 Z-22.365 R12.5
G1 X74.6 Y155.917 Z-22.905
G3 X65.761 Y159.578 Z-22.951 R12.5
G1 X-65.761 Z-23.569
G3 X-74.6 Y155.917 Z-23.615 R12.5
G1 X-155.917 Y74.6 Z-24.155
G3 X-159.578 Y65.761 Z-24.201 R12.5
G1 Y-65.761 Z-24.819
G3 X-155.917 Y-74.6 Z-24.865 R12.5
G1 X-74.6 Y-155.917 Z-25.405
G3 X-65.761 Y-159.578 Z-25.451 R12.5
G1 X65.761 Z-26.069
G3 X74.6 Y-155.917 Z-26.115 R12.5
G1 X155.917 Y-74.6 Z-26.655
G3 X159.578 Y-65.761 Z-26.701 R12.5
G1 Y65.761 Z-27.319
G3 X155.917 Y74.6 Z-27.365 R12.5
G1 X74.6 Y155.917 Z-27.905
G3 X65.761 Y159.578 Z-27.951 R12.5
G1 X-65.761 Z-28.569
G3 X-74.6 Y155.917 Z-28.615 R12.5
G1 X-155.917 Y74.6 Z-29.155
G3 X-159.578 Y65.761 Z-29.201 R12.5
G1 Y-65.761 Z-29.819
G3 X-155.917 Y-74.6 Z-29.865 R12.5
G1 X-74.6 Y-155.917 Z-30.405
G3 X-65.761 Y-159.578 Z-30.451 R12.5
G1 X65.761 Z-31.069
G3 X74.6 Y-155.917 Z-31.115 R12.5
G1 X155.917 Y-74.6 Z-31.655
G3 X159.578 Y-65.761 Z-31.701 R12.5
G1 Y65.761 Z-32.319

G3 X155.917 Y74.6 Z-32.365 R12.5
 G1 X74.6 Y155.917 Z-32.905
 G3 X65.761 Y159.578 Z-32.951 R12.5
 G1 X-65.761 Z-33.569
 G3 X-74.6 Y155.917 Z-33.615 R12.5
 G1 X-155.917 Y74.6 Z-34.155
 G3 X-159.578 Y65.761 Z-34.201 R12.5
 G1 Y-65.761 Z-34.819
 G3 X-155.917 Y-74.6 Z-34.865 R12.5
 G1 X-135.588 Y-94.929 Z-35.
 X-74.6 Y-155.917
 G3 X-65.761 Y-159.578 R12.5
 G1 X65.761
 G3 X74.6 Y-155.917 R12.5
 G1 X155.917 Y-74.6
 G3 X159.578 Y-65.761 R12.5
 G1 Y65.761
 G3 X155.917 Y74.6 R12.5
 G1 X74.6 Y155.917
 G3 X65.761 Y159.578 R12.5
 G1 X-65.761
 G3 X-74.6 Y155.917 R12.5
 G1 X-155.917 Y74.6
 G3 X-159.578 Y65.761 R12.5
 G1 Y-65.761
 G3 X-155.917 Y-74.6 R12.5
 G1 X-135.588 Y-94.929
 X-142.659 Y-102.
 G0 Z10.
 (FM-FACEMILL-T2 - FACE-MILLING)
 X-84.422 Y140.828 Z10.
 Z2.
 G1 Z-0.8 F600
 X84.422
 X100.99
 G2 X101.941 Y140.773 R8.284
 G1 X109.22 Y133.495
 G2 X100.99 Y124.26 R8.284
 G1 X-100.99
 X-117.558
 G3 X-118.509 Y124.205 R8.284
 G1 X-125.788 Y116.927
 G3 X-117.558 Y107.692 R8.284
 G1 X117.558
 X134.126
 G2 X135.077 Y107.637 R8.284
 G1 X142.356 Y100.359
 G2 X134.126 Y91.124 R8.284
 G1 X-134.126
 X-150.694

G3 X-151.645 Y91.069 R8.284
G1 X-158.924 Y83.791
G3 X-150.694 Y74.556 R8.284
G1 X150.694
X162.078
G2 X162.078 Y57.988 R-8.284
G1 X-162.078
G3 X-162.078 Y41.42 R-8.284
G1 X162.078
G2 X162.078 Y24.852 R-8.284
G1 X-162.078
G3 X-162.078 Y8.284 R-8.284
G1 X162.078
G2 X162.078 Y-8.284 R-8.284
G1 X-162.078
G3 X-162.078 Y-24.852 R-8.284
G1 X162.078
G2 X162.078 Y-41.42 R-8.284
G1 X-162.078
G3 X-162.078 Y-57.988 R-8.284
G1 X162.078
G2 X162.078 Y-74.556 R-8.284
G1 X150.694
X-150.694
G3 X-158.924 Y-83.791 R8.284
G1 X-151.645 Y-91.069
G3 X-150.694 Y-91.124 R8.284
G1 X-134.126
X134.126
G2 X142.356 Y-100.359 R8.284
G1 X135.077 Y-107.637
G2 X134.126 Y-107.692 R8.284
G1 X117.558
X-117.558
G3 X-125.788 Y-116.927 R8.284
G1 X-118.509 Y-124.205
G3 X-117.558 Y-124.26 R8.284
G1 X-100.99
X100.99
G2 X109.22 Y-133.495 R8.284
G1 X101.941 Y-140.773
G2 X100.99 Y-140.828 R8.284
G1 X84.422
X-84.422
G0 Z200.
M30
%

ANEXO IV

DETALLE DE PRUEBAS.

1. Preparación y fusión de la Aleación:



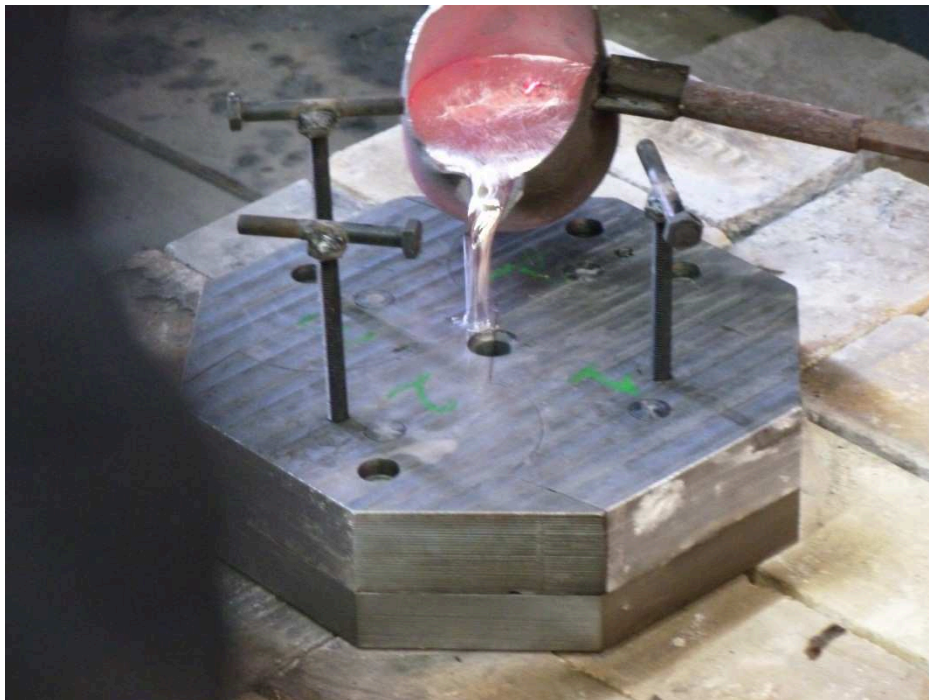
2. Pre calentamiento del molde:



3. Colocación de los pines:



4. Colado de la Aleación de aluminio en el molde:



5. Desmoldeo:



6. Piezas Terminadas:

