



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Simulación de un proceso de fundición con molde
de arena en QuikCast

Autores

Alberto Artigas Chavarría

Geovanny Quinatoa Caza

Especialidad

Mecánica

Directora

María José Oliveros

Escuela de ingeniería y arquitectura

2013

Resumen

El tema principal de este proyecto es la realización de una simulación de un proceso de fundición con molde de arena mediante QuikCast. Con este software se obtendrán los resultados para los procesos de llenado y solidificación, así como la posibilidad de analizar la pieza una vez completada la simulación de la simulación.

Las herramientas que se han utilizado para la realización de este proyecto son el software de dibujo Solid Edges, para realizar los diseños en 3D y el software de simulación QuikCast, que permite la simulación del proceso de llenado y la solidificación de la pieza.

Para realizar la simulación se ha necesitado aprender el funcionamiento del programa para poder realizar una correcta simulación. Además se realiza un manual del profesor y otro para alumno.

Estos manuales estas hechos para que se realice la simulación de una pieza durante la sesión prácticas.

Índice

Introducción.....	6
Estructura del proyecto	6
Capítulo 1: Fundición por gravedad en molde de arena.....	7
1.1 Generalidades.....	7
1.2 Elementos del molde.....	8
1.3 Etapas del moldeo	9
1.4 Aplicaciones.....	10
1.5 Ventajas e inconvenientes.....	10
1.6 Defectos	11
Capítulo 2: Material del molde.....	12
2.1 Características de las arenas de moldeo.....	12
2.2 Propiedades	12
2.3 Clasificación de las arenas de moldeo	13
2.4 Arena Verde	14
Capítulo 3: Material pieza	15
Capítulo 4: Manual usuario	18
4.1 Introducción	18
4.1.1 Glosario	18
4.1.2 Entorno	19
4.2 Para empezar.....	23
4.3 Menús.....	25
4.3.1 Menú File	25
4.3.2 Menú Edit.....	26
4.3.3 Menú View	28
4.3.4 Menú Model	30
4.3.5 Menú Material Database	33
4.3.6 Menú Process	34
4.3.7 Menú Standard Calculation.....	36
4.3.8 Menú Advanced Calculation.....	38
4.3.9 Menú Results.....	38
4.3.10 Menú Tools	39
4.3.11 Menú Options.....	40

4.3.12 Menú Window.....	41
4.3.13 Menú Help.....	42
Capítulo 5: Manual profesor.....	43
5.1 Creación y gestión de planos	43
5.2 Creación de un nuevo estudio	44
5.3 Creación de la entrada.....	47
5.4 Creación del molde	50
5.5 Creación de volúmenes	51
5.6 Generar la malla.....	57
5.7 Imposición de las condiciones de contorno	58
5.7.1 Gravedad	58
5.7.2 Condiciones de contorno.....	59
5.8 Cálculos de resultados	66
5.9 Resultados	68
Capítulo 6: Guión alumno	74
6.1 Creación de un nuevo estudio	74
6.2 Creación de la entrada.....	76
6.3 Creación del molde	77
6.4 Creación de los volúmenes	77
6.5 Generación de la malla	81
6.6 Imposición de las condiciones de contorno	83
6.6.1 Gravedad	83
6.6.2 Condiciones de contorno.....	83
6.7 Cálculos de resultados	90
6.8 Resultados	92
Capítulo 7: Variaciones del molde	96
7.1 Primer molde.....	96
7.1 Segundo molde	98
7.1 Tercer molde	100
7.4 Cuarto molde.....	103
Conclusiones.....	106
Bibliografía	107

Introducción

Estructura del proyecto

A continuación se muestra un resumen del proyecto:

- **Capítulo 1: Fundición por gravedad.** Este apartado muestra las etapas de la fundición, sus ventajas e inconvenientes, sus aplicaciones y los defectos más comunes.
- **Capítulo 2: Material del molde.** Se muestra las características del molde y sus propiedades.
- **Capítulo 3: Material pieza.** Este apartado muestra las propiedades y las características de la aleación.
- **Capítulo 4: Manual usuario.** En este apartado se muestra la forma de cómo manejar el programa: como moverse por el área de trabajo, la forma de realizar una simulación de una pieza en un proceso de fundición por gravedad con molde desechable de arena.
- **Capítulo 5: Manual profesor.** Se muestra los pasos que hay que realizar para simular la pieza que se realiza en las prácticas con las explicaciones necesarias para realizar la simulación de la pieza y los errores que pueden cometer los alumnos y los fallos que se producen en el programa.
- **Capítulo 6: Guión alumno.** En este apartado se indica al alumno como realizar la simulación de la pieza hecha en prácticas.
- **Capítulo 7: Evolución del molde.** Se muestra los diferentes tipos de moldes para analizar los diferentes resultados.

Capítulo 1: Fundición por gravedad en molde de arena

1.1 Generalidades

El proceso de fundición consiste básicamente en la introducción de un metal en estado líquido en el interior de un molde y la posterior solidificación del metal reproduciendo la geometría de la superficie interna del molde, de tal manera que obtengamos la pieza deseada con una baja porosidad, buen acabado y una exactitud dimensional adecuada.

La arena es el material más empleado para en los moldes desechables ya que es el material más económico y posee una elevada resistencia a las altas temperaturas. Esto permite fundir metales con temperaturas de fusión muy altas, como el acero o el titanio.

Las principales etapas que se realizan en este proceso son:

-Preparación del molde: se fabrica el molde de arena utilizando el modelo con la forma de la pieza, teniendo en cuenta que hay que sobredimensionar el modelo para evitar las contracciones del metal.

-Preparación de los machos: se colocan los machos en el interior para la conformación del interior de la pieza.

-Realización de la colada: consiste en llenar el molde, se puede realizar por diferentes formas por ejemplos gravedad, lateral o por inyección.

-Enfriamiento de la pieza: se trata en solidificar el material vertido en el molde a una velocidad adecuada para evitar posibles defectos como grietas y sopladuras.

-Extracción de la pieza: una vez solidificada y enfriada la pieza, se procede a la apertura del molde. Para mejorar la extracción de las piezas se recubren previamente con un agente desmoldeante.

1.2 Elementos del molde

El molde casi siempre se diseña en dos mitades, diseñándose con una línea divisoria ya sea en posición vertical u horizontal, que se denomina línea de partición.

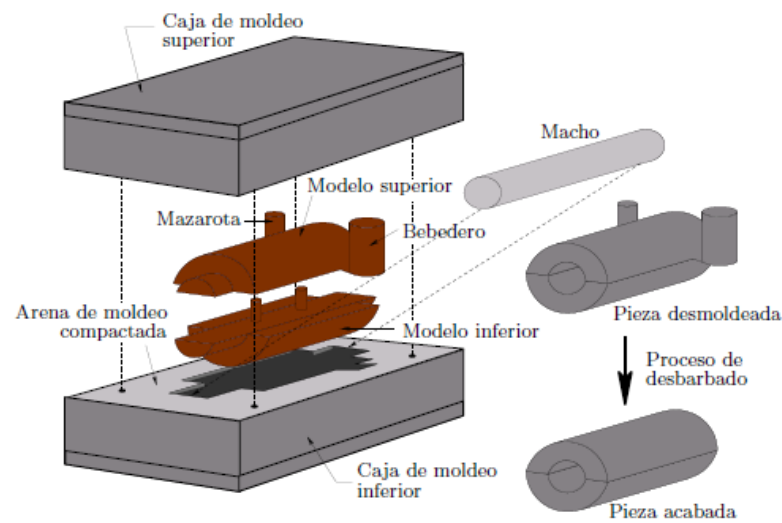


Figura 1.1

Las partes que componen el molde son:

- **Bebedero:** es el orificio por el cual se alimenta el molde con el metal fundido.
- **Mazarota:** son depósitos de metal fundido que sirven para compensar la contracción del metal de la pieza en el momento de la solidificación, para evitar que se creen cavidades. Las mazarotas tienen forma troncocónica y pueden ser:
 - **Abiertas:** tienen un orificio en que da al exterior y permite saber si el molde está lleno si el metal fundido rebosa por la mazarota.
 - **Cerradas:** están dentro del molde y se usan cuando alguna parte del interior del molde se va a quedar sin suministro de metal.
- **Canal de distribución:** son los canales por donde se realiza el llenado del molde. Los canales de distribución se pueden dividir en:
 - **Canal de colada:** son los canales que comunican directamente con el bebedero.
 - **Ataques:** son los canales que comunican el canal de colada con la pieza.
- **Machos:** son insertos introducidos en el molde y permiten realizar el interior de la piezas.
- **Caja de moldeo:** es la caja, rectangular o circular, en ella se colocan todos elementos citados anteriormente. Puede ser:
 - **Superior:** en ella se suele colocar los respiraderos, las mazarotas, los rebosaderos y el canal de llenado.
 - **Inferior:** hace las funciones de base y se realizan en ella parte de los canales de llenado.
- **Modelo:** es una pieza que representa la geometría exterior de la pieza que se quiere realizar.

1.3 Etapas del moldeo

Se describe las diferentes etapas que se realizan en el proceso de moldeo:

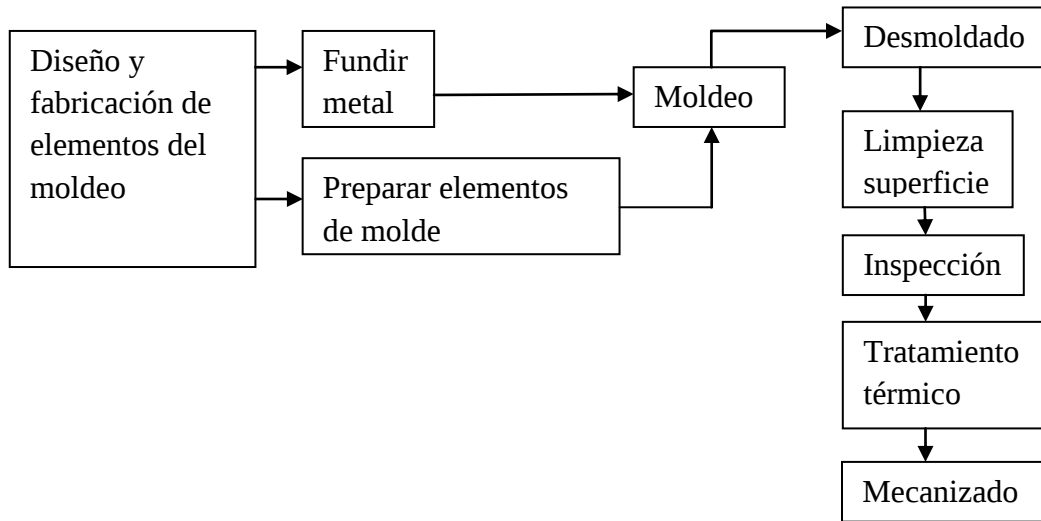


Figura 1.2

La primera fase consiste en diseñar el molde y los elementos necesarios para el moldeo a partir de la pieza. A continuación se pasa a calcular las dimensiones de las cavidades, mazarotas, sistemas de alimentación... para la correcta fabricación de la pieza.

Cuando ya se ha diseñado el molde se funde el material y se vierte en el interior del molde. Una vez que se ha solidificado se procede al desmoldado y a la limpieza de la superficie eliminando las partes sobrantes de la pieza.

A continuación se realiza una inspección visual para comprobar que la pieza está en perfecto estado. En función del uso de la pieza se puede realizar algún tratamiento térmico o el mecanizado para mejorar sus propiedades.

1.4 Aplicaciones

Los productos obtenidos mediante este método se resume en el siguiente cuadro.

ALEACIÓN	APLICACIONES
ALUMINIO	Enseres domésticos, componentes automotrices, carcasas de motores eléctricos. Formas complejas de pared delgada y piezas que requieren resistencia a temperaturas elevadas.
LATÓN	Artículos de fontanería, herrería.
MAGNESIO	Herramientas eléctricas, piezas automotrices y artículos deportivos
ZINC	Piezas automotrices, equipos de oficina, utensilios domésticos, herrajes para la construcción y juguetes.

1.5 Ventajas e inconvenientes

Las ventajas de la fundición en arena son:

- ✓ Es un proceso más barato que el resto.
- ✓ Resistencia a altas temperaturas.
- ✓ Posibilidad de obtención de piezas con espesores pequeños.
- ✓ Posibilidad de utilización en gran cantidad de metales y aleaciones.
- ✓ Acabado uniforme y liso.
- ✓ No requiere de tolerancias especiales.
- ✓ Aproximadamente un 90% del material del molde es reciclable.
- ✓ Se trata de un proceso flexible con costos de materiales bajos.
- ✓ Piezas sin tensiones residuales.

Los inconvenientes son:

- ✗ No se trata de un proceso recomendado para piezas de gran tamaño.
- ✗ Las tolerancias que se obtienen suelen ser bastante grandes.
- ✗ No es el proceso más adecuado para la realización de piezas de geometría compleja.
- ✗ Los acabados superficiales que se obtienen no son los mejores.
- ✗ Piezas con resistencia mecánica reducida.

1.6 Defectos

En las fundiciones se pueden generar varios defectos dependiendo de factores como los materiales, diseño de las piezas y técnicas de fabricación. Algunos de los defectos solo afectan a la apariencia de la pieza pero otros causan efectos adversos en la estructura de la pieza. Los defectos son:

- **Proyecciones metálicas:** formadas por aletas, rebabas o proyecciones masivas como ondulaciones y superficies ásperas.
- **Cavidades:** formadas por cavidades redondeadas, incluyendo sopladuras, porosidades y cavidades de contracción.
- **Discontinuidades:** son grietas, en frío o caliente, y puntos fríos. Si al metal en solidificación se le restringe en su libre contracción, puede ocurrir el agrietamiento y el desgarramiento.
- **Superficies defectuosa:** son pliegues, capas de arena adheridas y cascarilla de oxido.
- **Fundición incompleta:** son las faltas de llenado debido a una solidificación prematura, volumen insuficiente de metal y fugas.
- **Dimensiones o formas incorrectas:** debido a factores como una inadecuada tolerancia de contracción, un error en el montaje del modelo, una contracción irregular o el modelo esta deformado.
- **Inclusiones:** se forman durante la fusión, solidificación y moldeo. Por lo general, de naturaleza no metálica, se consideran como perjudiciales porque actúan como elevadores de esfuerzo y reducen la resistencia de la fusión.

Los principales ensayos para reconocer los defectos eventuales:

- **A simple vista:** deformaciones, rugosidades, rechupes y heterogeneidades.
- **Trazado:** dimensiones de las piezas.
- **Examen magnético o líquidos penetrantes:** revela grietas y discontinuidades en las piezas fundidas.
- **Rayos X, ultrasonidos:** se visualizan defectos internos, sin destruirlas.

Capítulo 2: Material del molde

2.1 Características de las arenas de moldeo

Las arenas silico-aluminosas procedentes de la descomposición de rocas ígneas son las más utilizadas y se llaman arenas de moldeo. Sus granos están entre 0.05 y 2 mm y, fundamentalmente, están formadas por cuarzo y arcilla, de los cuales se exigen unos porcentajes, aunque puede que tengan otros elementos secundarios. El cuarzo (SiO_2) es el principal componente y, por tanto, su proporción la mayor (80-90%). La arcilla es un silicato de alúmina hidratado y su porcentaje suele estar en torno al 10%. Se encuentra rodeando a los granos de cuarzo, es decir, actúa de aglutinante. El porcentaje de humedad de las arenas está en torno al 10%. Esa agua se encuentra, por un lado, formando parte de la propia constitución de la arcilla y, por otro, como agua libre formando parte de una humedad que puede tener o que podemos provocar. Las arenas de molde naturales tienen entre un 5 y un 7% de humedad.

2.2 Propiedades

Las propiedades fundamentales que tienen las arenas de moldeo son las siguientes:

- **Plasticidad:** es la capacidad para reproducir los detalles de los modelos. Depende de dos factores:
 - **Deformabilidad:** es la actitud para cambiar de forma. Depende de los porcentajes de arcilla, de la humedad e, incluso, de la forma del grano.
 - **Fluencia:** es la capacidad de transmitir la presión a través de ella.
- **Permeabilidad:** es la facilidad para dejarse atravesar por el aire y los gases que se desprenden al realizar la colada. Depende del tamaño y forma de los granos, del contenido de arcilla, de la presión y del porcentaje de humedad.
- **Refractabilidad:** es la capacidad para soportar temperaturas elevadas. Depende del tipo de arcilla
- **Cohesión:** capacidad de permanecer los granos unidos entre sí. Depende del porcentaje de arcilla.
- **Reutilización:** tiene un alto grado de reciclaje (alrededor del 90%).

Otra propiedad importante es el tamaño y distribución de los granos ya que de estos dos factores va a depender la calidad superficial de la pieza. El tamaño puede variar entre 0.05 mm a 2 mm. Se clasifican de la siguiente manera:

Arena	Índice AFS (i)	Tamaño de granos (mm)
Muy gruesa	18	1 - 2
Gruesa	18-35	0.5- 1
Media	35-60	0.25 -0.5
Fina	60- 150	0.10-0.25
Muy fina	150	0.05-0.10

Figura 2.1

2.3 Clasificación de las arenas de moldeo

Se pueden tener distintas clasificaciones:

- Por su origen:
 - Naturales o tierras de moldeo
 - Sintéticas
- Por la humedad que tengan:
 - Verdes o magras: se emplean para obtener piezas pequeñas. El contenido en arcilla es bajo y la humedad de estas permanece constante.
 - Secas o grasas: se han obtenido a base de un secado controlado para mejorar la permeabilidad.
- Por su aplicación en el moldeo:
 - De revestimiento o contacto: en contacto con la pieza.
 - De relleno
- Según su utilización:
 - Para molde
 - Para macho

Existen otras clases de arenas que suelen tener aplicaciones muy específicas como pueden ser:

- Arenas incrustadas: han estado en contacto con el metal y están deterioradas
- Adobadas: tienen elementos adicionales para cohesionar
- De carbonato o negras: se les adiciona un pequeño porcentaje (2-3%) de carbón.
- Al cemento: se les aporta cemento en un porcentaje variable y agua. Se utilizan para obtener piezas muy grandes y exigentes, como pueden ser las hélices de los barcos.
- Barros: son aquellas con un porcentaje de arcilla muy elevado (hasta un 20%) y otros elementos como cal y óxidos de hierro. Se utilizan para moldear aceros.

2.4 Arena Verde

El material elegido para el molde se denomina arena verde. El término “verde” es porque el molde contiene humedad en el momento del llenado por lo que no se necesita realizar un secado previo al molde. El color natural va desde el blanco hasta el canela claro, pero con el uso se va ennegreciendo. La arena verde está formada por una mezcla de arena, arcilla y agua. El porcentaje de materiales en este tipo de arena es el siguiente:

- 90% arena sílica (SiO_2)
- 7% arcilla
- 3% agua

La arcilla actúa como aglutinante, que permite mantener compacta la arena y que se desmorone con facilidad al extraer la pieza.

Capítulo 3: Material pieza

El material escogido para la simulación del proceso es la aleación de aluminio AlSi7Mg.

El aluminio elegido presenta la siguiente composición química:

Si	Mg	Mn	Zn	Cu	Sn	Al
7.00%	0.30%	0.05%	0.02%	0.01%	0.01%	Resto

Tabla 3.1

Las principales características del aluminio AlSi7Mg son:

Temperatura de fusión	613.00°C
Temperatura de solidificación	548.00°C
Temperatura eutéctica	570.00°C
Contracción	3.00%
Calor latente	431000.00 J/Kg

Tabla 3.2 Principales características

Temperatura (°C)	Fracción solida
548	1
551	0.99
560	0.95
566	0.77
570	0.49
577	0.44
582	0.41
593	0.32
601	0.25
610	0.14
612	0.09
613	0.00

Tabla 3.3 Fracción Solida en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)
20	2675
100	2661
400	2599
500	2576
548	2565
560	2560
566	2554
570	2522
589	2511
601	2502
613	2481
750	2445

Tabla 3.4 Densidad en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Calor especifico (J/(Kg*K))
20	919
100	940
200	965
300	991
400	1020
500	1045
548	1045
613	1045
750	1045

Tabla 3.5 Calor especifico en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W/(m*K))
20	154
100	156
200	163
300	170
400	172
500	174
548	175
570	125
613	80
750	80

Tabla 3.6 Conductividad térmica en función de la temperatura

La aleación AlSi7Mg destaca por su buena colabilidad en la fundición, tiene excelentes cualidades de soldabilidad y muestra una alta dureza dentro de los aluminios. Gracias a su buena dureza y soldabilidad combinado con una alta resistencia es muy usado para aplicaciones críticas. Esta aleación también permite ser tratada térmicamente lo que supone poder variar sus cualidades según el interés. También es muy usado para la decoración y adorno, ya que ofrece mucha facilidad para el pulido.

Capítulo 4: Manual usuario

4.1 Introducción

QuikCast es un programa de simulación que nos permite el análisis del proceso de moldeado, incluyendo los efectos de llenado, solidificación y las propiedades mecánicas.

4.1.1 Glosario

Estudio	Es el diseño, el análisis y los datos de resultados de una simulación de análisis.
Modelo	Es el conjunto de piezas que forma el estudio.
Superficie	Es el componente básico del que está formado la malla.
Región	Es el conjunto de superficies.
Volumen	Es un conjunto de regiones.
Malla de superficie	Es una red estructurada en la el componente básico tiene forma de triángulo.
Malla de volumen	Es una red estructurada en la que el componente básico tiene forma de cubo.
Archivo de trabajo	Es el archivo donde se crea el modelo.
Archivo de resultados	Es el archivo que crea el programa una vez realizados los cálculos y es donde se analizan los resultados obtenidos.

4.1.2 Entorno

Al ejecutar QuikCast vemos una ventana con diferentes zonas:

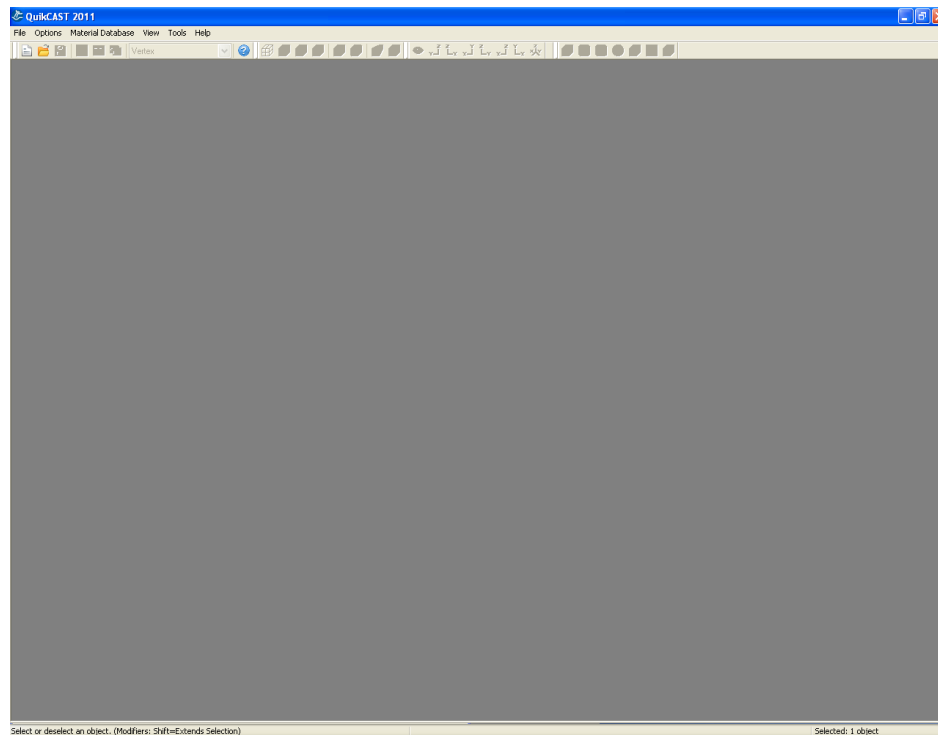


Figura 4.1

Cuando se abre un archivo se observa que tenemos nuevos menús disponibles:

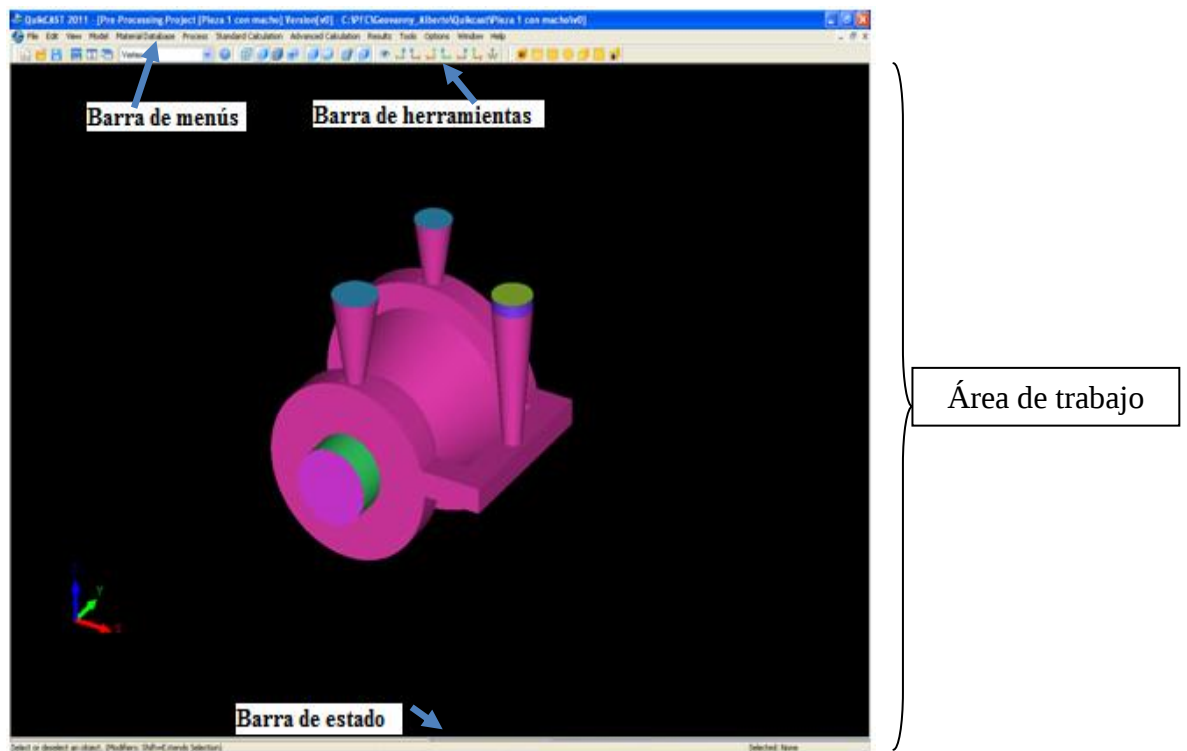


Figura 4.2

-Barra de menú:

La barra de menú presenta todas las opciones disponibles para la preparación y resolución de un estudio

-Barra de herramientas

La barra de herramientas muestra los iconos de acceso directo a los parámetros de visualización y de configuración. Estas se pueden mover libremente por cualquier lugar de la ventana principal.

-Área de trabajo

El área de trabajo muestra gráficamente la pieza y permite modificar su visualización.

-Barra de estado

En la barra de estado se describen las operaciones en curso.

Cámara

- Para girar la vista, pulse y mantenga pulsada la ruleta y mueva el ratón.
- Para acercar y alejar la vista, gire la ruleta hacia delante para alejar la vista y hacia atrás para acercar la vista. (también se pueden usar las teclas F2 y F3, pero en este caso el zoom es por pasos).
- Para mover la vista, presione y mantenga pulsada la tecla Ctrl y la ruleta del ratón.
- Para rotar la vista, pulse y mantenga pulsado la tecla Ctrl, la tecla Mayus y la ruleta del ratón.

Menú contextual

El menú contextual es el menú que sale cuando haces clic con el botón derecho en un punto del área de trabajo. Este menú nos muestra las siguientes opciones:

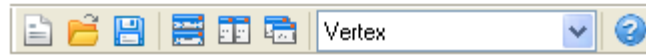
- Show... y hide: Estas opciones permiten configurar la visualización del modelo actual.
- Select/Deselect all: Esta opción permite seleccionar o deseleccionar todos los objetos del área de trabajo.
- Labels: Esta opción permite mostrar u ocultar las etiquetas del modelo.
- Delete Annotations: Esta opción permite borrar las anotaciones del modelo.
- Edit Attributes: Esta opción permite modificar la visualización de nuestro modelo.

Barra de herramientas

La barra de herramientas sirve para acceder rápidamente a los comandos más utilizados. El menú *View -> Toolbars* permite seleccionar las barras de herramientas que queremos mostrar u ocultar.

Las barras que se tendrán que tener activas son las siguientes:

Standard



Crea un nuevo estudio.



Abre un archivo de trabajo (“.Pmf”) o de resultados (“.MCO”)



Guarda el modelo actual en “.Pmf”.



Organiza todas las ventanas abiertas horizontalmente de manera que el modelo es completamente visible.



Organiza todas las ventanas abiertas verticalmente de manera que el modelo es completamente visible.



Organiza todas las ventanas en cascada de manera que el modelo puede ser total o parcialmente visible.

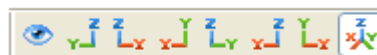


Especifica la selección de referencia para las herramientas que utilizan localizaciones más precisas.



Muestra la ayuda en línea de QuikCast.

Views



Restaura las vistas personalizadas del modelo activo.



Cambia la vista en los diferentes ejes.

Rendering



Muestra el modelo activo con la malla de superficie.



Muestra el modelo activo con las caras opacas.



Muestra el modelo con las caras opacas y la malla de superficie.



Muestra todas las partes del modelo translucidas.



Muestra cada cara como una superficie plana.



Muestra los bordes de las caras redondeados.



Ajusta la vista en perspectiva.



Ajusta la vista en profundidad.

Geometry



Diseña el molde.



Diseña la entrada en una superficie plana.



Diseña formas en 2D y 3D.

4.2 Para empezar

Debido a que QuikCast solo permite dibujar geometrías sencillas, lo más fácil y seguro, es realizar el diseño de la pieza en cualquier programa de dibujo, siempre y cuando sea posible guardar el archivo con la extensión ``.stl``. Para evitar problemas de reconocimiento de volúmenes en fases posteriores, es aconsejable incluir en un único archivo de dibujo todas las partes del producto final que se obtiene: pieza propiamente dicha, sobraderos, bebedero y canal de alimentación.

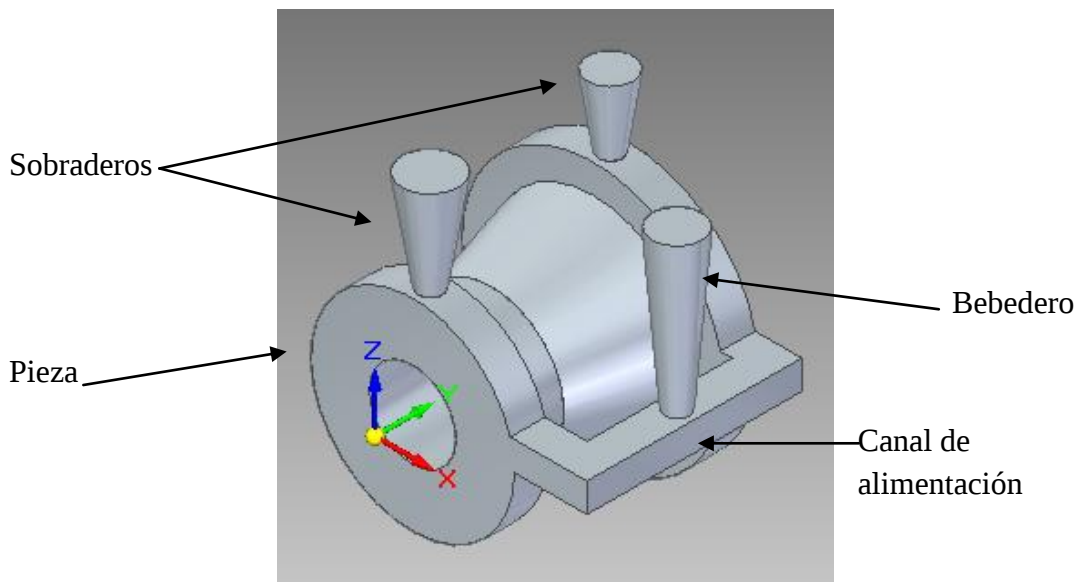


Figura 4.3

Otra forma de realizar el diseño es dibujar el producto final por partes, pero para ello, hay que ubicar cada parte en el lugar donde situaría. Esto se debe a que el origen de referencia que asume QuikCast al importar los archivos, es el mismo origen que tenemos en el programa de dibujo.

Respecto al bebedero, QuikCast sólo permite bebederos de forma cilíndrica o paralelepípeda. Como lo habitual es que tenga forma cónica, es necesario diseñarlo como parte de la pieza (ver figura 4.3). La cuestión es que de esta manera QuikCast no reconoce el bebedero como entrada, y hay que crear con el programa un volumen de entrada y conectarlo con dicho bebedero. Por ello, cuando se diseñe (dibuje) el bebedero en el programa de cad, resulta necesario recortar su altura original una cantidad, para que el volumen entrada de forma cilíndrica creado con QuikCast tenga una altura igual a la que se ha quitado de la original y un diámetro igual o inferior a la sección superior del bebedero dibujado.

Una vez terminado el diseño de la pieza guardamos el archivo con la extensión ``.stl``.

Hay que tener en cuenta que QuikCast no permite realizar modificaciones en el dibujo una vez cargado, por lo que si es necesario realizar alguna modificación, hay que hacerlo en el archivo de diseño.

En el momento de guardar el archivo se deben comprobar las opciones de exportación. Para ello iremos a *Opciones* y comprobaremos que la *Unidad de tolerancia* esté en milímetros

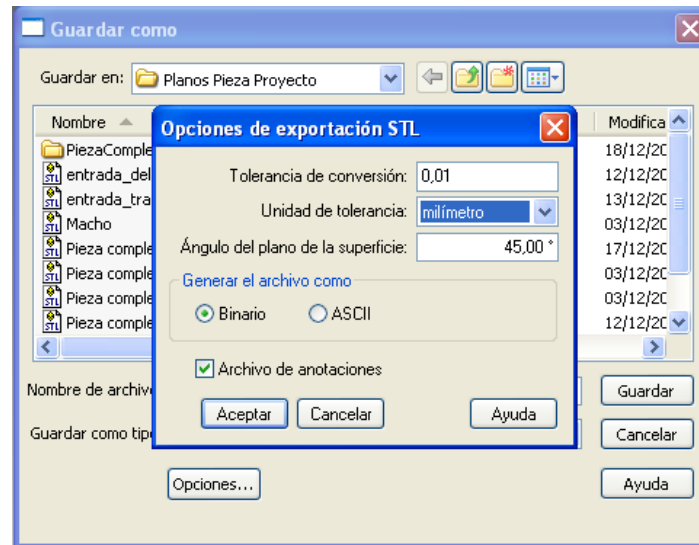


Figura 4.4

4.3 Menús

4.3.1 Menú File

El menú *File* proporciona las siguientes opciones:

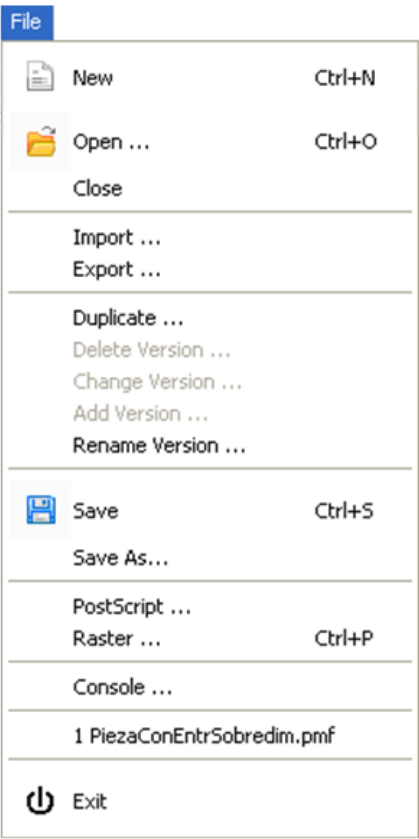


Figura 4.5

New	Permite crear un nuevo estudio en una ventana nueva. Para crear un nuevo estudio hay que introducir el nombre del estudio, el programa creará una carpeta con ese nombre para guardar los archivos de trabajo y resultados, se elige la ubicación donde se crea el estudio y se selecciona el archivo de diseño que se quiere abrir. Aparece una pantalla donde se indica en que sistema y unidades se abre el archivo. Si la opción <i>Automatic Mesh Fixing</i> está activa se abre una ventana donde se indican los errores producidos en la malla de superficie al importar el archivo y nos permite solucionarlos automáticamente.
Open...	Abre en una nueva ventana un archivo de trabajo (“ <i>.PMF</i> ”) o de resultados (“ <i>.MCO</i> ”).
Close	Cierra todas las ventanas activas.
Import	Importa la geometría de diferentes archivos con distintos formatos en la ventana actual. Para importar un nuevo archivo se selecciona

el archivo que se quiere importar y a continuación Aparece una pantalla donde se indica en que sistema y unidades se abre el archivo. Si la opción *Automatic Mesh Fixing* está activa se abre una ventana donde se indican los errores producidos en la malla de superficie al importar el archivo y nos permite solucionarlos automáticamente. Se puede repetir esta acción todas las veces que sea necesario.

Export	Exporta la geometría de la ventana actual a distintos tipos de formato.
Duplicate	Hace una copia de estudio actual.
Delete Version	Elimina la versión seleccionada.
Change Version	Cambia la versión seleccionada.
Add Version	Añade una versión al estudio actual.
Rename Version	Cambia el nombre de cualquier versión existente.
Save	Guarda el archivo “.PMF” en el directorio del proyecto.
Save As...	Permite guardar el archivo “.PMF” en otro directorio.
PostScript...	Guarda el archivo en la ventana actual en formato “.ps” o “.dtb”.
Raster...	Guarda la ventana actual en un formato “.TIFF”, “.JPEG” o “.BMP”.
Console...	Abre una ventana con el registro de la información del sistema.
1...10	Enumera los diez últimos archivos abiertos y permite abrir cualquiera de ellos
Exit	Cierra todas las ventanas y se sale de la aplicación.

4.3.2 Menú Edit

El menú *Edit* nos proporciona las siguientes opciones:

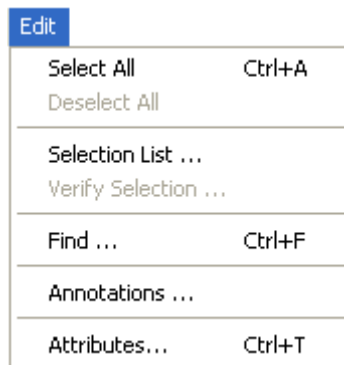


Figura 4.6

Select All	Selecciona todos los objetos de la ventana actual añadiéndolos a la lista de selección del estudio activo y se verá afectado por las operaciones siguientes.
Deselect All	Anula la selección de todos los objetos seleccionados.
Selection List...	Abre una ventana que permite añadir y eliminar objetos de la lista de selección.
Verify Selection...	Abre una ventana que muestra información de los objetos seleccionados.
Find...	Abre una ventana que nos permite localizar y seleccionar un elemento en la lista de selección.
Annotations...	Abre una ventana que permite editar o eliminar anotaciones en el modelo
Attributes...	Abre una ventana para configurar las opciones de los objetos para superficies, volúmenes y materiales.

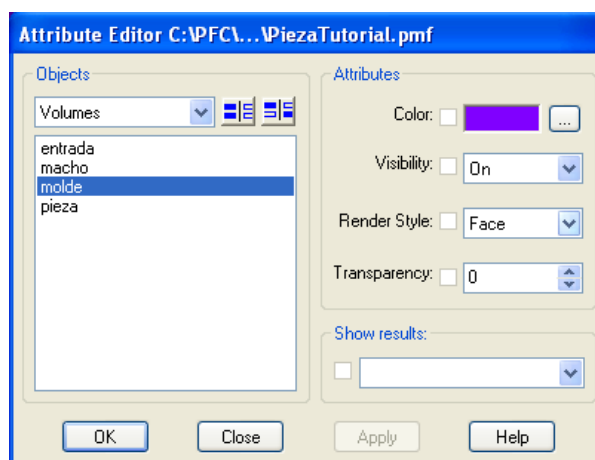


Figura 4.7

En esta ventana se puede observar el panel objects que sirve para seleccionar los volúmenes o regiones a los que se quiere cambiar su visualización, y el panel *Attributes* que es donde se modifican los atributos del objeto(s). Se puede modificar su color, su visibilidad, su transparencia y su visualización (que se vea en forma de solido, en forma de malla de superficie y mixto).

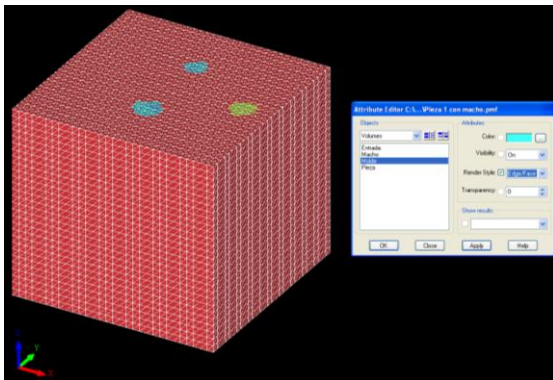


Figura 4.8

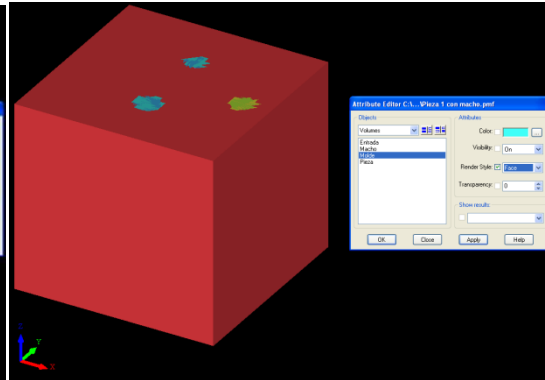


Figura 4.9

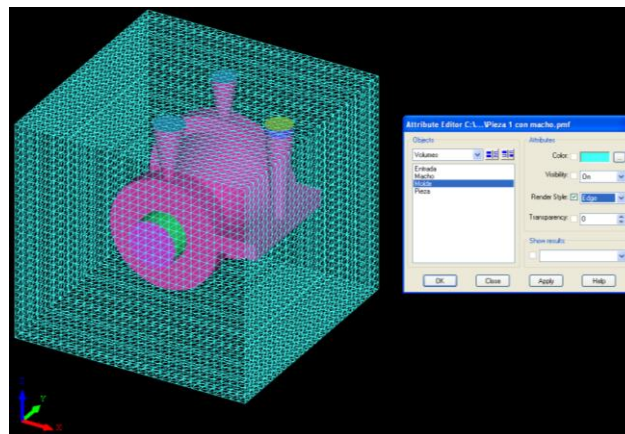


Figura 4.10

4.3.3 Menú View

El menú *View* permite mostrar u ocultar objetos y establecer las opciones de visualización.

Este menú nos proporciona las siguientes opciones:

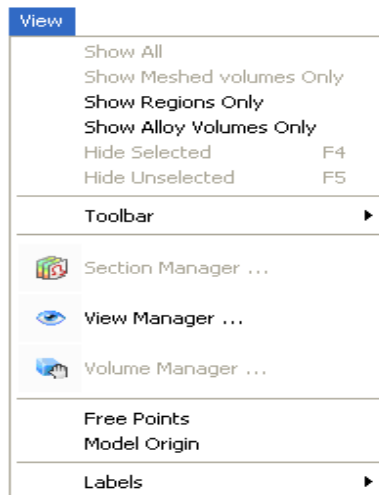


Figura 4.11

Show All	Muestra todos los objetos del modelo.
Show Meshed volumes Only	Muestra solo los volúmenes a los que se les ha creado la malla de volumen.
Show Regions Only	Muestra solo las regiones del modelo.
Show Alloy Volumes Only	Muestra solo los volúmenes de la pieza.
Hide Selected	Oculto los objetos seleccionados.
Hide Unselected	Oculto los objetos no seleccionados.
Toolbar	Muestra u oculta las barras de herramientas que permite acceder rápidamente a los comandos más utilizados.
Section Manager	Permite cortar una sección del modelo. Esta opción está disponible para el archivo de resultados.
View Manager	Restaura las vistas personalizadas.
Volume Manager	Controla el número de volúmenes cargados en el archivo resultados con el fin de optimizar las prestaciones.
Free Points	Muestra u oculta los puntos libres.
Model Origin	Muestra u oculta el punto donde está situado el origen de coordenadas del modelo.
Labels	Muestra u oculta las etiquetas de los elementos.

4.3.4 Menú Model

El menú *Model* nos permite administrar las mallas, las regiones y los volúmenes.

Este menú nos proporciona las siguientes opciones:

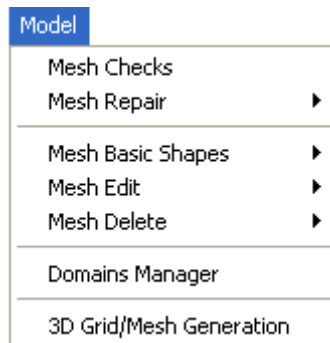


Figura 4.12

Mesh Checks	Esta opción comprueba que la malla de superficie, las caras y las superficies del modelo están dentro de las tolerancias establecidas.
Mesh Repair	La opción <i>Automatic Mesh Fixing</i> permite analizar la malla de superficies en busca de posibles errores y permite solucionarlos automáticamente. Esta opción se puede activar al abrir o importar un nuevo archivo marcando la casilla <i>Automatic Mesh Fixing</i>. La opción <i>Remesh Tool</i> permite volver a realizar la malla de superficie cambiando el tamaño de la malla.
Mesh Basic Shapes	Permite diseñar el molde y/o formas 2D/3D. Para definir el molde hay que utilizar la función <i>Mold</i>. Aparece una ventana donde se introducen las dimensiones, el molde se define introduciendo la distancia de las caras del molde con el origen de referencia del molde. Se debe tener en cuenta que el origen de referencia del molde se encuentra ubicado en el origen de coordenadas del modelo.

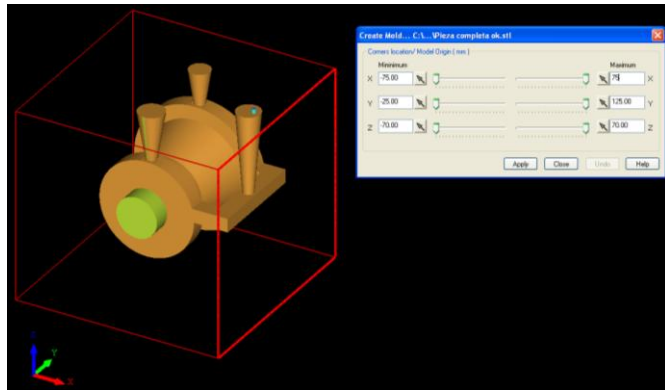


Figura 4.13

Para crear la entrada se utiliza la función *Inlet*, aparece una ventana en la que se introduce la geometría y la posición de la entrada.

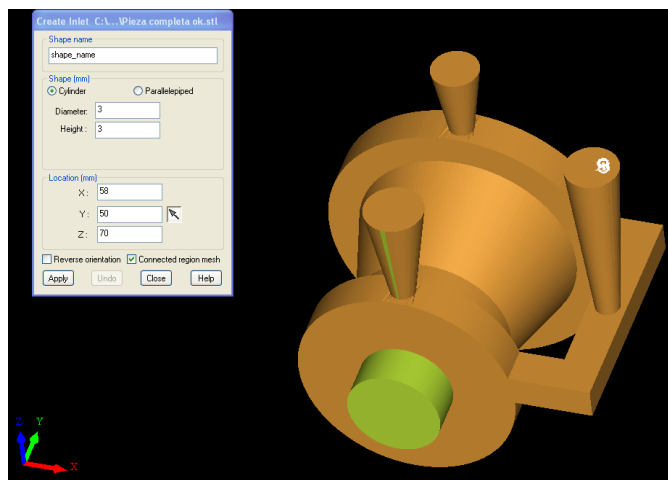


Figura 4.14

También se puede crear algunas geometrías sencillas según lo que se quiera realizar utilizando las siguientes funciones:

- *Cylinder*: Crea un cilindro.
- *Circle*: Crea una superficie circular.
- *Parallelepiped*: Crea un paralelepípedo.
- *Rectangle*: Crea una superficie rectangular.
- *Extrude*: Extruye una superficie seleccionada

Mesh Edit

Esta opción permite modificar puntos, superficies y regiones. Solo es posible modificar uno por uno.

Mesh Delete

Permite eliminar puntos de la malla de superficies o regiones.

Domains Manager

Permite crear, modificar o eliminar regiones y volúmenes del modelo.

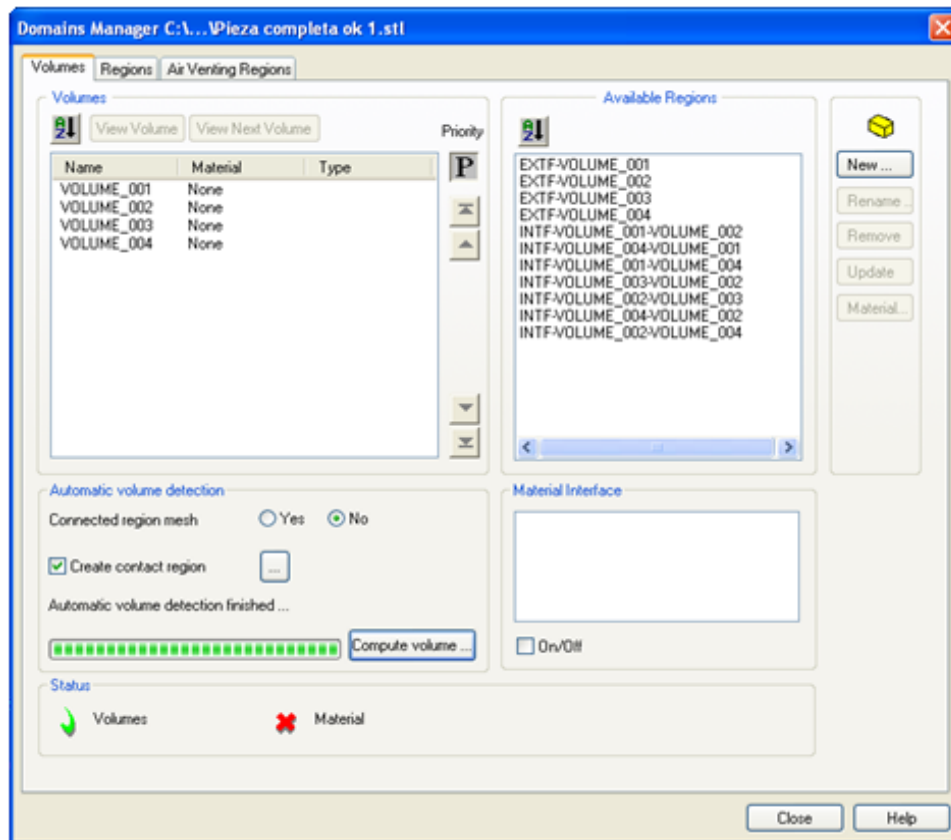


Figura 4.15

En esta ventana se puede observar los diferentes paneles. En el panel *Volumes* hay una lista que muestra los volúmenes que están disponibles, a la derecha hay unas flechas que permiten ordenarlos por orden de llenado, dejando al final los moldes. El panel *Available Regions* muestra una lista con todas las regiones que hay en el modelo, a la derecha hay unos botones que permiten modificar la lista de los volúmenes y de las regiones y asignarles el material correspondiente. El panel *Automatic Volumen Detection* permite crear los volúmenes automáticamente. El panel *Material Inteface* crea nuevas regiones en base a la definición de los materiales. El panel *Status* comprueba si están bien definidos los volúmenes y los materiales.

3D Grid/ Mesh Generation



Figura 4.16

Permite dividir el modelo en cuadrículas a lo largo de los ejes X, Y, Z y generar la malla de volumen sobre las piezas.

Para realizar el mallado de la pieza deben estar seleccionados únicamente los volúmenes que pertenecen a la pieza y no los pertenecientes al molde. Aquí se puede definir el tamaño de la malla, indicara el número de celdas que ha creado, generara la malla y comprobara si se ha generado bien la malla.

4.3.5 Menú Material Database

El menú *Model* nos proporciona las siguientes opciones:

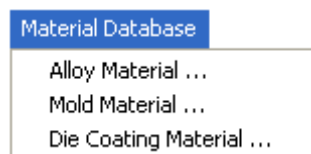


Figura 4.17

Alloy Material...

Muestra la base de datos de los materiales para la pieza.

Mold Material...

Muestra la base de datos de los materiales para el molde.

Die Coating Material...

Muestra la base de datos de materiales para recubrimientos.

4.3.6 Menú Process

El menú *Process* nos proporciona las siguientes opciones:

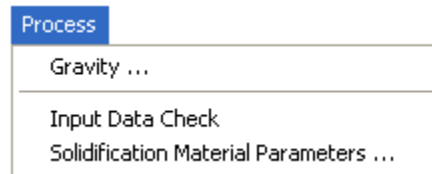


Figura 4.18

Gravity...	Permite especificar el valor y la dirección de la gravedad. Dependiendo de cómo se haya realizado la pieza en Solid Edges la gravedad llevara una dirección por lo que se debe comprobar que la gravedad este definida en la dirección correcta.
Input Data Check	Permite acceder a la lista de las condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno que dispone QuikCast se dividen en hidráulicas y térmicas. A continuación se explican las condiciones hidráulicas:

Initial Fluid	Se utiliza para representar la llegada del metal por la entrada o definiendo un volumen inicial de fluido.
Inlet	Se utiliza para crear la alimentación del metal con una determina velocidad sin que se defina un volumen.
Pressure	Se utiliza para definir la presión en una región o volumen.
Velocity	Se utiliza para definir la velocidad de alimentación del metal.
Piston	Se utiliza para simular el desplazamiento del pistón en la cámara de inyección.
Permeability	Se utiliza para simular el escape del aire a través de la porosidad del molde.
Air Venting	Se utiliza para definir una salida de aire en el modelo.
Filter	Se utiliza para simular los efectos de filtrar con rejilla en el modelo.
Ceramic Foam Filter	Se utiliza para simular los efectos del filtro de espuma cerámica.

Region Roughness	Se utiliza para tener en cuenta los efectos de la rugosidad sobre las paredes.
Flow Paths	Se utiliza para cambiar el color del flujo según va entrando en las secciones.

Ahora se explican las condiciones térmicas:

Temperature	Se utiliza para definir la temperatura en una región o volumen.
Heat Transfer Coefficient	Se utiliza para definir el intercambio de calor interno.
External Exchange	Se utiliza para definir el intercambio de calor con el exterior.
Implicit Mold	Se utiliza para definir el efecto hidráulico y térmico en el molde sin el mallado.
Die Coating	Se utiliza para definir el efecto térmico debido a los recubrimientos del molde.
Heat Flux	Se utiliza para imponer un flujo de calor uniforme en una región.
Thermal coefficients	Se utiliza para definir los coeficientes de intercambio de calor.
Exothermic Material	Se utiliza para definir el material de aislamiento.
Extended Regions	Se utiliza para incrementar el intercambio de calor entre dos áreas.
Air Gap	Se utiliza para tener en cuenta la separación del aire en el intercambio térmico.
Contact Resistance	Se utiliza para imponer una resistencia térmica en una región.
Cooling	Se utiliza para simular el efecto de la refrigeración.
Die Spray	Se utiliza para definir los efectos térmicos debido al revestimiento de aire y agua en el moldeo a presión.
Mold Opening	Se utiliza para definir los efectos térmicos debido a las operaciones de apertura y cierre de un molde permanente.

Third Stage Effect	Se usa para tener en cuenta el efecto de la presión residual durante la tercera etapa de procesos de fundición a baja y alta presión.
--------------------	---

Solidification Material Parameters...	Permite modificar los parámetros de solidificación del material
---------------------------------------	---

4.3.7 Menú Standard Calculation

En este menú tenemos las siguientes opciones:

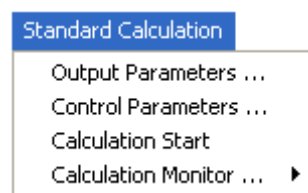


Figura 4.19

Output Parameters...	Gestiona la frecuencia de salida y los puntos de seguimiento necesarios para los cálculos de resultados. Esta opción permite modificar los parámetros y las frecuencias de la salida de datos pudiendo elegir cuando recoge los datos en función del porcentaje de llenado o del tiempo dependiendo que sea más interesante para el análisis posterior.
----------------------	---

Control Parameters...	Permite configurar los parámetros relacionados con la resolución.
-----------------------	---

Calculation Start	Gestiona las opciones para los cálculos de la solución. Aparece una ventana donde se elige el proceso que se realiza y permite configurar dichos parámetros.
-------------------	--

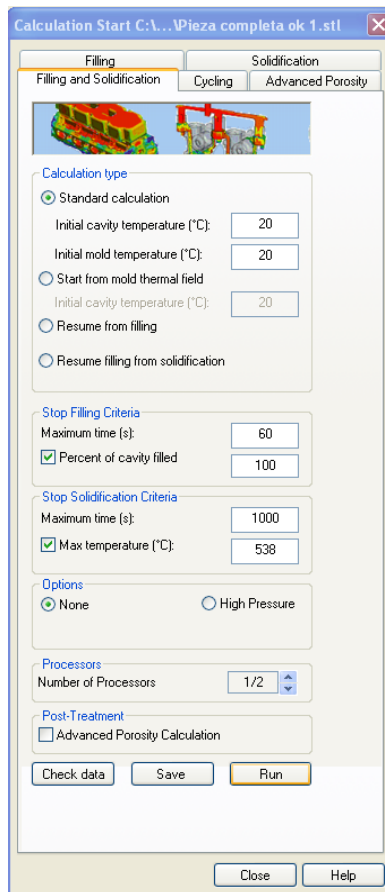


Figura 4.20

Calculation Monitor...

Comprueba el progreso de los cálculos.

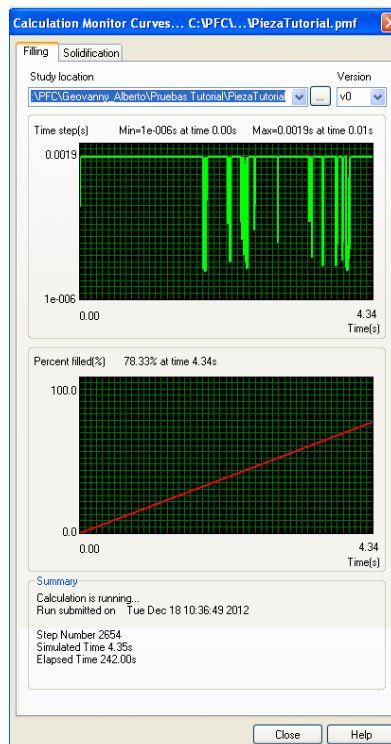


Figura 4.21

4.3.8 Menú Advanced Calculation

En este menú tenemos dos opciones:

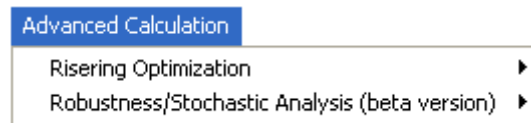


Figura 4.22

Rising Optimization	Permite optimizar automáticamente el cálculo del diámetro que debe tener la entrada
Robustness/Stochastic Analysis	Permite administrar la robustez de los cálculos.

4.3.9 Menú Results

El menú Results permite analizar los resultados obtenidos tras los cálculos.

Este menú solo se encuentra disponible cuando se abre el archivo de resultados (“MCO”). Para ello lo primero que se debe hacer es abrir el archivo de resultados con la extensión “.MCO” que se encuentra en la misma carpeta que el archivo de trabajo y para analizar mejor los resultados solo se abrirán los volúmenes que pertenecen a la pieza.

En este menú nos encontramos las siguientes opciones:

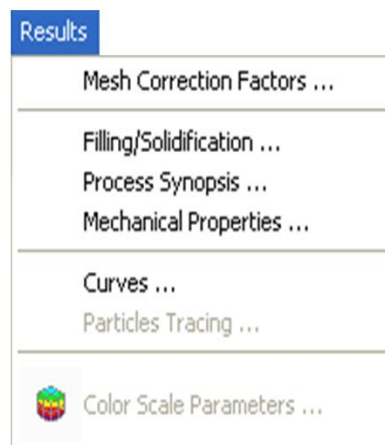


Figura 4.23

Mesh Correction Factors...	Se usa para comprobar de forma visual el porcentaje de llenado afectado de cada celda de la malla.
Filling/Solidification...	Esta opción permite ver los resultados del llenado y la solidificación del modelo de forma animada. Se puede ver con diferentes opciones el llenado y la solidificación.

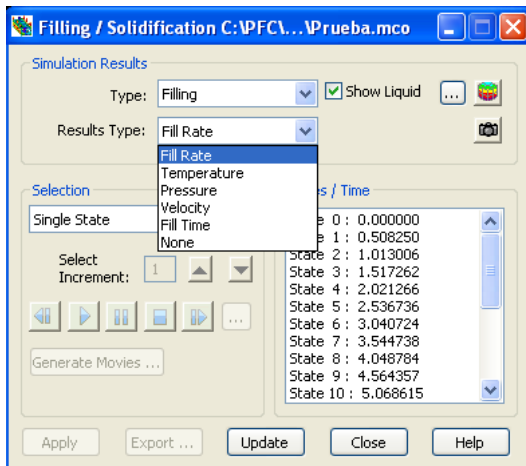


Figura 4.24

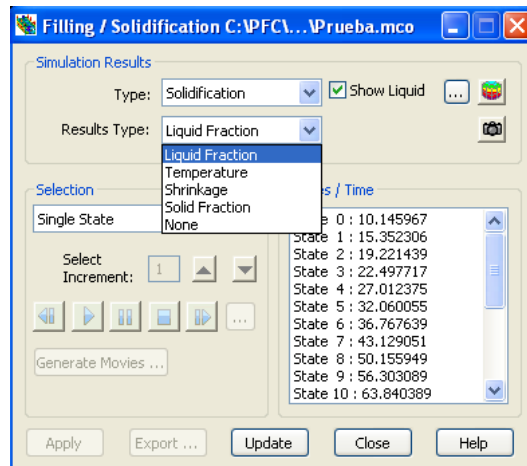


Figura 4.25

Process Synopsis... Nos muestra los resultados del proceso de fundición, de los cálculos de defectos y la solidificación de manera específica.

Mechanical Properties... Se utiliza para calcular las propiedades mecánicas del material tras un tratamiento térmico.

Curves... Muestra los resultados de los puntos añadidos en forma de curva en un gráfico.

Particles Tracing... Esta opción superpone los resultados de una o varios puntos de nuestro modelo.

Color Scale Parameters... Nos permite configurar los colores asociados a cada resultado.

4.3.10 Menú Tools

En este menú nos encontramos las siguientes opciones:

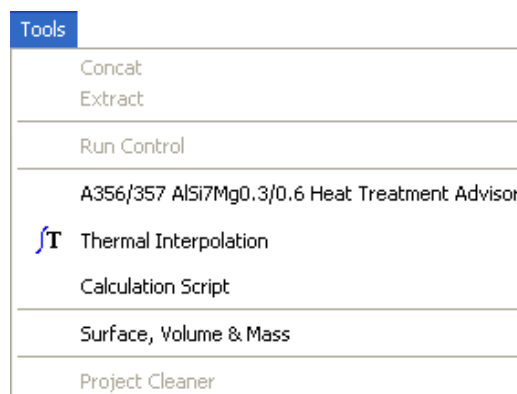


Figura 4.26

Concat	Comprime dos archivos de resultados. Para poder abrir el archivo necesitas extraerlo con la siguiente opción.
Extract	Extrae los archivos de resultados.
Run Control	Estima la memoria necesaria para resolver el proceso de llenado o de solidificación.

A356/357 AlSi7Mg0.3/0.6 Heat Treatment Advisor

	Permite estimar las propiedades mecánicas después de un tratamiento térmico.
Thermal Interpolation	Permite interpolar entre los archivos que tienen diferentes resultados de mallado.
Calculation Script	Permite encadenar diferentes resultados.
Surface, Volume & Mass	Calcula el volumen, la superficies y la masa de los objetos seleccionados.
Project Cleaner	Permite limpiar los archivos temporales generados durante los cálculos.

4.3.11 Menú Options

En este menú nos encontramos las siguientes opciones:

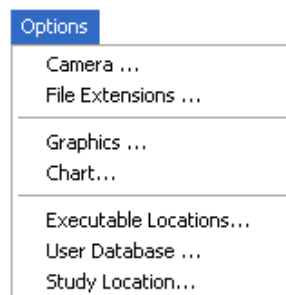


Figura 4.27

Camera...	Activa la cámara cuando el ratón se mueve por una ventana del programa.
File Extensions...	Especifica por defecto las extensiones del nombre del archivo.
Graphics...	Establece las preferencias gráficas del modelo activo.

Chart...	Establece las preferencias de estilo de gráficos del modelo activo.
Executable Locations...	Define la ubicación del generador de mallas.
User Database...	Define el nombre y la ubicación de la base de datos del material usado por defecto.
Study Location...	Define la ruta predeterminada para la ubicación de un nuevo estudio.

4.3.12 Menú Window

En este menú tenemos las siguientes opciones:

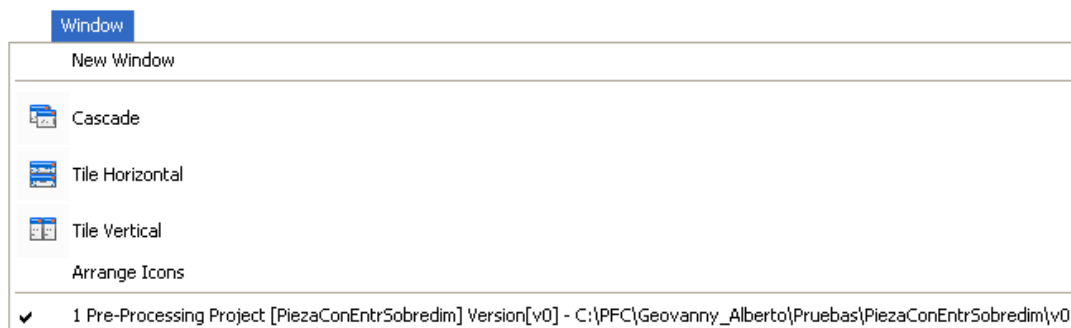


Figura 4.28

New Window	Abre una nueva ventana que muestra el modelo activo en su orientación predeterminada.
Cascade	Organiza todas las ventanas abiertas una detrás de otra mostrando la barra del título.
Tile Horizontal	Organiza todas las ventanas del modelo abierto en forma horizontal desde la parte superior a la parte inferior del área gráfica y cambia el tamaño de cada uno de ellos a fin de que todos ellos sean completamente visibles.
Tile Vertical	Organiza todas las ventanas del modelo abierto en forma vertical desde la parte lateral del área gráfica y cambia el tamaño de cada uno de ellos a fin de que todos ellos sean completamente visibles.
Arrange Icons	Organiza las ventanas minimizadas del modelo a lo largo de la parte inferior de la ventana.
1...	Aparecen todas las ventanas abiertas. El icono ☒ muestra la ventana activa.

4.3.13 Menú Help

En este menú tenemos las siguientes opciones:

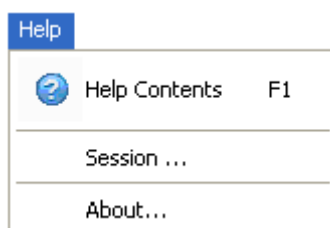


Figura 4.29

Help Contents	Abre la ayuda en línea en su página de inicio.
Session...	Muestra las propiedades del hardware y software de la sesión activa.
About...	Muestra el aviso de copyright y el número de versión de la aplicación.

Capítulo 5: Manual profesor

5.1 Creación y gestión de planos

Debido a que QuikCast solo permite dibujar geometrías sencillas, lo más fácil y seguro, es realizar el diseño de la pieza en cualquier programa de dibujo, siempre y cuando sea posible guardar el archivo con la extensión ``.stl``. Para evitar problemas de reconocimiento de volúmenes en fases posteriores, es aconsejable incluir en un único archivo de dibujo todas las partes del producto final que se obtiene: pieza propiamente dicha, sobraderos, bebedero y canal de alimentación.

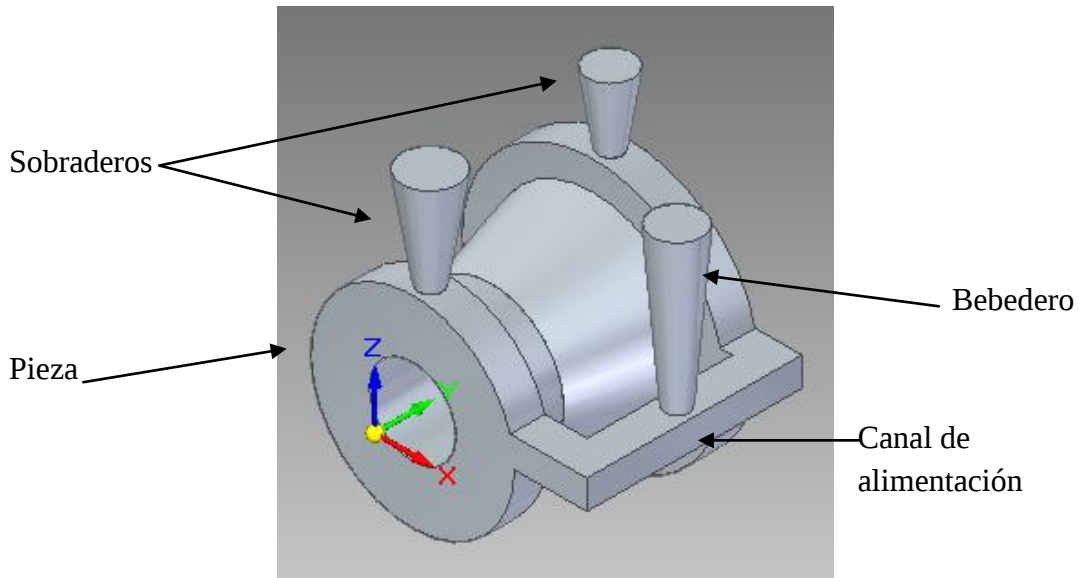


Figura 5.1

Otra forma de realizar el diseño es dibujar el producto final por partes, pero para ello, hay que ubicar cada parte en el lugar donde se situaría si estuviera la pieza. Esto se debe a que el origen de referencia que asume QuikCast al importar los archivos, es el mismo origen que tenemos en el programa de dibujo. Por este motivo en nuestro caso, para evitar que el alumno tenga problemas en el momento de realizar la simulación, se elige la primera forma de hacer el diseño.

Respecto al bebedero, QuikCast sólo permite bebederos de forma cilíndrica o paralelepípeda. Como lo habitual es que tenga forma cónica, es necesario diseñarlo como parte de la pieza (ver figura 5.1). La cuestión es que de esta manera QuikCast no reconoce el bebedero como entrada, y hay que crear con el programa un volumen de entrada y conectarlo con dicho bebedero. Por ello, cuando se diseñe (dibuje) el bebedero en el programa de cad, resulta necesario recortar su altura original una cantidad (en este caso 5 mm), para que el volumen entrada de forma cilíndrica creado con QuikCast tenga una altura igual a la que se ha quitado de la original (5 mm) y un diámetro igual o inferior a la sección superior del bebedero dibujado.

Otro aspecto importante es el macho. En este caso no es necesario introducirlo por dos motivos: al ser el macho del mismo material que el molde, el programa los

considera como una sola parte; el otro motivo es que no necesitamos introducir ninguna condición en el macho a la hora de simular el moldeo. Por tanto en el archivo de diseño de pieza se realiza ya con el agujero del macho.

Una vez terminado el diseño de la pieza guardamos el archivo con la extensión “.stl”.

Hay que tener en cuenta que QuikCast no permite realizar modificaciones en el dibujo una vez cargado, por lo que si es necesario realizar alguna modificación, hay que hacerlo en el archivo de diseño.

En el momento de guardar el archivo se deben comprobar las opciones de exportación. Para ello iremos a *Opciones* y comprobaremos que la *Unidad de tolerancia* esté en milímetros

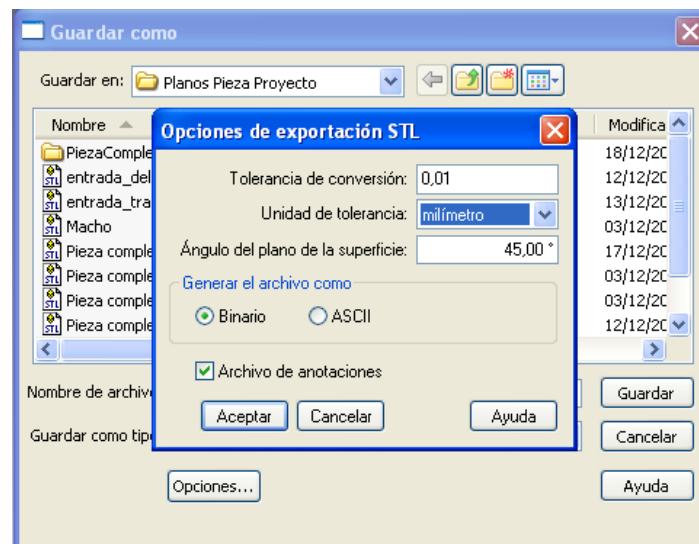


Figura 5.2

5.2 Creación de un nuevo estudio

A continuación abrimos el programa QuikCast y creamos un nuevo estudio. Para ello vamos al menú *File* -> *New* o iremos al icono  en la barra de herramientas, apareciendo la siguiente ventana:

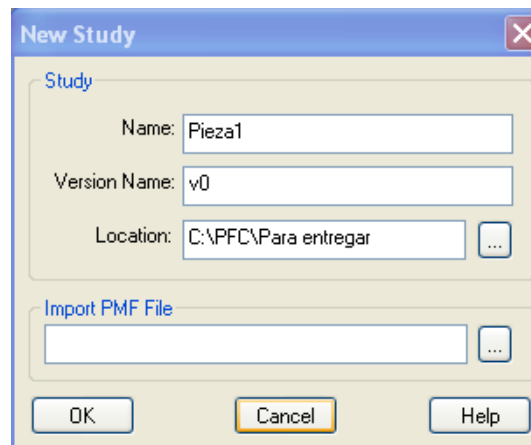


Figura 5.3

En el apartado *Name* introducimos el nombre que se quiera dar al estudio. A continuación vamos al apartado *Location* y hacemos clic en el botón [...] para elegir la ubicación donde se guarda el estudio. Hacemos clic en *Ok*.

A continuación se abre una ventana donde buscamos el archivo de diseño. Luego hacemos clic en *Open* para abrir la pieza en el área de trabajo, apareciendo ahora otra ventana donde se eligen las opciones de importación del archivo.

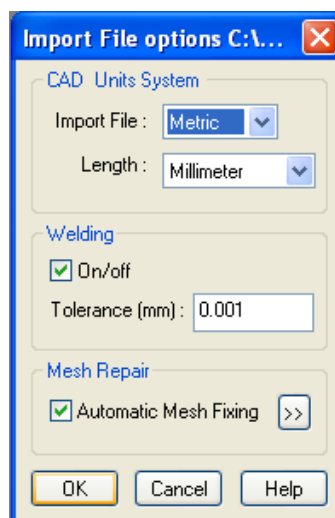


Figura 5.4

En los apartados *Import File* y *Lengh* se elige *Metric* y *Milimeter* respectivamente. Es importante que las unidades sean las mismas que las que tiene el archivo ``.stl``, ya que si no es así, variarán las dimensiones de la pieza

La opción *Welding* sirve para unir los puntos, generalmente perteneciente a dos regiones diferentes, si se encuentran situados con una diferencia inferior a la de tolerancia mostrada.. Esta opción se encuentra activa por defecto, y en nuestro caso la dejaremos así. A continuación activamos la opción *Automatic Mesh Fixing* para que el programa compruebe automáticamente si hay algún error en la geometría que se va a abrir. Para terminar hacemos clic en *Ok*

Luego aparece una ventana que indica los errores que se han encontrado en la geometría de la pieza. Para reparar los errores automáticamente hacemos clic en Yes.

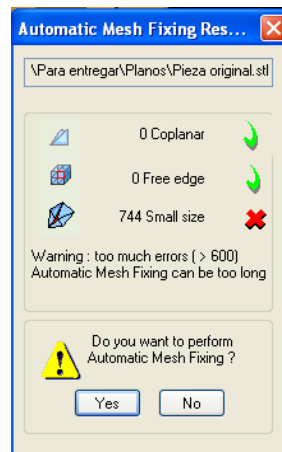


Figura 5.5

Ahora ya se puede observar que la pieza se ha abierto en el área de trabajo.

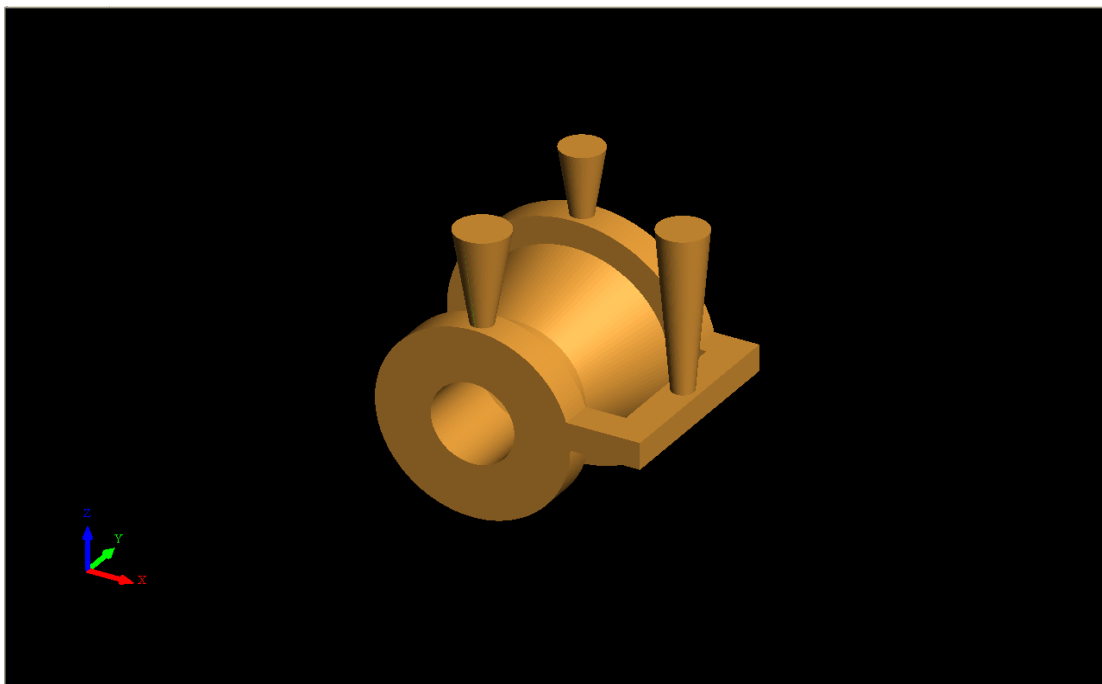


Figura 5.6

Si vamos al menú *View -> Selection List* observamos que el programa ha creado la región *SurfaceDomain_1*, junto con otra pequeña región que llama *COPLANAR_FIXED1*. Esta última es por defecto y no hay ningún problema porque después cuando se generan los volúmenes se soluciona.

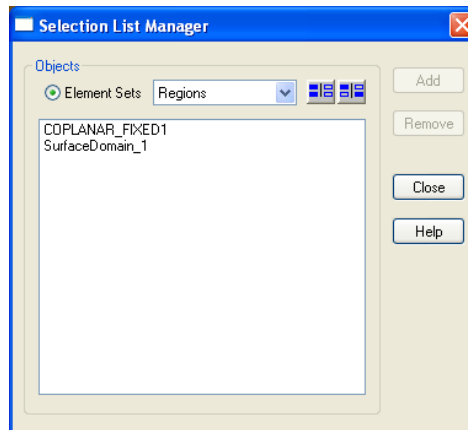


Figura 5.7

Si fuese necesario añadir otra pieza o algún elemento necesario para la realización del moldeo, como por ejemplo, un macho (recordamos que en nuestro caso no es necesario añadir el macho) hay que ir al siguiente menú: *File -> Import*. A continuación aparecerá una ventana donde elegimos el archivo que se quiera abrir. Repetimos el mismo proceso utilizado para abrir un nuevo archivo.

5.3 Creación de la entrada

Para crear la entrada hay que ir al menú *Model -> Mesh Basic Shapes -> Inlet* o ir directamente al icono 🗑️. Aparece la siguiente ventana:

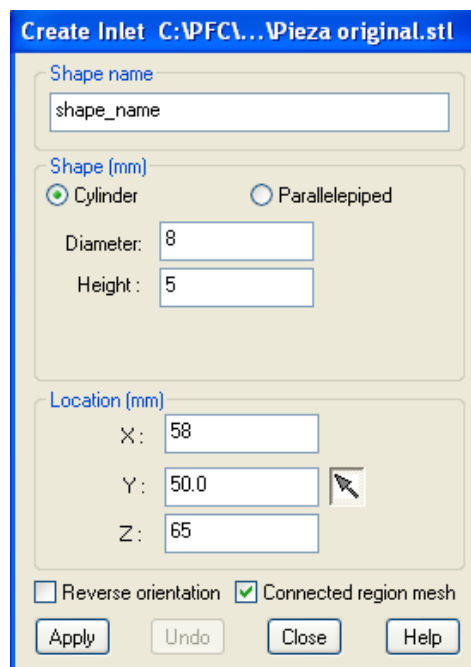


Figura 5.8

En esta ventana tenemos las opciones geométricas y de ubicación de la entrada dividido en los siguientes apartados:

- *Shape name*: permite modificar el nombre que se le asigna a la entrada. En este caso dejamos el nombre que aparece por defecto.
- *Shape*: permite elegir la forma de la entrada que queremos crear y sus dimensiones en mm. Seleccionamos la opción *Cylinder* e introducimos:
 - Diámetro 8
 - Altura 5

En este caso escogemos este diámetro porque, en realidad, el fluido no entra por toda la superficie sino solo por una zona. De esta forma podemos realizar una simulación del llenado más cercana a la realidad. La altura del cilindro es porque se ha recortado el bebedero 5 mm.

- *Location*: permite definir las coordenadas de la ubicación de la entrada. Estas coordenadas hacen referencia al punto central de la base de la entrada. Como muestra el punto rojo de la figura 5.9

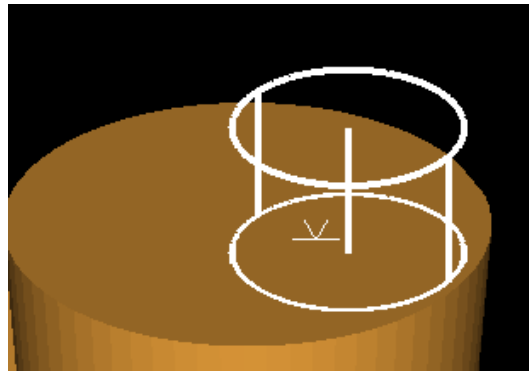


Figura 5.9

Para colocar la entrada pinchamos en la zona donde se quiera situar la entrada y, a continuación introducimos las siguientes coordenadas; $X=58$, $Y=50$ y $Z=65$. Estas coordenadas se obtienen desde el origen de referencia de la pieza hasta la parte superior del bebedero. Hemos elegido esas coordenadas para que el fluido caiga primero en la conicidad del bebedero, para evitar que la colada caiga directamente en fondo del canal de alimentación. Se puede elegir cualquier punto, siempre y cuando la entrada este dentro de la parte superior del bebedero.

- *Connected region mesh*: esta opción permite conectar la pieza con la entrada. Tenemos que activar esta opción puesto que queremos unir la entrada con el bebedero.
- *Reverse orientation*: permite cambiar la dirección de la orientación de la entrada. Activamos esta opción si la orientación de la entrada es la opuesta a la que queremos. Esto quiere decir si activa la entrada en vez de hacer la entrada hacia afuera de la pieza, se hace hacia dentro de la pieza.

Para crear la entrada haremos clic en el botón *Apply*.

La entrada está formada por tres región: Bottom(tapa del cilindro), Core (cara lateral del cilindro) y Top(base del cilindro). Para comprobar que se han creado iremos al menú *View -> Selection list*. Aquí aparecerán las tres regiones que forman la entrada.

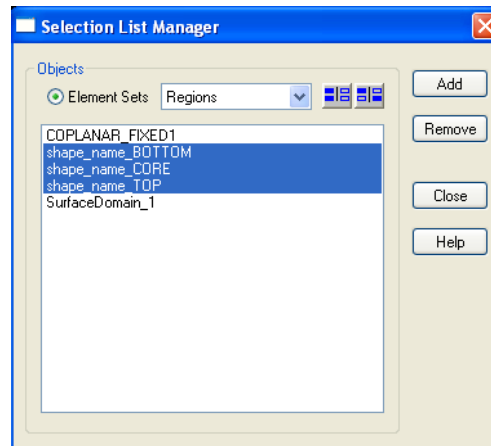


Figura 5.10

En el caso de que nos hayamos equivocado en la definición de cualquier parámetro de la entrada, tenemos que borrar la entrada y volver a crearla ya que no se puede modificar. Para borrar la entrada iremos al menú *View -> Selection list* y seleccionamos las tres regiones pertenecientes a la entrada. Una vez seleccionadas le damos al botón *Add* y, a continuación le damos a la tecla Suprimir. Entonces aparece un mensaje de confirmación para borrar dichas superficies, le damos a *Delete* y se borra la entrada. Una vez borrada la entrada, aparece un agujero en la malla del bebedero ya que ambas piezas estaban conectadas. Para reparar la malla del bebedero, iremos al menú *Model -> Mesh Repair -> Automatic Mesh Fixing*, apareciendo la siguiente ventana:

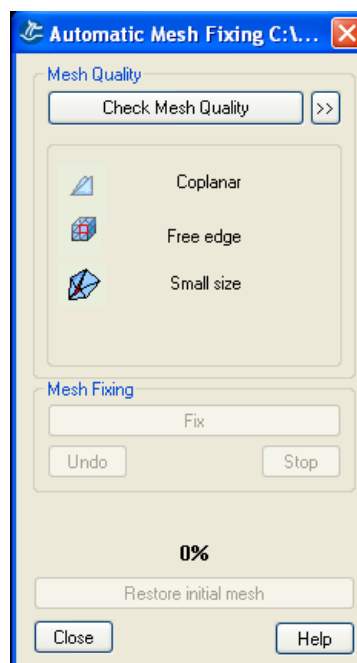


Figura 5.11

Esta opción permite reparar automáticamente la malla. A continuación hacemos clic en *Check Mesh Quality* para ver los fallos que tiene la malla de la pieza. Una vez comprobados los errores se hace clic en el botón *Fix* y la malla se repara automáticamente. Ahora que se ha reparado la pieza se vuelve a crear la entrada.

En algunas ocasiones no podemos colocar la entrada en el punto que queremos. Para solucionarlo, pinchamos en otros puntos de la cara. Realizamos esta acción hasta que podamos crear la entrada donde se quiera. Luego, volvemos a introducir las coordenadas de su ubicación. Si aun así no se ha solucionado, salimos del menú *Inlet* y volvemos a entrar. Empezaremos de nuevo a crear la entrada.

En otras ocasiones, al reparar la malla con la opción *Fix*, se produce una deformación en la pieza. Si ocurre esto tenemos que borrar e importar la pieza ya que no se puede solucionar.

5.4 Creación del molde

Para crear el molde vamos al menú *Model -> Mesh Basic Shapes -> Mold* o hacemos clic en el icono  .

El programa considera molde a la caja exterior del molde real, de manera que para definir sus dimensiones, supone que es un paralelepípedo y se introducen las coordenadas de los puntos extremos respecto al origen de coordenadas del programa.

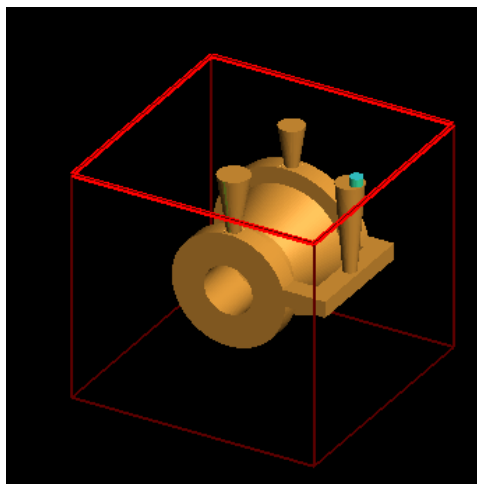


Figura 5.12

Teniendo en cuenta que las dimensiones del molde son 150 x 150 x 140mm, para introducir las posiciones extremas, hay que tener en cuenta donde está situado el origen de coordenadas (ver Figura 5.12). El resultado se muestra en la figura 5.13.

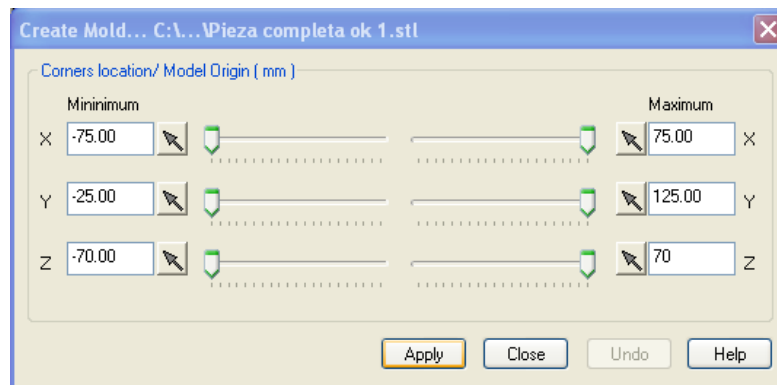


Figura 5.13

Introducidas las medidas, hacemos clic en *Apply* para crear el molde. Si antes de cerrar esta ventana se observa algún error en las dimensiones del molde se puede corregir. Para ello haremos clic en el botón *Undo* para deshacer el molde.

Si vamos al menú *View -> Selection List* observamos que ahora se ha creado la siguiente región perteneciente al molde: **MOLD_SURFACE_1**.

Como en casos anteriores, una vez cerrada la ventana de creación de molde observamos algún fallo en el molde, éste no se puede modificar, por lo que hay que eliminarlo. Para ello haremos igual que para borrar la entrada pero ahora seleccionamos la región **MOLD_SURFACE_1**.

5.5 Creación de volúmenes

Los volúmenes son cada una de cavidades cerradas que forman las regiones.

Para crear los volúmenes iremos al menú *Model -> Domains Manager*, apareciendo la siguiente ventana:

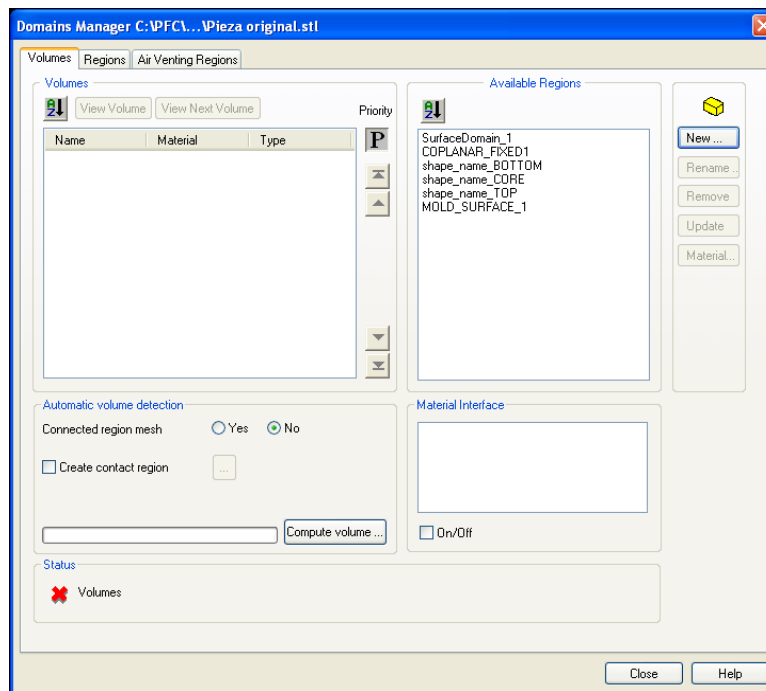


Figura 5.14

En nuestro caso solo utilizamos la pestaña *Volumes*, puesto que solo crearemos los volúmenes. Esta pestaña está dividida en seis partes:

- *Volumes*: está situada en la parte superior izquierda, muestra el listado con los volúmenes existentes.
- *Available Regions*: está situada en la parte superior derecha, muestra el listado de las regiones disponibles o superficies que se han ido creando o añadiendo.
- *Automatic volumen detection*: está situada en la parte inferior izquierda, muestra diferentes opciones para crear de forma automática los volúmenes.
- *Material Interface*: está situada en la parte inferior derecha y muestra el interfaz de materiales de los volúmenes que se creen. Inicialmente, y mientras no haya volúmenes creados, esta opción estará desactivada.
- *Status*: está situada en la parte inferior, este apartado nos indica si los volúmenes y materiales están bien definidos.
- Por último, en la parte superior derecha, tenemos el panel que nos permite crear, borrar y modificar los volúmenes de manera manual y el definir los materiales.

Para crear los volúmenes, intentaremos que el programa los reconozca de manera automática. Para ello, lo primero es asegurarnos que en el apartado *Automatic volume detection*, *Connected Regions Mesh* está seleccionada la opción *No*, ya que esta opción permite conectar todas las regiones del modelo, creando así un único volumen.

A continuación, y dentro del apartado *Automatic volume detection*, activamos la casilla *Create Contact Region*. Esta opción permitirá crear las regiones de contacto entre todas las piezas del modelo. Luego hacemos clic en el botón

Compute volume ...

para crear los volúmenes. Antes de crear los volúmenes, el programa

redefinirá las regiones existentes y creará unas regiones nuevas en las zonas de contacto entre regiones. A continuación se crean los volúmenes en función de las nuevas regiones.

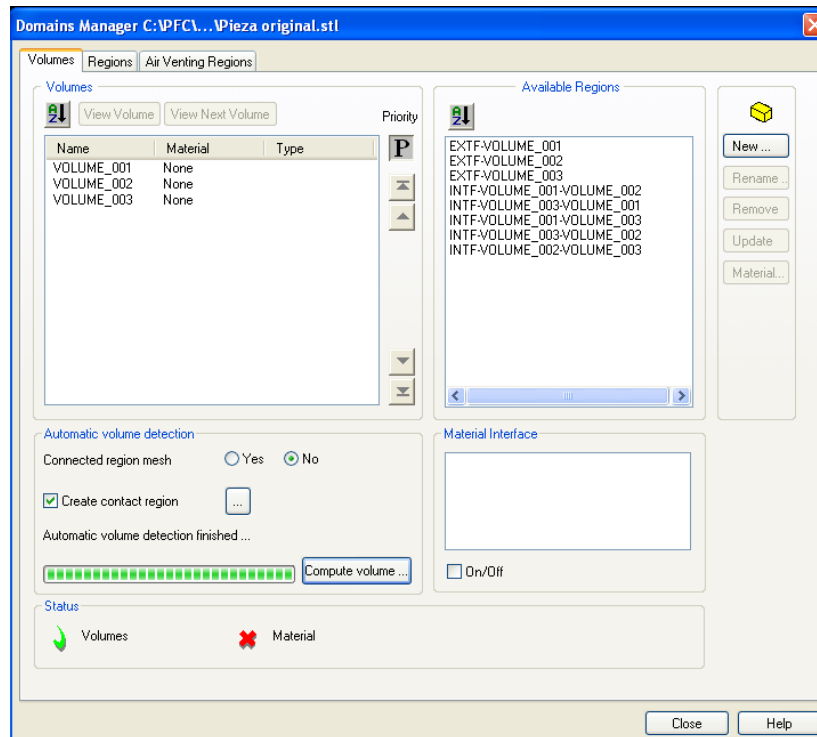


Figura 5.15

También aparece una ventana que permite conservar la definición de las antiguas regiones. Si no borramos las antiguas regiones, estas siguen apareciendo pero no tienen ninguna relación con los volúmenes. En nuestro caso, hacemos clic en *Remove* ya que no queremos conservarlas.

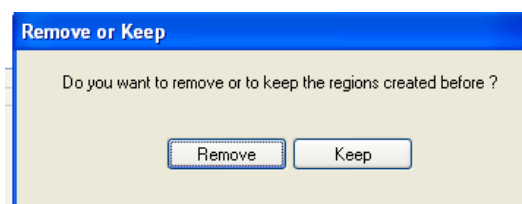


Figura 5.16

Ahora, en el apartado *Volumes* aparecen los volúmenes que se han creado. Se pueden observar tres volúmenes que pertenecen a la entrada, la pieza y al molde. Para visualizar si están bien los volúmenes, utilizamos los botones situados encima de la lista de volúmenes. Si se hace clic en cualquier volumen se observan las regiones que conforman el volumen ya que aparecen sombreados en la lista de regiones. El volumen 1 es la entrada (Figura 5.17), el volumen 2 es la pieza (Figura 5.18) y el volumen 3 es el molde (Figura 5.19).

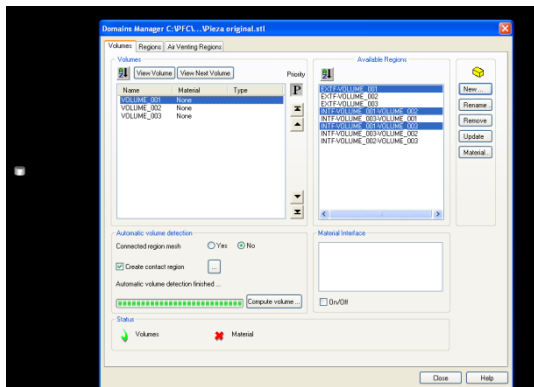


Figura 5.17

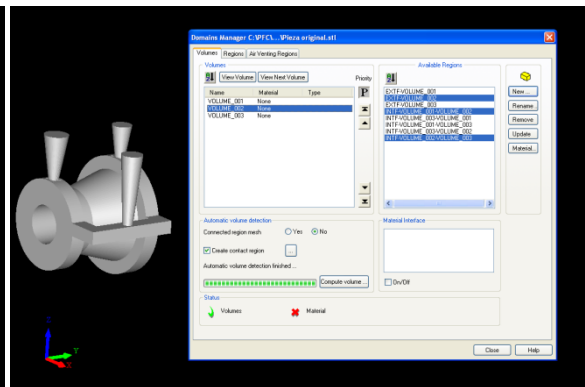


Figura 5.18

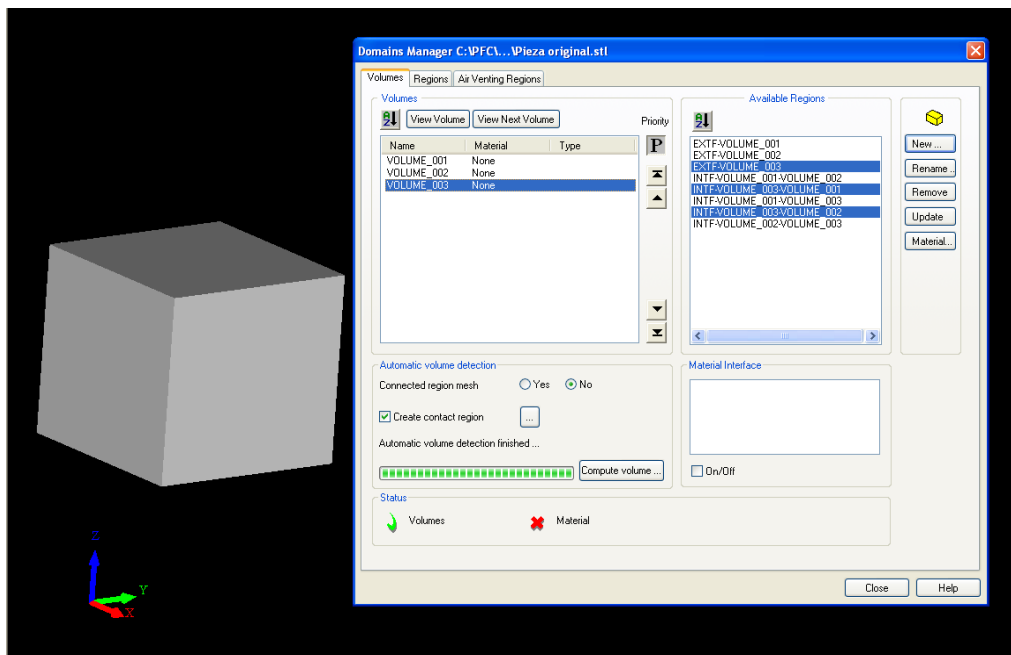


Figura 5.19

Es conveniente cambiar el nombre genérico de los volúmenes para distinguirlos fácilmente. Para ello hay que seleccionar el volumen y hacer clic en el botón *Rename*, aparece una ventana donde escribimos el nuevo nombre.

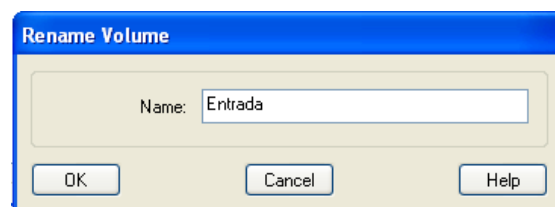


Figura 5.20

El siguiente paso es asignar el material para cada volumen. Para ello se selecciona el volumen Molde y haciendo clic en *Material* y aparece la siguiente ventana:

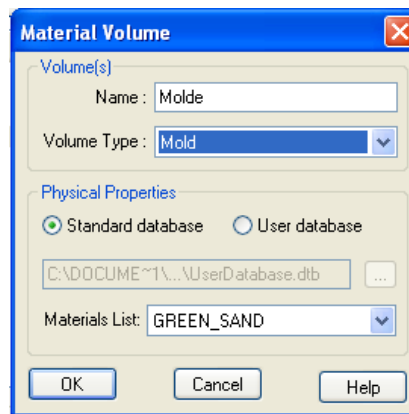


Figura 5.21

En el apartado *Volume Type* se selecciona *Mold* y en *Material List* elegimos el material. En nuestro caso es *GREEN_SAND*, dado que el molde es de arena. Luego hacemos clic en *Ok*

Para seleccionar el material de la pieza, se selecciona el volumen pieza y en el apartado *Volume Type* se selecciona *Alloy*. En *Material List* se elige el material, que en nuestro caso es *AlSi7Mg*, y se hace clic en *Ok*. A continuación aparece un mensaje diciendo que todos los volúmenes restantes también serán del mismo material.

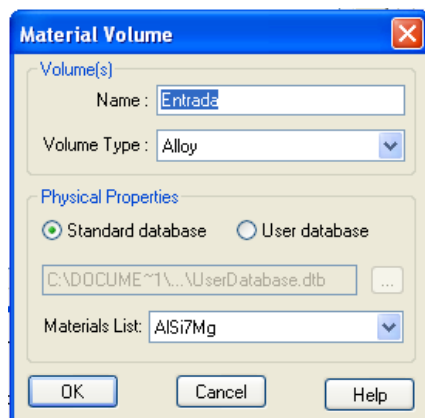


Figura 5.22

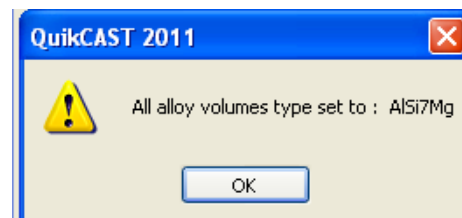


Figura 5.23

Por último hay que ordenar los volúmenes por el orden de llenado, dejando al final los volúmenes pertenecientes al molde. En este caso se ordena de la siguiente manera: entrada, pieza y molde.

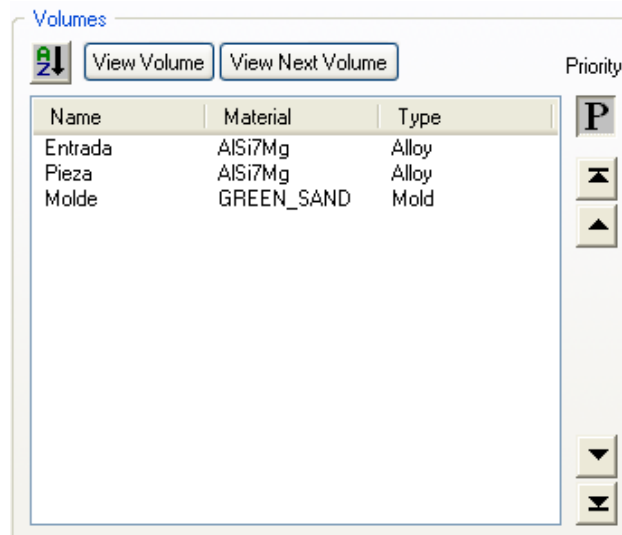


Figura 5.24

Comprobamos en el panel de *Status* que los volúmenes y los materiales se encuentren bien definidos si aparece en ambos un tic verde.

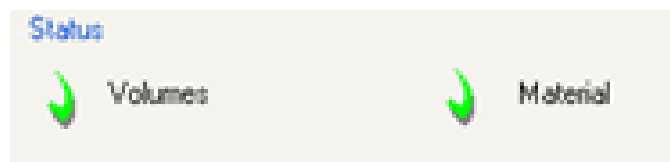


Figura 5.25

5.6 Generar la malla

La siguiente etapa es generar la malla de la pieza. Esta malla la utiliza QuikCast para la simulación del llenado y solidificación de la pieza. Por este motivo, conforme la malla sea más pequeña, más precisos serán los resultados pero más tiempo tardará el programa en realizar los cálculos.

Para ello vamos al menú *Model -> 3D Grid/Mesh Generation* y aparece la siguiente ventana:

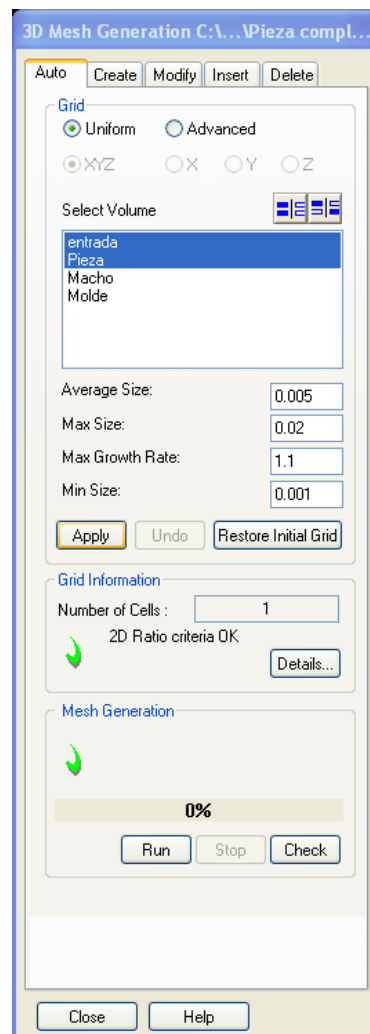


Figura 5.26

En esta ventana, si queremos que la generación de malla sea de forma automática (como es el caso), activaremos la pestaña *Auto*. Aunque la generación es automática, se puede modificar el tamaño de la malla. Para ello, está la opción *Uniform*, que es la seleccionada, para que realice una división uniforme de la malla en los 3 ejes. Si queremos que cada eje sea diferente, seleccionaremos *Advanced*.

En el apartado *Select volumen*, hay que seleccionar de la lista de todos los volúmenes aquellos que pertenezcan solo a la pieza, que en nuestro caso son *entrada* y *pieza*.

En los siguientes apartados se muestran los valores máximos y mínimos del tamaño de la malla. Estos valores se pueden modificar para variar su tamaño, pero en nuestro caso dejamos los valores que vienen por defecto.

A continuación hacemos clic en el botón *Apply* para obtener el número de celdas en las que se dividirá la pieza. Una vez realizado aparece en el apartado *Grid Information* el número de celdas y, si se ha realizado de forma correcta, aparece un tic verde.

Luego vamos al apartado *Mesh Generation* donde generamos la malla. Para ello pulsamos el botón *Run* y, una vez terminado, aparece un tic verde que indica que se ha realizado de forma correcta. Para terminar cerramos la ventana haciendo clic en el botón *Close*.

En esta ventana pueden aparecer diferentes errores:

- Si en el apartado *Mesh Generation* aparece una cruz roja puede ser porque no se hayan creado bien los volúmenes de la pieza al no haber activado la opción *Create Contact Region*. Para solucionarlo iremos al menú *Model -> Domains Manager* y comprobaremos que la opción *Create Contact Region* esté activada, y volveremos a crear los volúmenes.
- Otro error puede ser que el tamaño de la malla no sea el adecuado para la geometría de la pieza. Para solucionar esto, modificaremos el tamaño de la malla cambiando el valor de la casilla de *Average Size*.
- Si aparece un tic rojo en el apartado *Grid Information* es porque el valor en el apartado *Max Growth Rate* no es el adecuado. Para solucionarlo introducimos en esta casilla el valor que muestra el programa al lado de la cruz roja.

5.7 Imposición de las condiciones de contorno

5.7.1 Gravedad

El primer punto en las condiciones de contorno, es comprobar la dirección que lleva la gravedad. En nuestro caso es importante este apartado puesto que realizamos un llenado por gravedad. Por este motivo, configuramos la gravedad en la dirección adecuada teniendo en cuenta dos aspectos: la dirección que llevan los ejes en la pieza y la dirección que llevará el fluido en la entrada de la pieza.

Para ello vamos al menú *Process -> Gravity* y aparece la siguiente ventana:

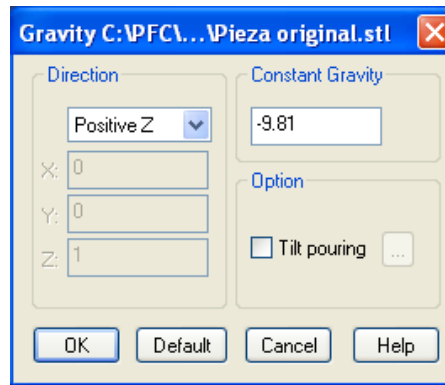


Figura 5.27

Esta ventana está dividida en tres apartados:

- El apartado *Direction* muestra la dirección que lleva la gravedad y permite modificarla. Por defecto aparece la dirección Z positiva, en nuestro caso no la modificamos.
- En el apartado *Constant Gravity* se muestra el valor de la gravedad. Este valor se puede modificar, por defecto tiene el valor de -9.81m/s^2 . En nuestro caso dejamos el valor por defecto.
- Por último, en el apartado *Option* se muestra la opción *Tilt Pouring*. Esta opción permite modificar el grado de inclinación que tiene el molde en el momento del llenado. En nuestro caso no activaremos esta opción.

5.7.2 Condiciones de contorno

A continuación definimos las condiciones de contorno del modelo. Estas condiciones permiten imponer límites en el modelo virtual para que se asemeje al modelo real.

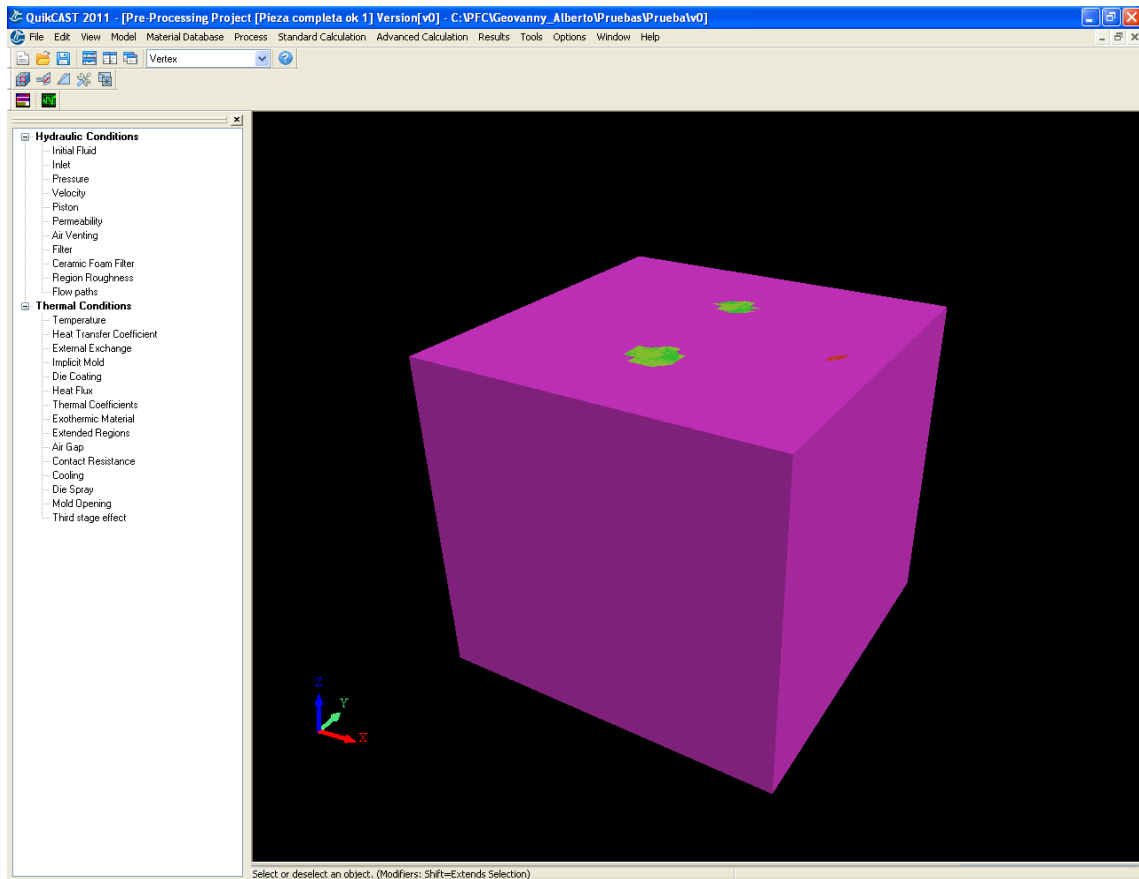


Figura 5.28

Existen dos tipos de condiciones de contorno: las hidráulicas y las térmicas. Las condiciones hidráulicas hacen referencia a las condiciones del fluido y las térmicas hacen referencia a las propiedades que tienen que ver con las temperaturas, intercambio de calor, etc.

Para sacar la lista con las condiciones de contorno iremos al menú *Process* -> *Input Data Check*. Aparecerá en la parte izquierda del área de trabajo una lista con todas las condiciones disponibles.

Para añadir, modificar o eliminar una condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. A continuación elegiremos la opción que se quiera realizar.

- Condiciones hidráulicas.

En nuestro caso vamos a introducir las siguientes condiciones: *Initial Fluid*, *Velocity*, *Permeability* y *Region Roughness*. En todas las condiciones se puede introducir el nombre de la condición en el apartado *Name*.

- *Initial fluid*: esta condición permite indicar el lugar por donde se inicia el llenado.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

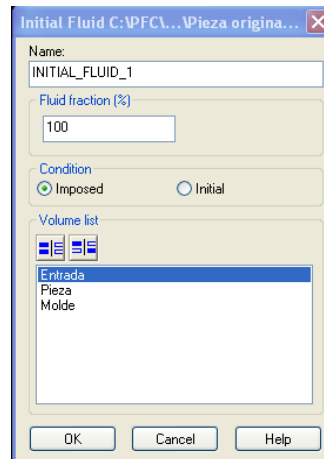


Figura 5.29

En el apartado *Fluid fraction* se introduce el 100% ya que se considera que, por el volumen entrada, pasa toda la colada en forma líquida. Luego seleccionamos la opción *Imposed*. Esta opción permite que la entrada se mantenga llena en todo momento. A continuación iremos al área de trabajo y seleccionamos la entrada con el botón izquierdo del ratón. Seleccionamos este volumen porque por ahí entra la colada. Comprobamos que en el apartado *Volume list* este seleccionada la Entrada y le damos a *OK*.

- *Velocity*: esta condición permite imponer la velocidad de llenado.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

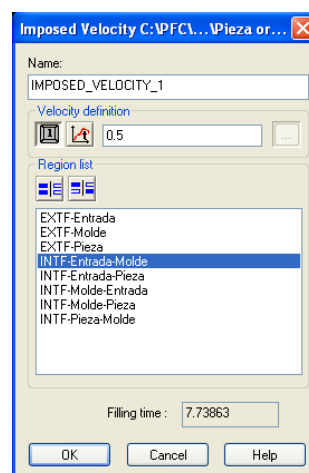


Figura 5.30

En el apartado *Velocity* se introduce la velocidad de llenado del molde en m/s. Esta velocidad se puede definir de dos formas: si elegimos el botón  tendrá un valor fijo; si elegimos el botón  podemos introducir una ecuación, de esta manera tendrá un valor variable. En nuestro caso introducimos el valor fijo de 0.5 m/s.

A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos, con el botón izquierdo del ratón, la parte superior de la entrada. Seleccionamos esta región porque entrara por ahí la colada Comprobamos que en el apartado *Region list* este seleccionada la opción *INTF-Entrada-Molde* y le damos a OK.

- *Permeability*: esta condición permite simular el escape del aire a través del molde.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

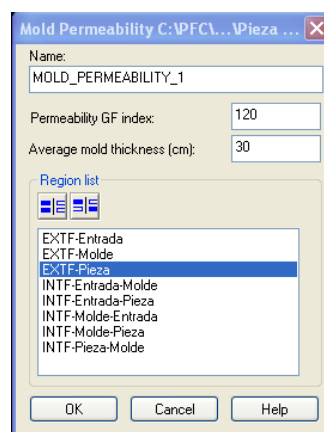


Figura 5.31

El apartado *Permeability GF Index* muestra la permeabilidad del molde basándose en el índice de Georges Fisher. Este índice aparece por defecto según el material del molde. En nuestro caso dejaremos el valor por defecto.

En el apartado *Average Mold thickness* se introduce el espesor medio del molde en cm. Este espesor será el que tiene el molde con respecto a la pieza, eligiendo para nuestro caso el valor de 30 cm.

A continuación, en el área de trabajo seleccionamos la parte exterior de la pieza porque en esta región se produce el intercambio de gases entra la cavidad y el molde, es decir, en el apartado *Region List* seleccionamos *EXTF-Pieza* y le damos a OK.

- *Region Roughness*: esta condición permite simular la rugosidad que hay en el interior del molde.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

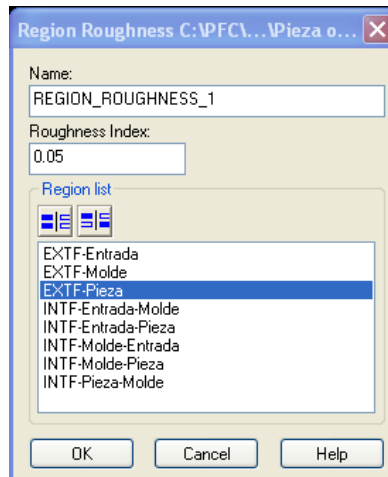


Figura 5.32

En el apartado *Roughness Index* se muestra el valor de la rugosidad del molde. Este valor aparece por defecto dependiendo del material del molde que elijamos.

A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos la parte exterior de la pieza porque es en esta región donde la rugosidad del molde afecta al proceso de llenado, es decir, en el apartado *Region List* estará seleccionada la opción *EXTF-Pieza* y le damos a *OK*.

- Condiciones térmicas

En nuestro caso vamos a introducir las siguientes condiciones: *Temperature*, *External Exchange* y *Contact Resistance*. En todas las condiciones se puede introducir el nombre de la condición en el apartado *Name*.

- *Temperature*: esta condición permite indicar la temperatura que va a tener el material fundido en el volumen entrada.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

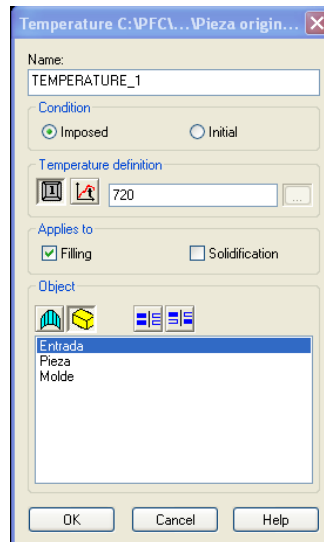


Figura 5.33

En el apartado *Condition* elegimos la opción *Imposed*. De esta forma se mantendrá esa temperatura durante toda la etapa que elijamos.

El apartado *Temperature definition* muestra el valor de la temperatura. Esta temperatura se puede definir de dos formas: si elegimos el botón  tendrá un valor fijo; si elegimos el botón  podemos introducir una ecuación, de esta manera tendrá un valor variable. Esta temperatura, por defecto, tiene un valor que viene definido por el material de la aleación. En nuestro caso dejamos el valor por defecto.

En el apartado *Applies to* activamos solo la opción *Filling* ya que, queremos aplicar esa temperatura solo durante el proceso de llenado.

A continuación, y dado que el área de trabajo es la entrada, comprobamos que en el apartado *Object*, está seleccionada la opción *Entrada*, y le damos a *OK*.

- *External Exchange*: esta condición permite indicar la transferencia de calor que se produce entre el molde y el exterior.
Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

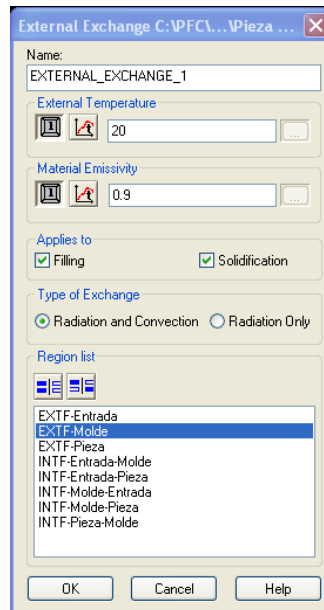


Figura 5.34

En el apartado *External Temperature* se muestra el valor en °C de la temperatura exterior. En nuestro caso elegimos el valor de 20°C.

En *Material Emissivity* se muestra el valor del coeficiente de emisividad que tiene el material del molde con el exterior. Este coeficiente es un numero adimensional. El valor de la emisividad, por defecto, viene dado por el material del molde. En nuestro caso dejamos el valor por defecto.

En el apartado *Applies to* activamos la opción *Filling* y *Solidification* ya que, el intercambio de calor afecta a las dos etapas.

En el apartado *Type of Exchange* se puede elegir el tipo de intercambio que se tiene en cuenta. En nuestro caso elegimos la opción *Radiation and Convection* puesto que se producen ambos tipos en nuestra pieza.

Por último, seleccionamos la región exterior del molde, es decir, en *Region List* tiene que estar seleccionada *EXFT-Molde*. Le damos a *OK*.

- *Contact Resistance*: esta condición se utiliza para imponer la resistencia térmica que se produce por estar en contacto una región.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

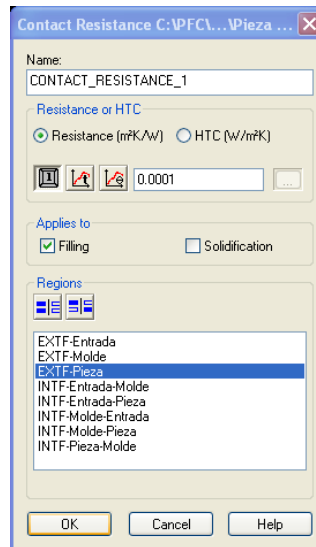


Figura 5.35

En el apartado *Resistance or HTC* permite elegir el tipo de contacto que se produce. Dependiendo de la opción elegida las unidades varían. Estas unidades aparecen en cada apartado.

En nuestro caso, elegimos la opción *Resistance* ya que el intercambio de calor se produce por una resistencia térmica. El valor que se muestra viene dado por defecto dependiendo del material de la pieza. Este valor se puede definir de dos formas: si elegimos el botón  tendrá un valor fijo; si elegimos el botón  podemos introducir una ecuación, de esta manera tendrá un valor variable. En nuestro caso dejamos el valor por defecto.

En el apartado *Applies to* activamos solo la opción *Filling* ya que, queremos aplicar esa condición solo durante el proceso de llenado.

A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos la pieza. Comprobamos que en el apartado *Regions* esté seleccionada la opción *EXFT-Pieza* y le damos a *OK*.

5.8 Cálculos de resultados

A continuación iniciamos los cálculos de los resultados. Para ello iremos al menú *Standard Calculation -> Calculation Start* y aparece la siguiente ventana:

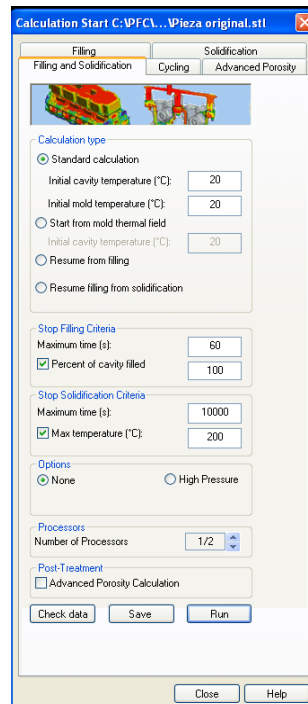


Figura 5.36

En esta ventana elegimos la pestaña *Filling and Solidification* puesto que queremos obtener los cálculos para el llenado y la salificación. Esta ventana muestra los siguientes apartados:

- *Calculation type*: permite elegir el método de cálculo y las temperaturas iniciales. En nuestro caso elegimos la opción *Standard calculation*. Introducimos el valor 20°C tanto para el molde como para la cavidad del molde.
- *Stop Filling Criteria*: sirve para definir los parámetros de parada para los cálculos de llenado. Los cálculos se paran cuando hayamos sobrepasado el tiempo de llenado o cuando sobrepasemos el porcentaje de llenado que previamente hemos introducido en este panel. En nuestro caso dejamos los valores por defecto.
- *Stop Solidification Criteria*: sirve para definir los parámetros de parada para los cálculos de solidificación. Los cálculos se paran cuando sobrepasemos el tiempo de solidificación o la temperatura sea inferior a la que previamente hemos introducido en este panel. En nuestro caso dejamos por defecto el valor del tiempo máximo. Solo se cambia la temperatura máxima a 200 °C.
- *Options*: en este apartado seleccionamos la opción *None* ya que se trabaja en una fundición por gravedad.

En el resto de apartados dejamos las opciones que vienen por defecto.

Una vez que ya hemos introducido todos los parámetros le damos al botón *Run*. A continuación QuikCast empezará a realizar los cálculos. Aparecerá la siguiente ventana que indicara los progresos que llevan los cálculos para cada proceso.

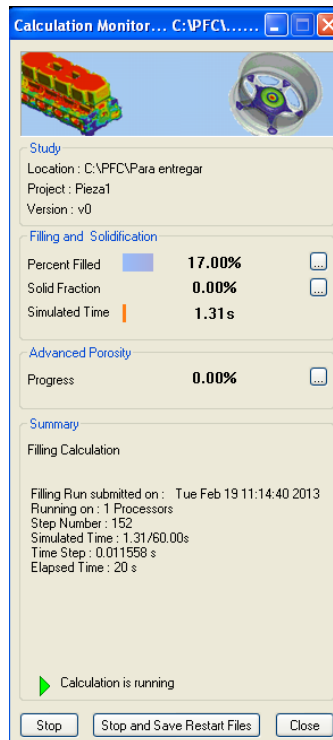


Figura 5.37

Una vez que los cálculos han terminado aparece un mensaje indicando que han finalizado. El programa creará un archivo de resultados donde solo aparecen los resultados. Este archivo mantiene el mismo nombre del estudio pero tiene la extensión ``.mco``.

5.9 Resultados

Una vez que se han completado los cálculos tanto de llenado como de solidificación el último paso es ver los resultados.

Para ello, abrimos el archivo de resultados creado por el programa. Para ello vamos al menú *File* -> *Open* y seleccionamos el archivo con extensión ``.mco``. El programa crea el archivo con el mismo nombre que el estudio. Aparece una ventana donde elegimos los volúmenes que queremos abrir. Para ello seleccionamos la pieza y la entrada y dejamos marcada la opción *Use Smoothing Mesh*. Si no marcamos esta opción la pieza se abrirá con la forma de la malla.

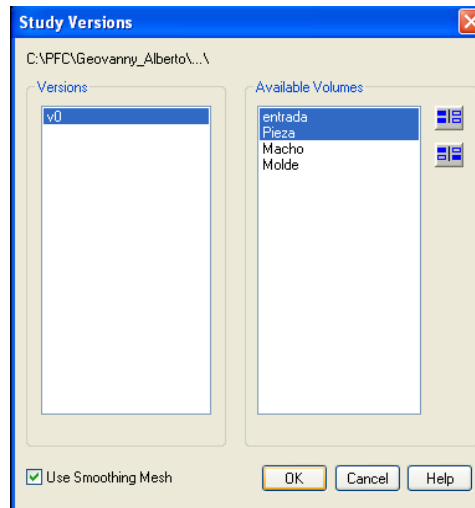


Figura 5.38

Una vez que hemos abierto el archivo iremos al menú *results*. Ahora en este menú ya están disponibles todas las formas de ver los resultados.

Si vamos al menú *results* -> *Mesh Correction Factors...* aparecerá una ventana (ver figura 5.39) en la que eligiendo la opción *volumen*, muestra el porcentaje de aleación que tiene cada celda de la malla de volumen que habíamos creado.

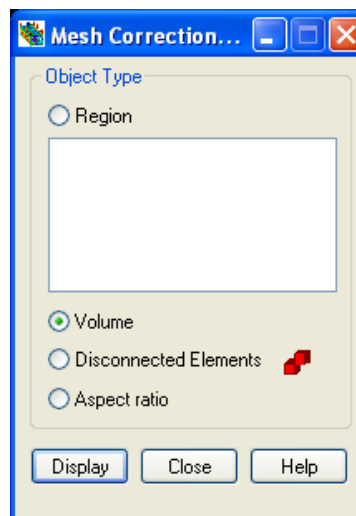


Figura 5.39

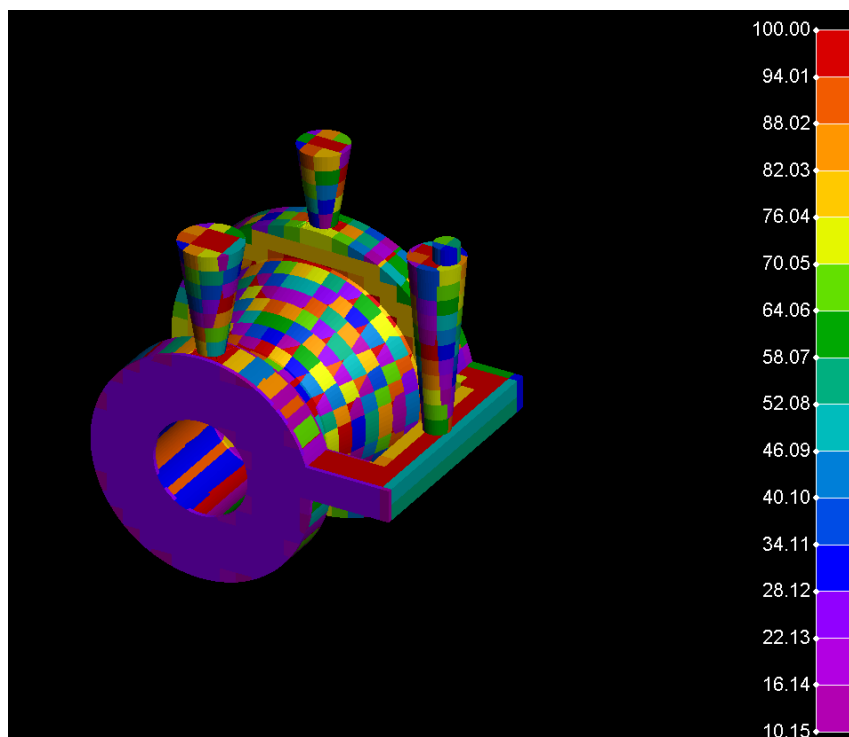


Figura 5.40

Si vamos al menú el *Filling / Solidification* aparece una ventana que permite ver las distintas etapas de los procesos de llenado y de solidificación de la pieza. En la opción *Type* seleccionamos el proceso que queremos ver; en *Results Type* elegimos la variable a analizar; y si se encuentra activada la opción de *Show Liquid*, se pueden ver las zonas con líquido. Se pueden activar o desactivar en función de los procesos que se quieran ver.

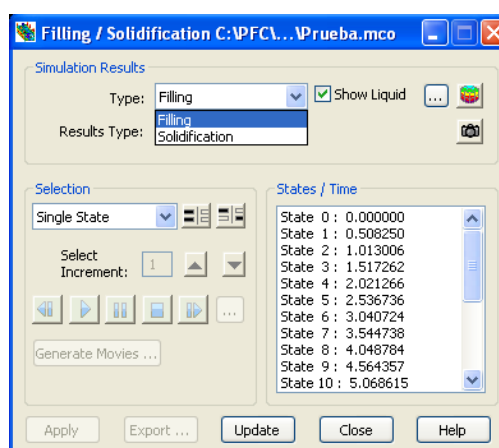


Figura 5.41

Si elegimos el proceso de llenado (*Filling*) tenemos las siguientes opciones:

- *Fill Rate*: muestra el llenado de la pieza.
- *Temperature*: muestra la temperatura durante el llenado.
- *Pressure*: muestra la presión en la pieza durante el llenado.
- *Velocity*: muestra la velocidad del flujo durante el llenado.
- *Fill time*: muestra que partes se han llenado durante un determinado tiempo.

Si elegimos el proceso de solidificación (*Solidification*) tenemos las siguientes opciones:

- *Liquid Fraction*: muestra la parte líquida que hay en la pieza.
- *Temperature*: muestra la temperatura durante la solidificación.
- *Shrinkage*: muestra la contracción que se producen en la pieza.
- *Solid Fraction*: nos muestra la parte sólida que hay en la pieza.

Para ver los resultados, podemos ir fijando en cada una de las etapas seleccionando la etapa que queremos ver en la lista de la derecha. También podemos seleccionarla todas y con la opción *multiple state* y dándole al botón *generate movies* podemos verlo en forma de video. Si queremos guardar el video activaremos la opción *create an AVI File*. Hacemos clic en *generate*.

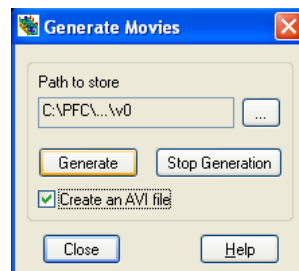


Figura 5.42

Si vamos al siguiente menú *results* -> *process Synopsis* aparecerá la siguiente ventana:

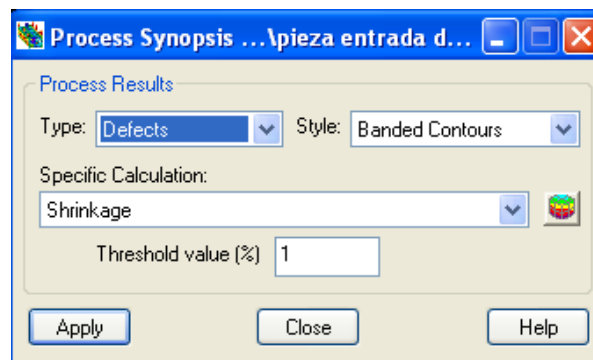


Figura 5.43

En esta pantalla se puede elegir los resultados que queremos analizar:

- *Defects*: muestra los resultados relacionados con los cálculos de predicción de defecto.
 - *Shrinkage*: proporciona información sobre la contracción en la aleación. Se observa las contracciones que sufre la pieza cuando ya se ha solidificado (ver figura 5.44).

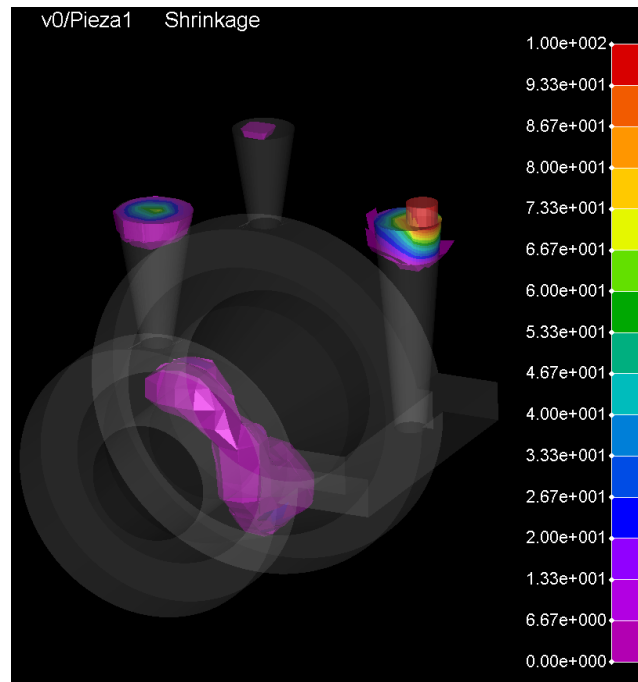


Figura 5.43

- *Dendritic Arm Spacing*: informa sobre la micro estructura de la aleación.
 - *Niyama Criterion*: calcula según el criterio de Niyama. Informa sobre la porosidad de la aleación.
 - *Solidification Rate*: calcula la velocidad de enfriamiento.
 - *Volume Fraction of Gas Porosity*: proporciona información acerca de la micro porosidad del gas
- *Solidification*: muestra los resultados con el final de los cálculos de la solidificación.
 - *Time to Solidus*: proporciona el tiempo que necesita la aleación para alcanzar la temperatura de solido
 - *End of Calculation temperature*: proporciona información sobre la temperatura el final de los cálculos.
 - *Time to Critical Solid Fraction*: proporciona el tiempo que necesita la aleación para alcanzar el valor crítico de la fracción solida.
 - *Time to Eutectic Temperature*: tiempo que tarda la aleación en alcanzar la temperatura eutéctica.

- *Temperature Gradient at Eutectic Temperature*: informa sobre los gradientes térmicos en la aleación a la temperatura eutéctica.
- *Temperature Gradient at Solidus – Degrees Celsius*: informa sobre los gradientes térmicos en la aleación en la fase sólida.
- *Local Cooling Rate*: informa sobre la velocidad de enfriamiento
- *Solidification Time*: muestra el tiempo de solidificación.

En esta opción se muestra de forma gráfica cuanto tiempo tarda en solidificarse cada zona de la pieza (ver figura 5.44).

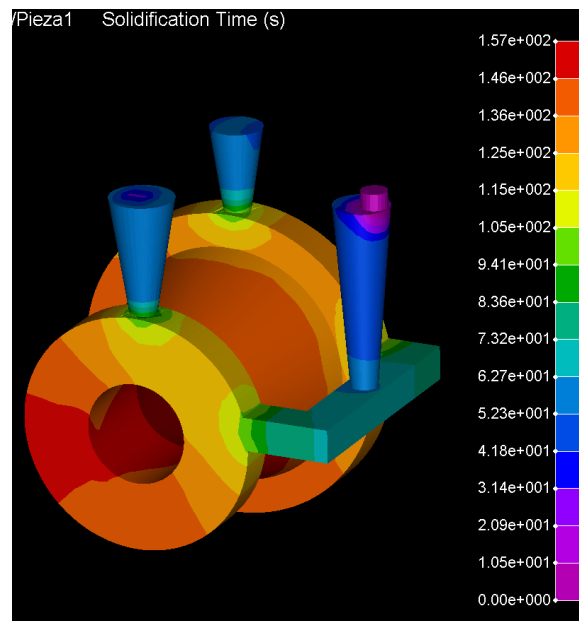


Figura 5.44

En la opción Style podemos cambiar la forma de visualizar los resultados de la pieza.

Capítulo 6: Guión alumno

6.1 Creación de un nuevo estudio

Abrimos el programa QuikCast y creamos un nuevo estudio. Para ello vamos al menú *File* -> *New* o iremos al icono  en la barra de herramientas, apareciendo la siguiente ventana:

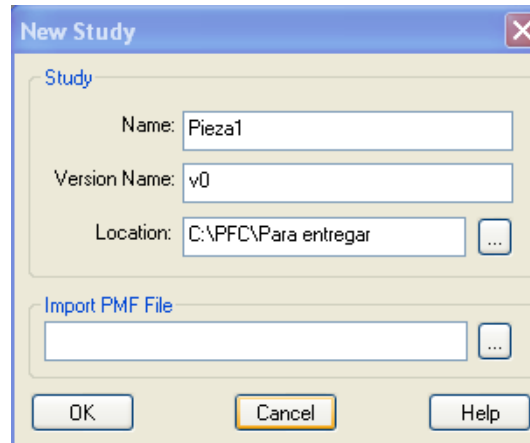


Figura 6.1

En el apartado *Name* introducimos el nombre que se quiera dar al estudio. A continuación vamos al apartado *Location* y hacemos clic en el botón  para elegir la ubicación donde se guarda el estudio. Hacemos clic en *Ok*.

A continuación se abre una ventana donde buscamos el archivo de diseño. Luego hacemos clic en *Open* para abrir la pieza en el área de trabajo. Apareciendo ahora otra ventana donde se eligen las opciones de importación del archivo.

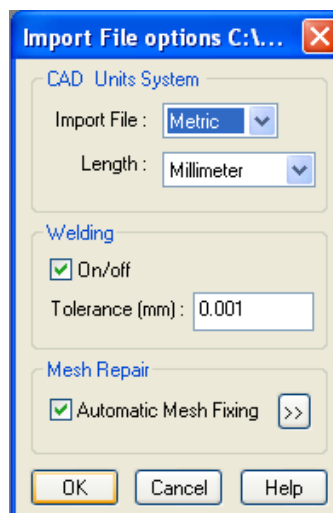


Figura 6.2

En los apartados *Import File* y *Lengh* se elige *Metric* y *Milimeter* respectivamente.

A continuación activamos la opción *Automatic Mesh Fixing*. Para terminar hacemos clic en *Ok*. Luego aparece una ventana que indica los errores que se han encontrado en la geometría de la pieza. Para reparar los errores automáticamente hacemos clic en *Yes*.

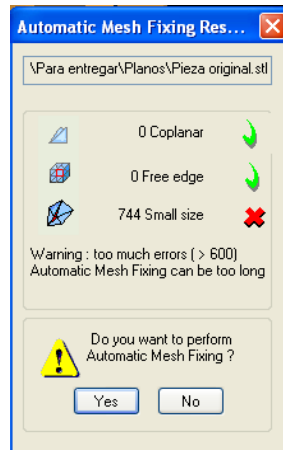


Figura 6.3

Ahora ya se puede observar que la pieza se ha abierto en el área de trabajo.

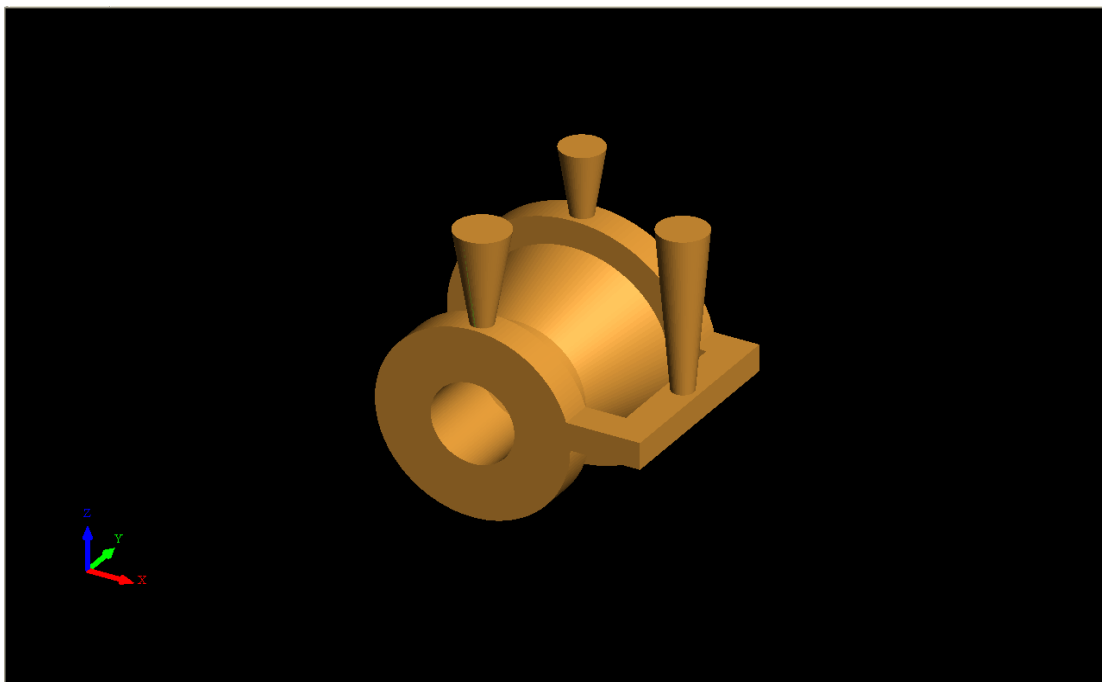


Figura 6.4

6.2 Creación de la entrada

Para crear la entrada hay que ir al menú *Model -> Mesh Basic Shapes -> Inlet* o ir directamente al icono . Aparece la siguiente ventana:

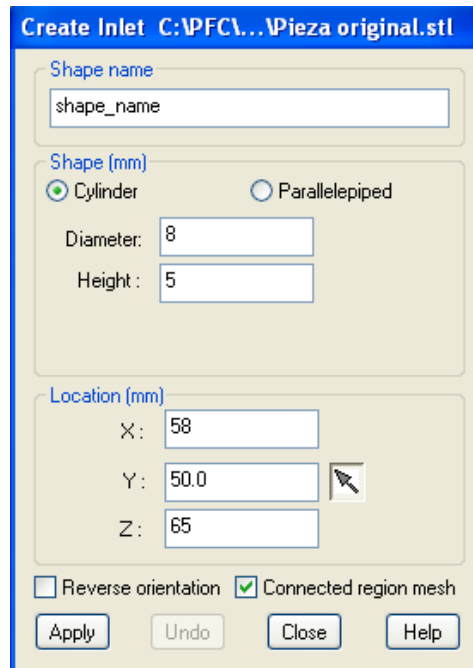


Figura 6.5

En esta ventana tenemos las opciones geométricas y de ubicación de la entrada. Vamos al apartado *Shape* y elegimos la opción *Cylinder*. En este apartado introducimos las siguientes dimensiones:

- Diámetro= 8 mm
- Altura= 5 mm

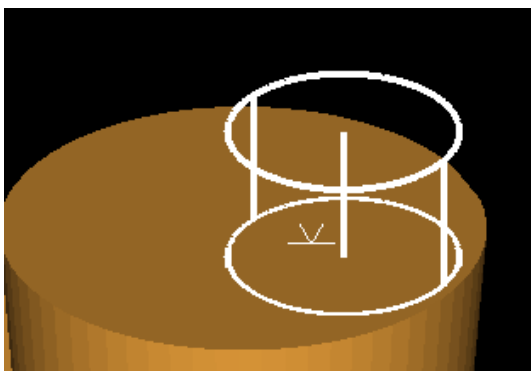


Figura 6.6

A continuación definimos las coordenadas de la ubicación de la entrada en el apartado *Location*. Para colocar la entrada pinchamos en la parte superior del bebedero y, a continuación introducimos las siguientes coordenadas:

X=58

Y=50

Z=65.

Luego tenemos que activar la casilla *Connected region mesh*. Para terminar pulsamos en el botón *Apply*.

6.3 Creación del molde

Para crear el molde vamos al menú *Model -> Mesh Basic Shapes -> Mold* o hacemos clic en el icono . A continuación aparece la siguiente ventana:

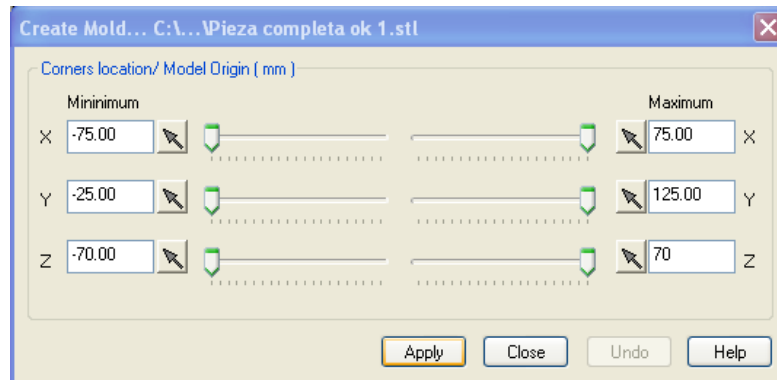


Figura 6.7

Las dimensiones de nuestro molde van a ser 140x150x150 mm. Para definir el molde en QuikCast hay que introducir la distancia de la base, la tapa y las caras respecto al origen de coordenadas de la pieza. Por ello introducimos las dimensiones que aparecen en la Figura 6.7. Hacemos clic en *Apply* y el programa crea el molde.

6.4 Creación de los volúmenes

A continuación creamos los volúmenes. Para ello iremos al menú *Model -> Domains Manager*. Aparecerá la siguiente ventana:

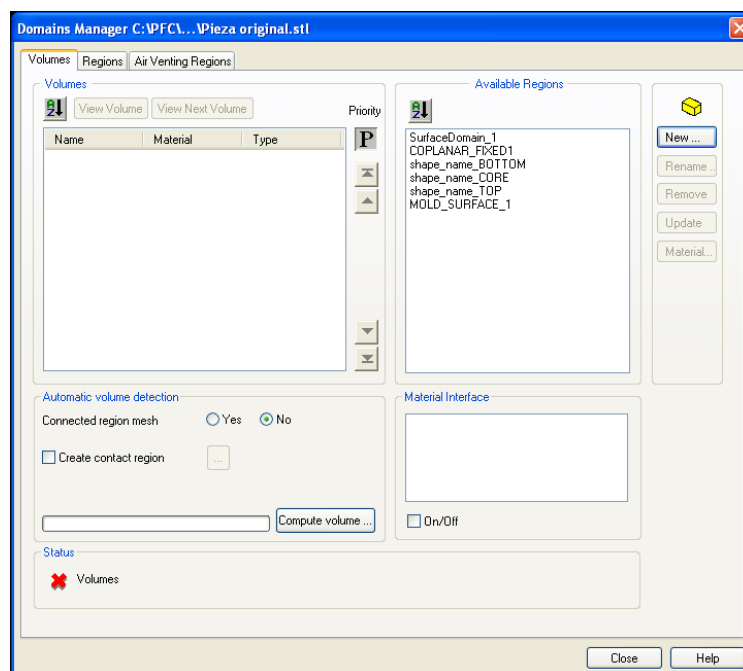


Figura 6.8

Lo primero que haremos es ir a la opción *Connected Regions Mesh* y seleccionar la opción *No*. A continuación activamos la casilla *Create Contact Region* en el apartado *Automatic volume detection* y luego hacemos clic en el botón **Compute volume ...** para crear los volúmenes automáticamente.

Una vez que se han creado aparece una ventana emergente. En esta ventana seleccionamos la opción *Remove*.

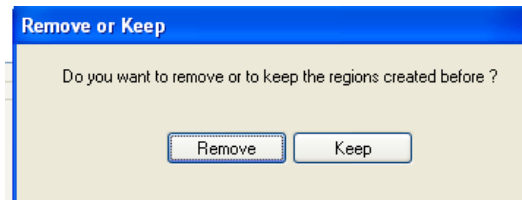


Figura 6.9

Ahora, en el apartado *Volumes* aparecen los volúmenes que se han creado. Se pueden observar tres volúmenes que pertenecen a la entrada, la pieza y al molde. Para visualizar si están bien los volúmenes, utilizamos los botones situados encima de la lista de volúmenes. Si se hace clic en cualquier volumen se observan las regiones que conforman el volumen ya que aparecen sombreados en la lista de regiones. El volumen 1 es la entrada (Figura 6.10), el volumen 2 es la pieza (Figura 6.11) y el volumen 3 es el molde (Figura 6.12).

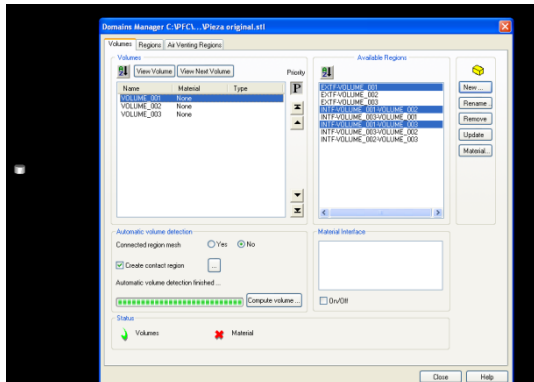


Figura 6.10

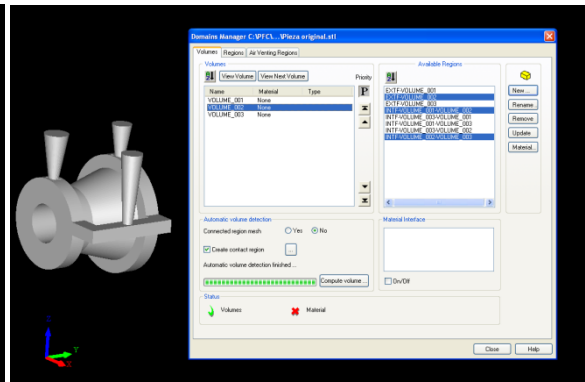


Figura 6.11

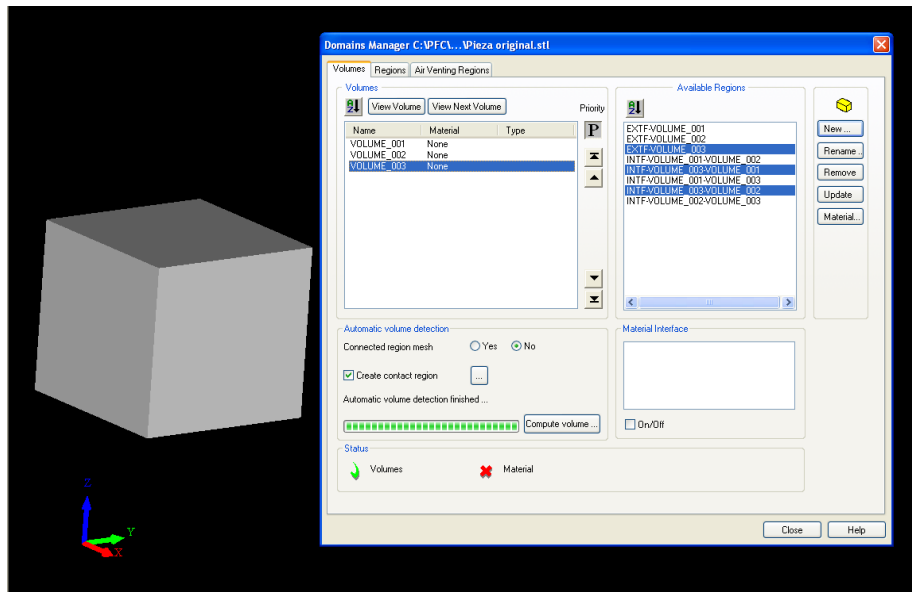


Figura 6.12

En este caso el programa crea tres volúmenes. A continuación renombramos los volúmenes para poder distinguir los diferentes volúmenes. Para ello seleccionamos el volumen y hacemos clic en el botón *Rename*. Aparece una ventana donde escribimos el nuevo nombre.

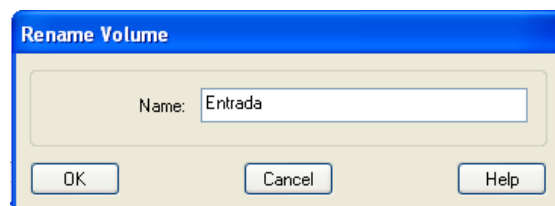


Figura 6.13

Los nombres que introducimos en los volúmenes son los siguientes:

Volumen_001= Entrada;

Volume_002= Pieza;

Volume_003 3= Molde.

El siguiente paso es asignar el material para cada volumen. Para ello se selecciona el volumen Molde y haciendo clic en *Material* y aparece la siguiente ventana:

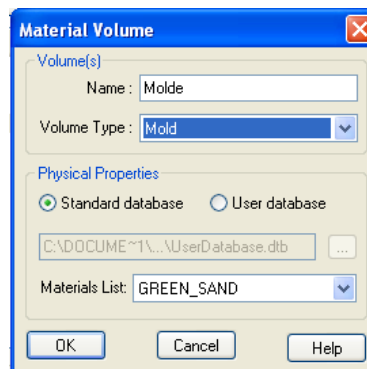


Figura 6.14

En el apartado *Volume Type* seleccionamos la opción *Mold*. A continuación elegimos el material del molde en la lista *Material List*. En nuestro caso elegimos *GREEN_SAND*. Luego hacemos clic en *Ok*.

Para seleccionar el material de la pieza se selecciona el volumen Entrada (Figura 6.15). En el apartado *Volume Type* elegimos *Alloy*. Luego, en *Material List*, elegimos el material *AlSi7Mg* y hacemos clic en *Ok*. A continuación aparecerá un mensaje (Figura 6.16) que nos informa que va a asignar el mismo material al resto de volúmenes.

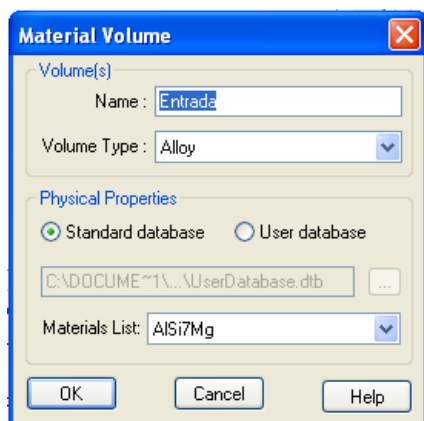


Figura 6.15

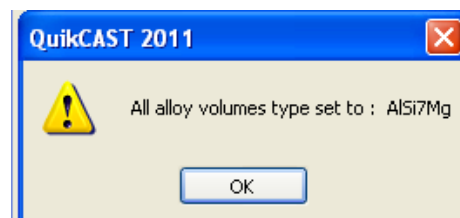


Figura 6.16

Por último ordenamos los volúmenes por orden de llenado, dejando al final los volúmenes pertenecientes al molde (Figura 6.17). En este caso se ordena de la siguiente manera: entrada, pieza y molde.

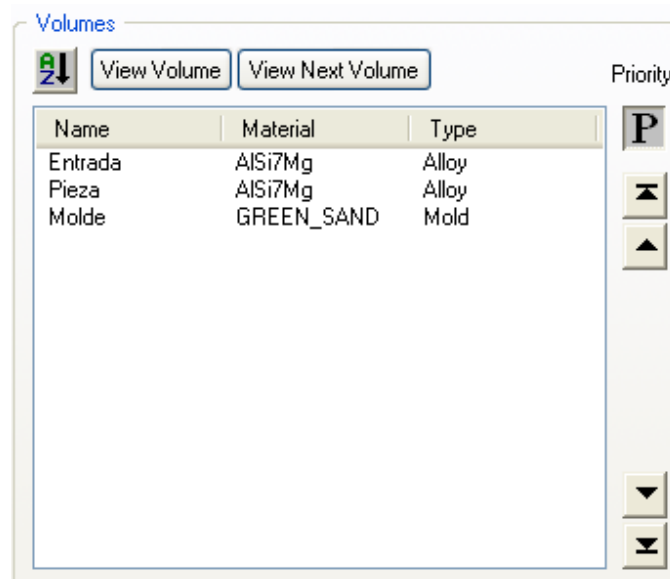


Figura 6.17

Comprobamos en el panel de Status (Figura 6.18) que, los volúmenes y los materiales, se encuentren con un tic verde. Esto nos indica que ambos se han realizado de forma correcta.

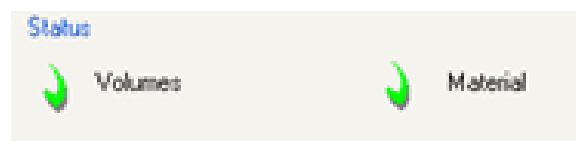


Figura 6.18

6.5 Generación de la malla

A continuación generamos la malla de la pieza. Para ello vamos al menú *Model - > 3D Grid/Mesh Generation* y aparece la siguiente ventana:

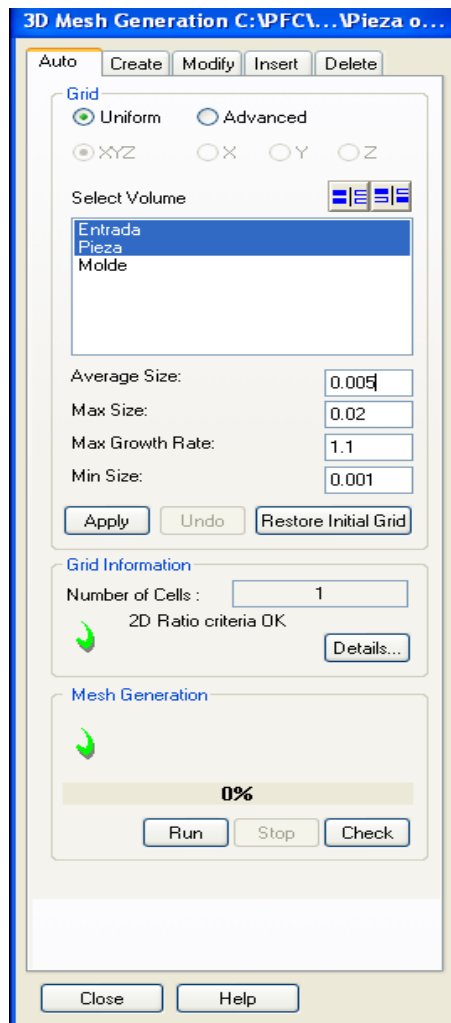


Figura 6.19

En esta ventana elegimos la pestaña *Auto*. Luego iremos al apartado *Grid* y seleccionamos la opción *Uniform*. A continuación comprobamos que, en *Select volumen*, solo estén seleccionados los volúmenes *Pieza* y *Entrada*. A continuación dejamos los valores que aparecen por defecto en las siguientes casillas: *Average Size*, *Max Size*, *Max Growth Rate* y *Min Size*.

Luego le damos al botón *Apply*. Si se ha realizado de forma correcta, en el apartado *Numbers of Cells*(Figura 6.20) aparecerá: el número de celdas en los que va a dividir a las piezas y un tic verde.

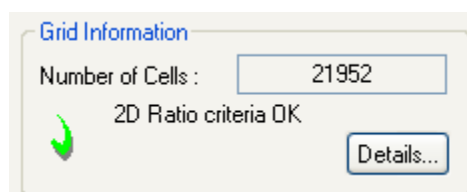


Figura 6.20

A continuación vamos al apartado *Mesh Generation* (Figura 6.21) y le damos al botón Run para generar la malla. Una vez terminada, aparece *Mesh completed* y la barra en color verde con un porcentaje al 100%. Para finalizar le damos a Close.

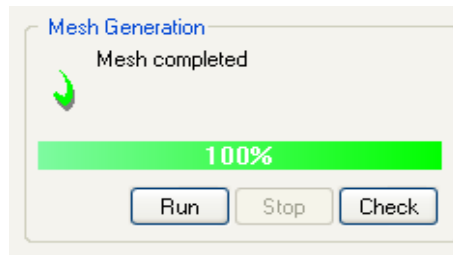


Figura 6.21

6.6 Imposición de las condiciones de contorno

6.6.1 Gravedad

El primer punto en las condiciones de contorno, es comprobar la dirección que lleva la gravedad. En nuestro caso es importante este apartado puesto que realizamos un llenado por gravedad

Para ello vamos al menú *Process* -> *Gravity* y aparece la siguiente ventana:

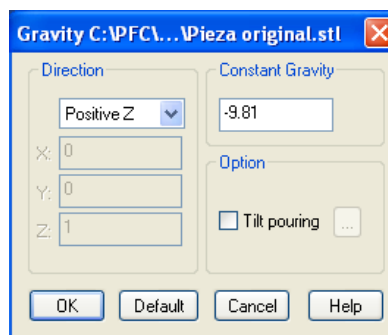


Figura 6.22

Vamos al apartado *Direction* y elegimos la dirección *Positive Z*. Luego iremos al apartado *Constant Gravity* y comprobamos que el valor de la gravedad sea -9.81 m/s^2 . Para terminar le damos a *Ok*.

6.6.2 Condiciones de contorno

A continuación definimos las condiciones de contorno del modelo. Estas condiciones permiten imponer límites en el modelo virtual para que se asemeje al modelo real.

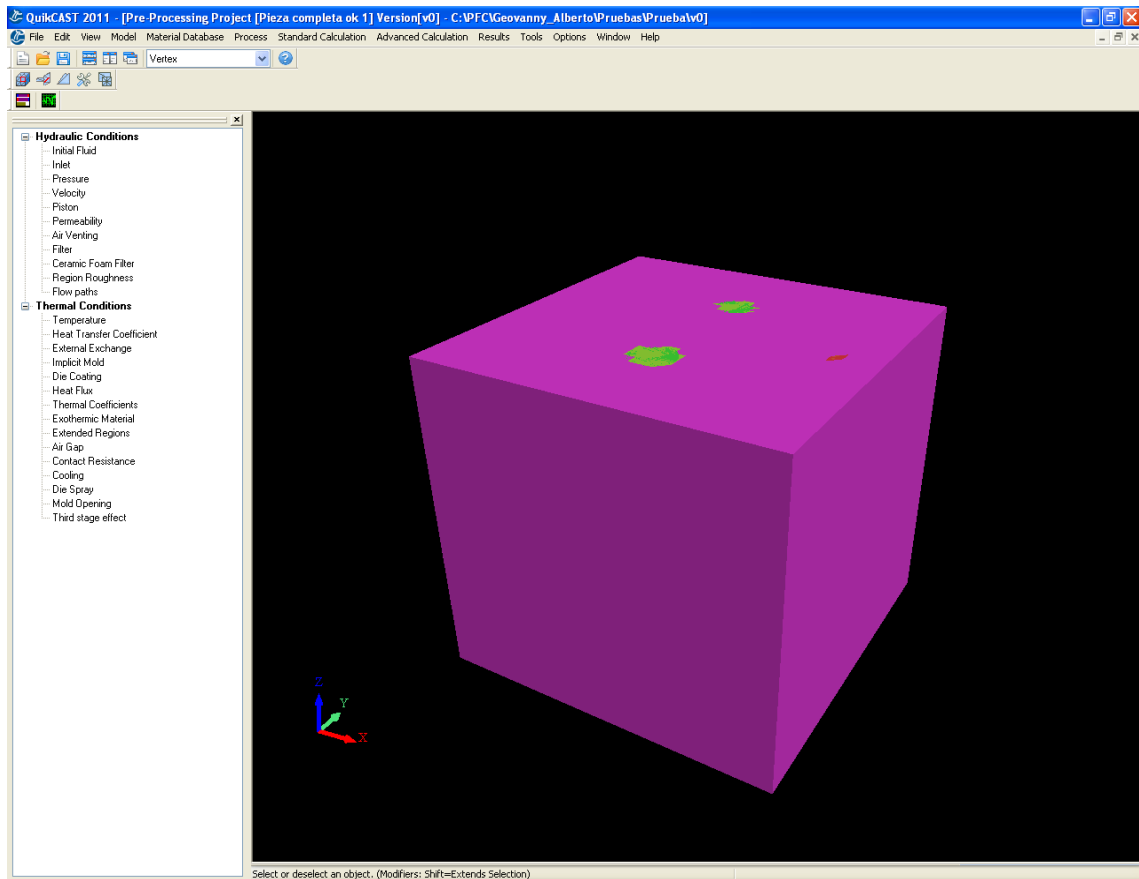


Figura 6.23

Existen dos tipos de condiciones de contorno: las hidráulicas y las térmicas.

Las condiciones hidráulicas hacen referencia a las condiciones del fluido.

Las condiciones térmicas hacen referencia a las propiedades que tienen que ver con las temperaturas, intercambio de calor, etc.

Para sacar la lista con las condiciones de contorno iremos al menú *Process -> Input Data Check*. Aparecerá en la parte izquierda del área de trabajo una lista con todas las condiciones disponibles.

- Condiciones hidráulicas

En nuestro caso vamos a introducir las siguientes condiciones: Initial Fluid, Velocity, Permeability y Region Roughness.

En todas las condiciones se puede introducir el nombre de la condición en el apartado *Name*. En nuestro caso no modificamos el nombre a ninguna condición.

- *Initial fluid*: esta condición permite indicar el lugar por donde se inicia el llenado.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

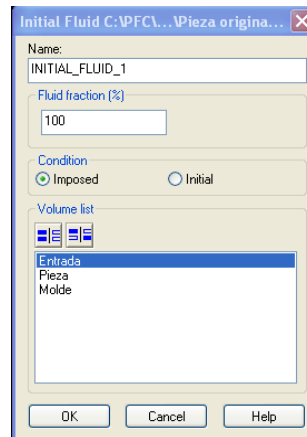


Figura 6.24

En el apartado *Fluid fraction* introducimos el valor 100. Luego seleccionamos la opción *Imposed*. A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos la entrada con el botón izquierdo del ratón. Comprobamos que en el apartado *Volume list* este seleccionada la Entrada y le damos a *OK*.

- *Velocity*: esta condición permite imponer la velocidad de llenado.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

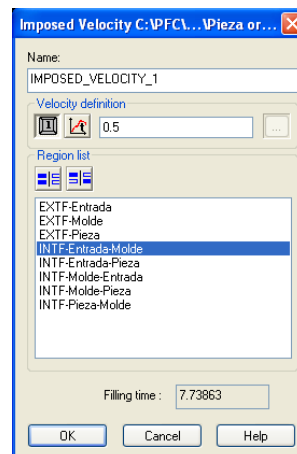


Figura 6.25

En el apartado *Velocity* introducimos el valor 0.5 m/s. A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos, con el botón izquierdo del ratón, la parte superior de la entrada. Comprobamos que en el apartado *Region list* este seleccionada la opción *INTF-Entrada-Molde* y le damos a *OK*.

- *Permeability*: esta condición permite simular el escape del aire a través del molde.
Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

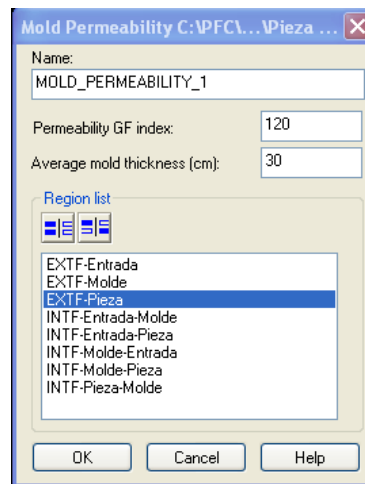


Figura 6.26

En el apartado *Permeability GF Index* dejaremos el valor que aparece por defecto.

A continuación vamos al apartado *Average Mold thickness* e introducimos el valor de 30 cm.

Luego vamos al área de trabajo y seleccionamos la parte exterior de la pieza. Para finalizar comprobamos que, en el apartado *Region List*, está seleccionada la opción *EXTF-Pieza* y le damos a *OK*.

- *Region Roughness*: esta condición permite simular la rugosidad que hay en el interior del molde.
Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

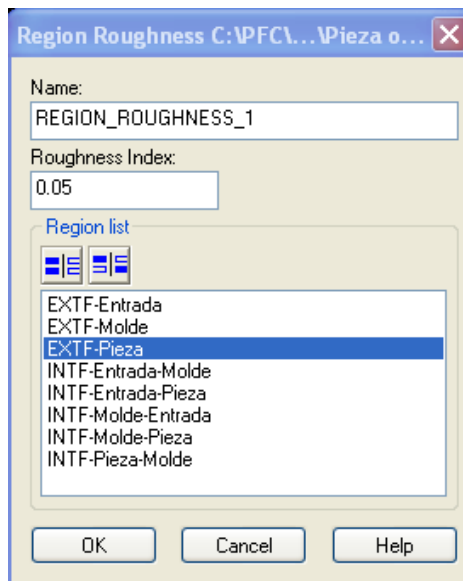


Figura 6.27

En el apartado *Roughness Index* dejamos el valor que aparece por defecto. A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos, con el botón derecho del ratón, la parte exterior de la pieza. Comprobamos que en el apartado *Region List* este seleccionada la opción EXTF-Pieza y le damos a OK.

- Condiciones térmicas

En nuestro caso vamos a introducir las siguientes condiciones: Temperature, External Exchange y Contact Resistance.

En todas las condiciones se puede introducir el nombre de la condición en el apartado *Name*. En nuestro caso no modificamos el nombre a ninguna condición.

- *Temperature*: esta condición permite indicar la temperatura que va a tener la entrada.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

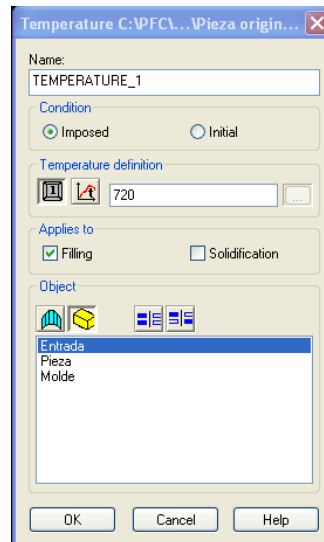


Figura 6.28

En el apartado *Condition* elegimos la opción *Imposed*. A continuación, en el apartado *Temperature definition*, dejamos el valor que aparece por defecto. Luego vamos al apartado *Applies to* y activamos solo la opción *Filling*. A continuación vamos al área de trabajo y seleccionamos, con el botón derecho del ratón, la entrada. Por último comprobamos que, en el apartado *Object*, esté seleccionada la opción *Entrada* y le damos a OK.

- *External Exchange*: esta condición permite indicar la transferencia de calor que se produce entre el molde y el exterior. Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

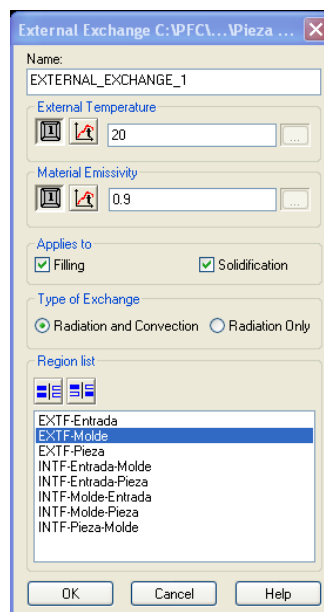


Figura 6.29

Vamos al apartado *External Temperature* e introducimos el valor de 20°C. En el apartado *Material Emissivity* dejamos el valor que aparece por defecto.

A continuación iremos al apartado *Applies to* y activamos la opción *Filling y Solidification*.

Luego vamos al apartado *Type of Exchange* y elegimos la opción *Radiation and Convection*. A continuación vamos al área de trabajo y, con el botón izquierdo del ratón, seleccionamos el molde. Comprobamos que, en el apartado *Region List*, este seleccionada la opción EXFT-Molde y le damos a OK.

- *Contact Resistance*: esta condición se utiliza para imponer la resistencia térmica que se produce por estar en contacto una región.

Para introducir esta condición, seleccionamos la condición y le damos al botón derecho del ratón. Luego elegimos la opción *ADD* para añadir una nueva condición y aparecerá la siguiente ventana:

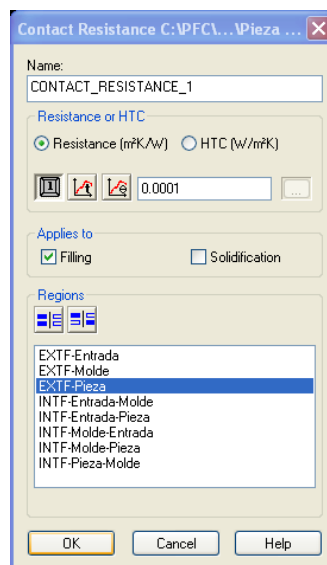


Figura 6.30

Vamos al apartado *Resistance or HTC* y elegimos la opción *Resistance*. En nuestro caso dejamos el valor que aparece por defecto.

Luego iremos al apartado *Applies to* y activamos solo la opción *Filling* . A continuación vamos al área de trabajo y, con el botón izquierdo del ratón, seleccionamos la pieza. Comprobamos que en el apartado *Regions* este seleccionada la opción EXFT-Pieza y le damos a OK.

6.7 Cálculos de resultados

A continuación iniciamos los cálculos de los resultados. Para ello iremos al menú *Standard Calculation* -> *Calculation Start* y aparece la siguiente ventana:

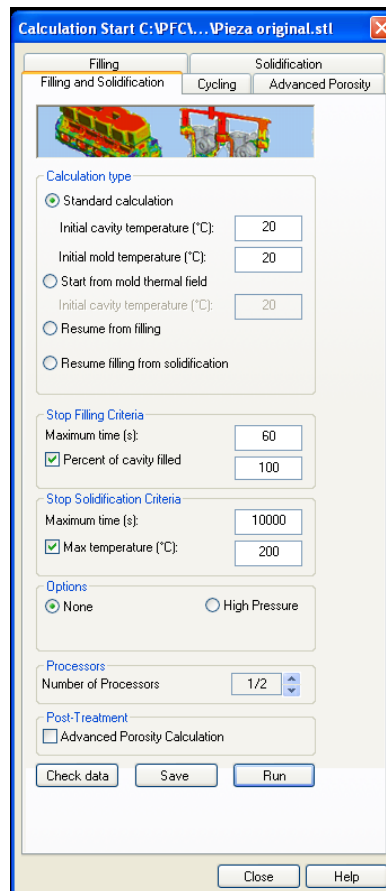


Figura 6.31

En esta ventana elegimos la pestaña *Filling and Solidification* puesto que queremos obtener los cálculos para el llenado y la solidificación. Luego vamos al apartado *Calculation type* y elegimos la opción *Standard calculation*. A continuación introducimos el valor 20°C tanto para el molde como para la cavidad del molde. Luego vamos al apartado *Stop Solidification Criteria*. En este apartado dejamos por defecto el valor del tiempo máximo y cambiamos la temperatura máxima a 200 °C.

En el resto de apartados dejamos las opciones que vienen por defecto.

Una vez que ya hemos introducido todos los parámetros le damos al botón *Run*. A continuación QuikCast empezara a realizar los cálculos. Aparecerá la siguiente ventana que indicara los progresos que llevan los cálculos para cada proceso.

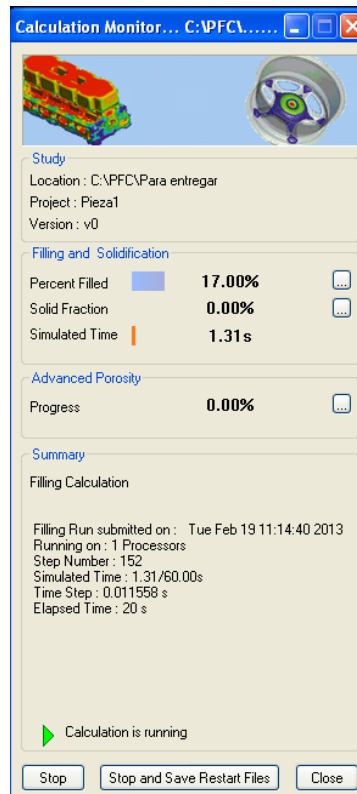


Figura 6.32

Una vez que los cálculos han terminado aparece un mensaje indicando que han finalizado. El programa creara un archivo de resultados donde solo aparecen los resultados. Este archivo mantiene el mismo nombre del estudio pero tiene la extensión ``.mco``.

6.8 Resultados

Una vez que se han completado los cálculos tanto de llenado como de solidificación lo siguiente que se hace es ver los resultados.

Para ver los resultados tenemos que abrir el archivo de resultados que nos ha creado el programa. Para ello vamos al menú *File -> Open* y seleccionamos el archivo con extensión “.mco”. El programa crea el archivo con el mismo nombre que el estudio. Aparece una ventana donde elegimos los volúmenes que queremos abrir. Para ello seleccionamos la pieza y la entrada y dejamos marcada la opción *Use Smoothing Mesh*. Si no marcamos esta opción la pieza se abrirá con la forma de la malla.

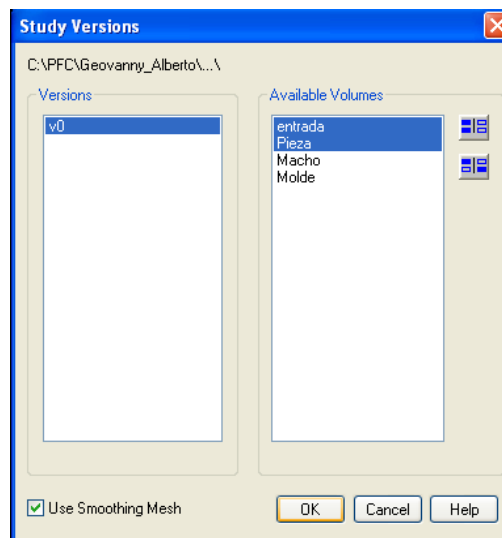


Figura 6.33

Una vez que hemos abierto el archivo iremos al menú *results*. Ahora en este menú ya están disponibles todas las formas de ver los resultados.

Si vamos al menú *results -> Mesh Correction Factors...* aparecerá la siguiente ventana:

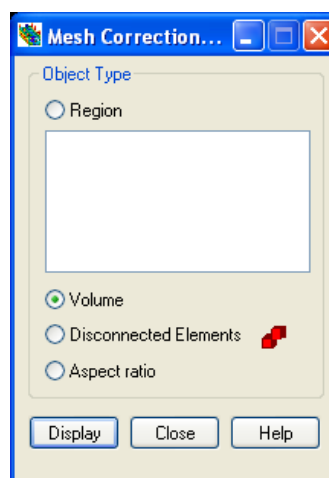


Figura 6.34

Eligiendo la opción *volume* nos muestra el porcentaje de aleación que tiene cada celda de la malla de volumen que habíamos creado.

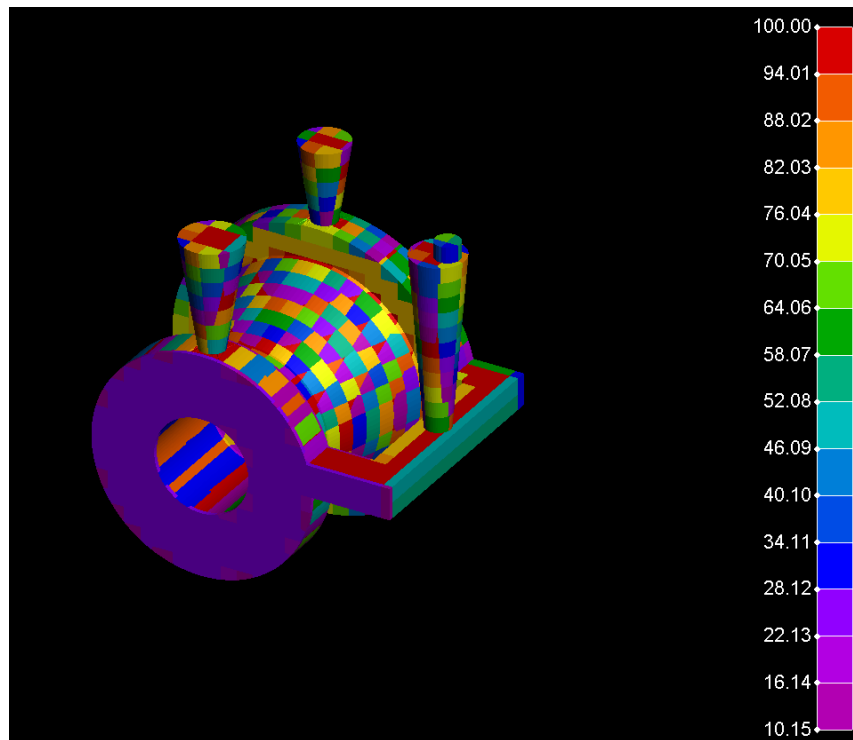


Figura 6.35

Si vamos al menú el *Filling / Solidification* aparece una ventana que permite ver las distintas etapas de los procesos de llenado y de solidificación de la pieza. En la opción *Type* seleccionamos el proceso que queremos ver; en *Results Type* elegimos la variable a analizar; y si se encuentra activada la opción de *Show Liquid*, se pueden ver las zonas con líquido. Se pueden activar o desactivar en función de los procesos que se quieran ver.

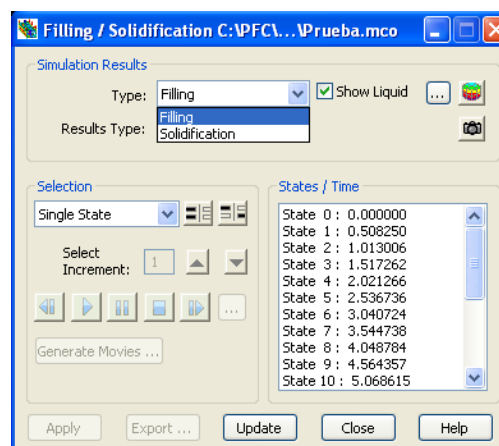


Figura 6.36

Si elegimos el proceso de llenado (*Filling*) tenemos las siguientes opciones:

- *Fill Rate*: muestra el llenado de la pieza.
- *Temperature*: muestra la temperatura durante el llenado.
- *Pressure*: muestra la presión en la pieza durante el llenado.
- *Velocity*: muestra la velocidad del flujo durante el llenado.
- *Fill time*: muestra que partes se han llenado durante un determinado tiempo.

Si elegimos el proceso de solidificación (*Solidification*) tenemos las siguientes opciones:

- *Liquid Fraction*: muestra la parte líquida que hay en la pieza.
- *Temperature*: muestra la temperatura durante la solidificación.
- *Shrinkage*: muestra la contracción que se producen en la pieza.
- *Solid Fraction*: nos muestra la parte sólida que hay en la pieza.

Para ver los resultados, podemos ir fijando en cada una de las etapas seleccionando la etapa que queremos ver en la lista que hay a la derecha. También podemos seleccionarla todas y con la opción *multiple state* y dándole al botón *generate movies* podemos verlo en forma de video. Si queremos guardar el video activaremos la opción *create an AVI File*. Hacemos clic en *generate*.

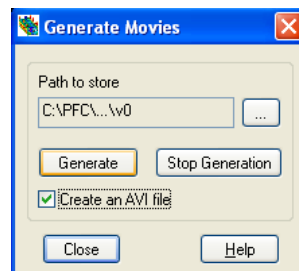


Figura 6.37

Si vamos al siguiente menú *results* -> *process Synopsis* aparecerá la siguiente ventana:

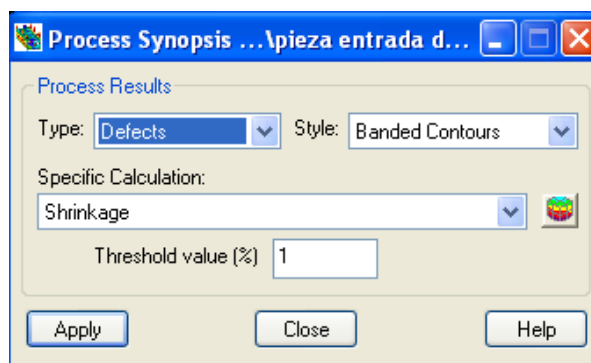


Figura 6.38

En esta pantalla se puede elegir los resultados que queremos analizar:

- Defects: muestra los resultados relacionados con los cálculos de predicción de defecto.
 - Shrinkage: proporciona información sobre la contracción en la aleación.
 - Dendritic Arm Spacing: informa sobre la micro estructura de la aleación.
 - Niyama Criterion: calcula según el criterio de Niyama. Informa sobre la porosidad de la aleación.
 - Solidification Rate: calcula la velocidad de enfriamiento.
 - Volume Fraction of Gas Porosity: proporciona información acerca de la micro porosidad del gas

- Solidification: muestra los resultados con el final de los cálculos de la solidificación.
 - Time to Solidus: proporciona el tiempo que necesita la aleación para alcanzar la temperatura de solido
 - End of Calculation temperature: proporciona información sobre la temperatura el final de los cálculos.
 - Time to Critical Solid Fraction: proporciona el tiempo que necesita la aleación para alcanzar el valor crítico de la fracción sólida.
 - Time to Eutectic Temperature: tiempo que tarda la aleación en alcanzar la temperatura eutéctica.
 - Temperature Gradient at Eutectic Temperature: informa sobre los gradientes termicos en la aleación a la temperatura eutéctica.
 - Temperature Gradient at Solidus – Degrees Celsius: informa sobre los gradientes térmicos en la aleación en la fase sólida.
 - Local Cooling Rate: informa sobre la velocidad de enfriamiento
 - Solidification Time: muestra el tiempo de solidificación.

En la opción Style podemos cambiar la forma de visualizar los resultados de la pieza.

Capítulo 7: Variaciones del molde

En este capítulo se explican los procesos de llenado y de solidificación que se realizan y un posterior análisis de los resultados.

Se realizan diferentes pruebas para ver como se llena, se solidifica y la evolución de las temperaturas para evitar que se produzcan defectos en la pieza.

7.1 Primer molde

En la primera simulación realizamos el llenado de la pieza por medio de un canal de alimentación.

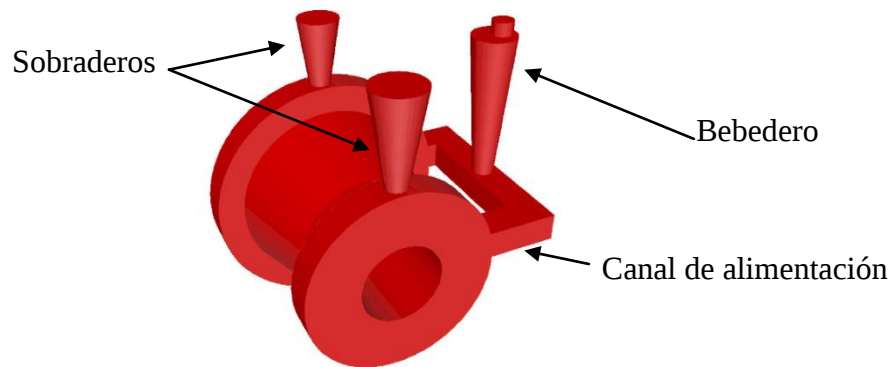


Figura 7.1

Se trata de observar cómo se llena el molde y como se solidifica.

Se representa el proceso de llenado donde el flujo de metal es representado por el color rojo, la parte de color gris es la pieza.



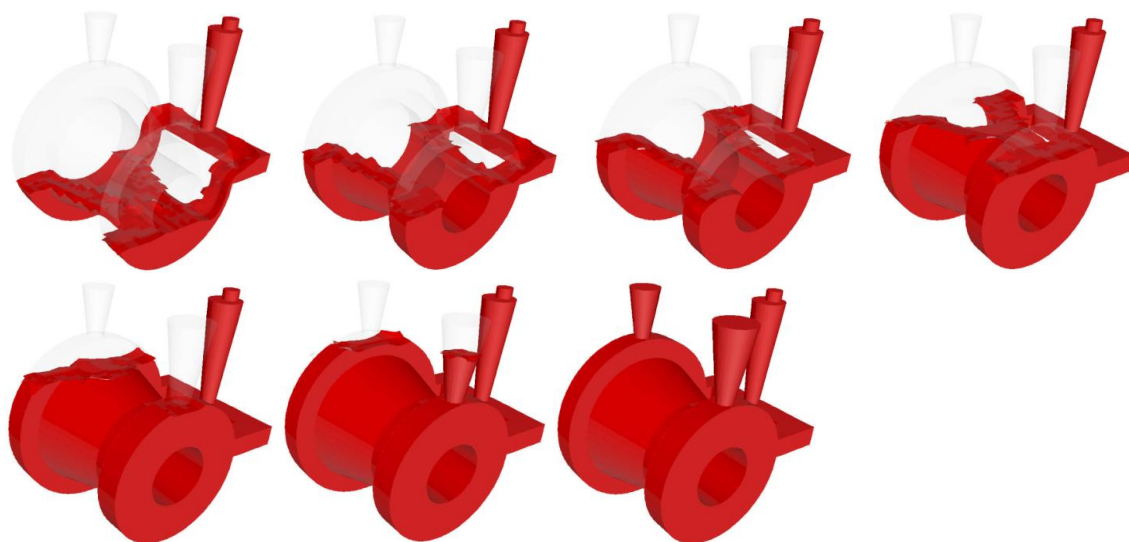


Figura 7.2

Se observa en llenado de la pieza ya que el flujo de material en la entrada de la pieza es continuo.

Durante el proceso de solidificación el metal líquido está representado por el color rojo, la pieza es representada por el color gris.

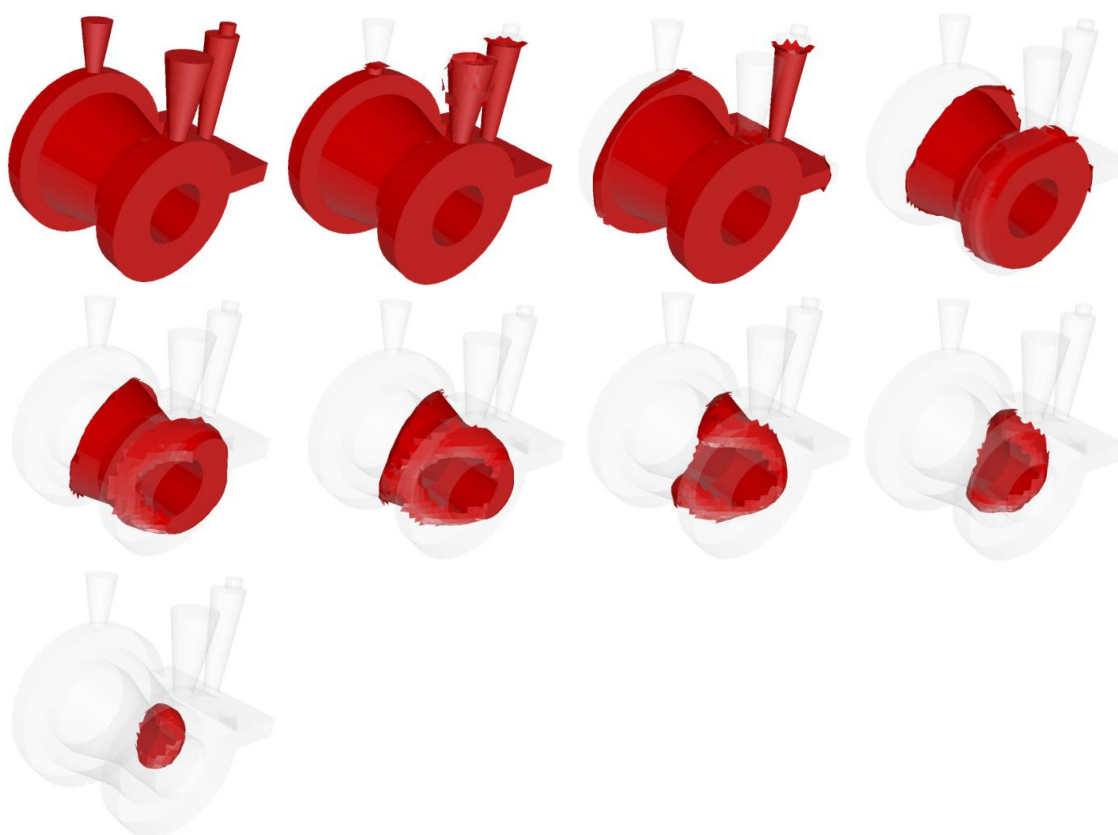


Figura 7.3

Se puede observar en la solidificación que lo último que se solidifica se encuentra en el interior de la pieza. Esto da lugar a la aparición de rechupes o distorsiones en el interior de la pieza ya que los sobraderos no pueden aportar el material para compensar la contracción del aluminio.

7.1 Segundo molde

En la segunda simulación realizamos el llenado de la pieza por el bebedero situado en el eje grande.

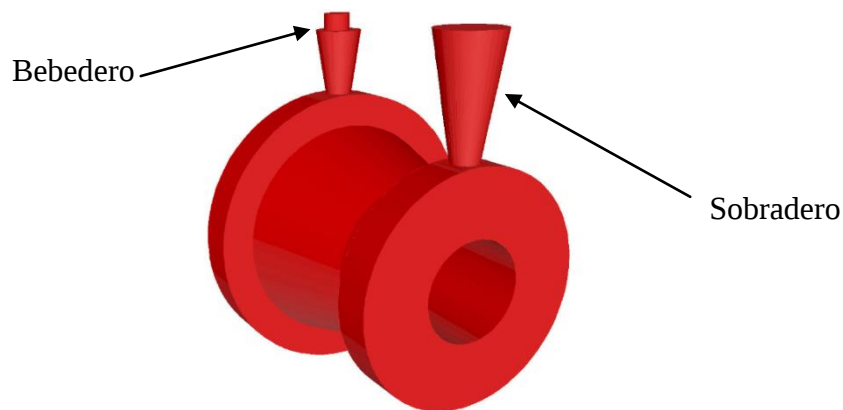


Figura 7.4

En esta simulación se realiza para observar cómo se llena la pieza y su evolución durante el enfriamiento.

Ahora se analiza el proceso de llenado donde el flujo de metal se representa por el color rojo, la parte de color gris es la pieza.



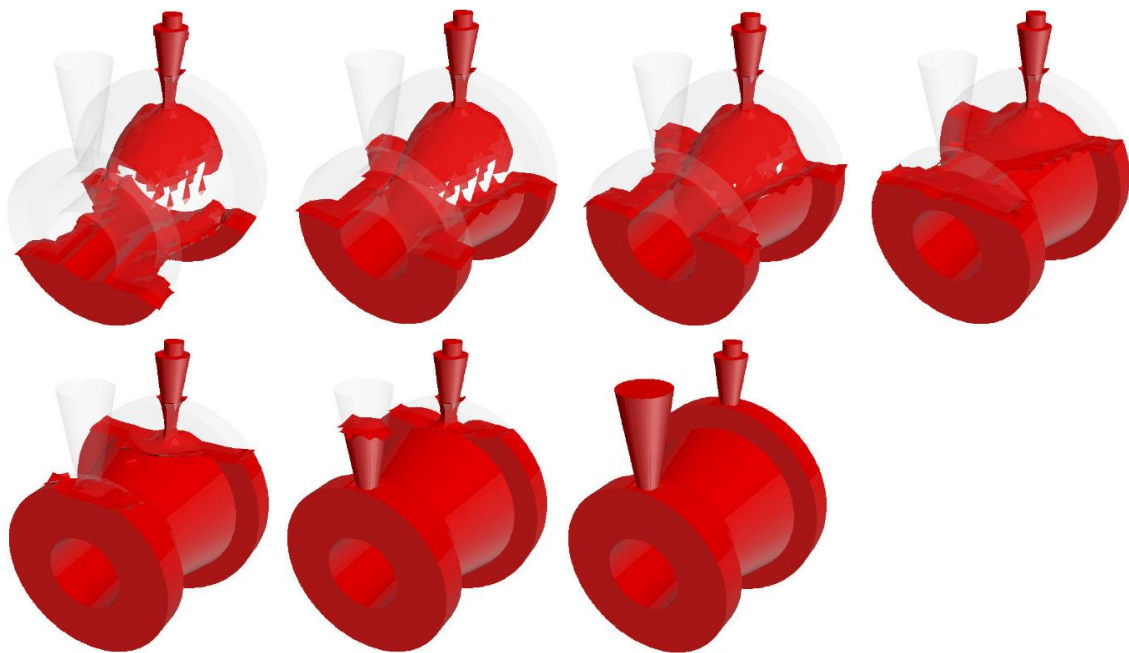


Figura 7.5

Se observa que al comienzo del llenado debido a la colocación de la entrada la colada choca con el macho se puede producir salpicaduras lo que puede dar lugar a la aparición de gotas frías.

Durante el proceso de solidificación el metal líquido está representado por el color rojo, la pieza es representada por el color gris.

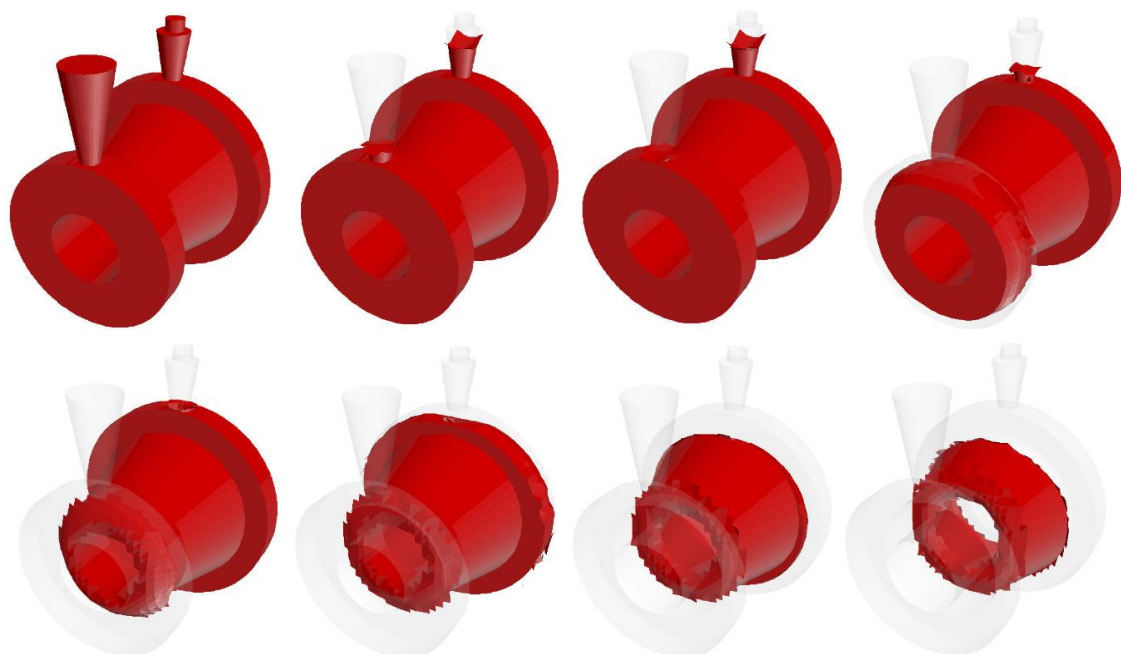




Figura 7.6

Se puede observar que la solidificación se produce antes por el eje pequeño debido a que es la zona más alejada de la entrada. También se observa que la solidificación del material por el bebedero y la mazarota se produce antes que en la pieza quedando bolsas de líquido en el interior de la pieza. Esto da lugar a la aparición de rechupes o distorsiones en el interior de la pieza ya que la mazarota no puede aportar material para compensar la contracción del aluminio.

7.1 Tercer molde

En la tercera simulación realizamos el llenado de la pieza por el bebedero situado en el eje pequeño.

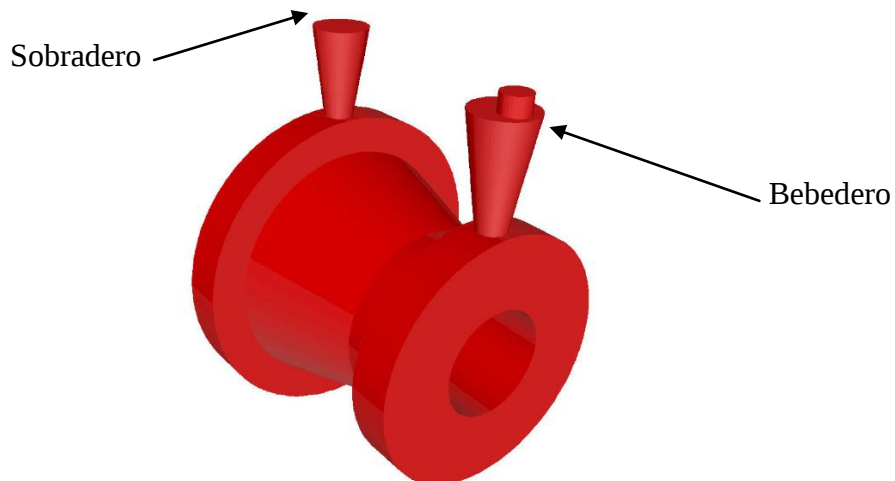


Figura 7.7

En esta simulación se observa si se ha producido algún cambio en el llenado o en la solidificación.

Se representa el proceso de llenado donde el flujo de metal es representado por el color rojo, la parte de color gris es la pieza.



Figura 7.8

Se observa que durante el llenado debido a la colocación de la entrada, la colada choca con el macho por lo que se puede producir salpicaduras lo que puede dar lugar a la aparición de gotas frías.

Durante el proceso de solidificación el metal líquido está representado por el color rojo, la pieza es representada por el color gris.

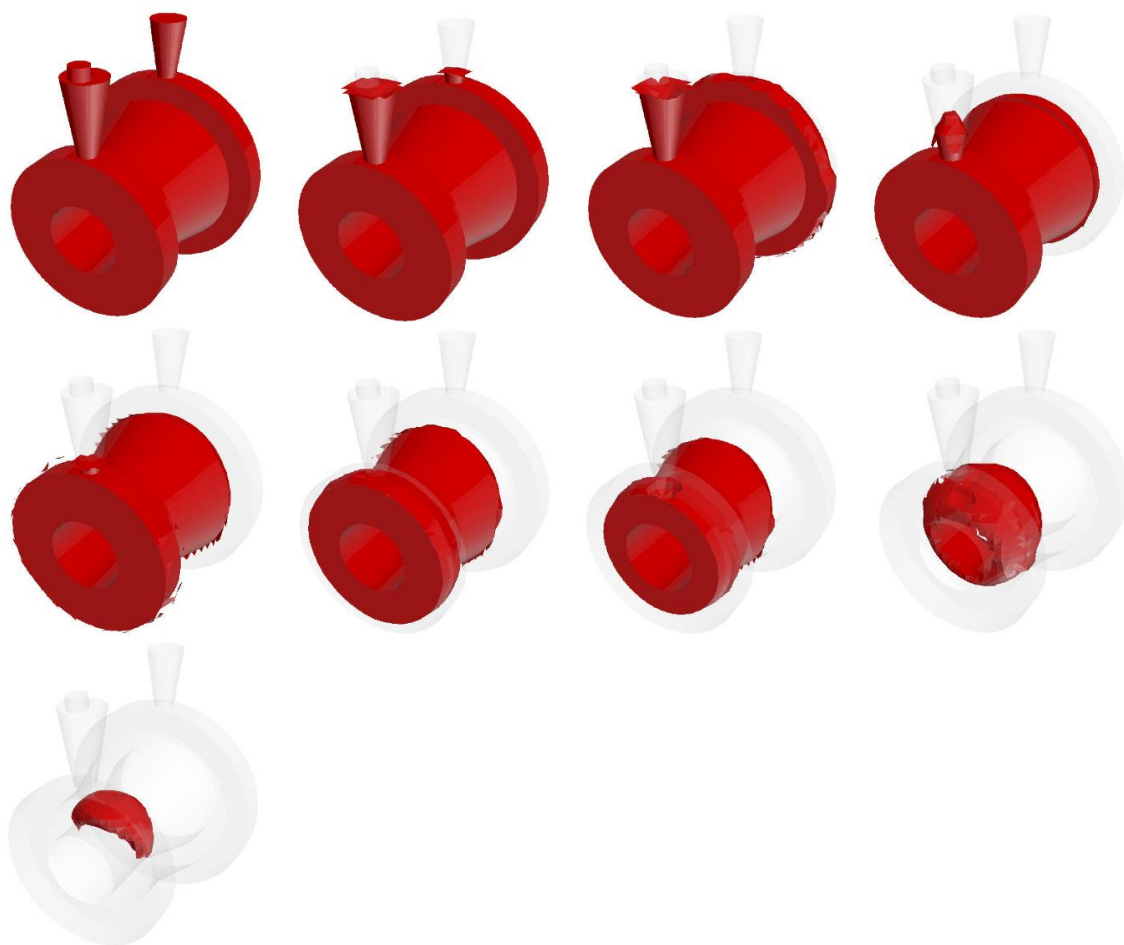


Figura 7.9

En este caso se observa que la solidificación empieza por el eje grande que igual que en la simulación anterior se trata de la zona más alejada de la entrada. Se observa que la solidificación del material por el bebedero y el sobradero se produce antes que en la pieza quedando bolsas de líquido en el interior de la pieza. Esto da lugar a la aparición de rechupes o distorsiones en el interior de la pieza ya que la mazarota no puede aportar material para compensar la contracción del aluminio.

7.4 Cuarto molde

En la cuarta simulación realizamos el llenado de la pieza por medio de un canal de alimentación al cual se ha aumentado de tamaño.

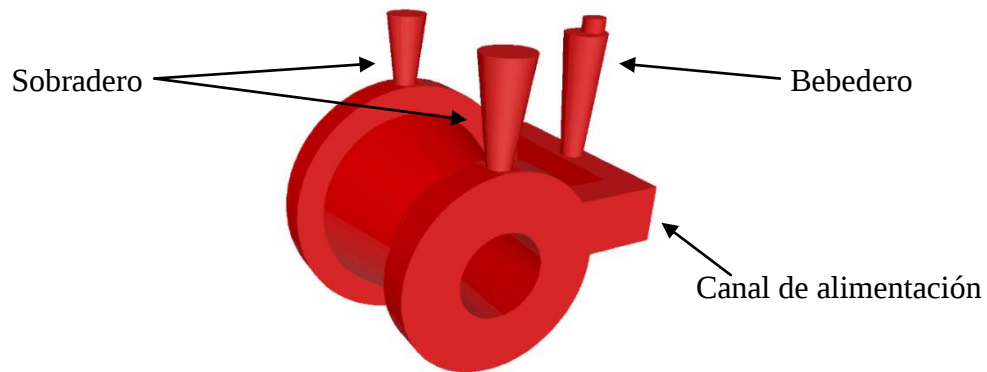


Figura 7.10

En esta cuarta simulación se trata de mejorar la solidificación aumentando de tamaño en el canal de alimentación para evitar una solidificación prematura de la pieza.

Se representa el proceso de llenado donde el flujo de metal es representado por el color rojo, la parte de color gris es la pieza.





Figura 7.11

Durante el llenado no se aprecia ninguna mejora respecto a la primera simulación.

Durante el proceso de solidificación el metal líquido está representado por el color rojo, la pieza es representada por el color gris.

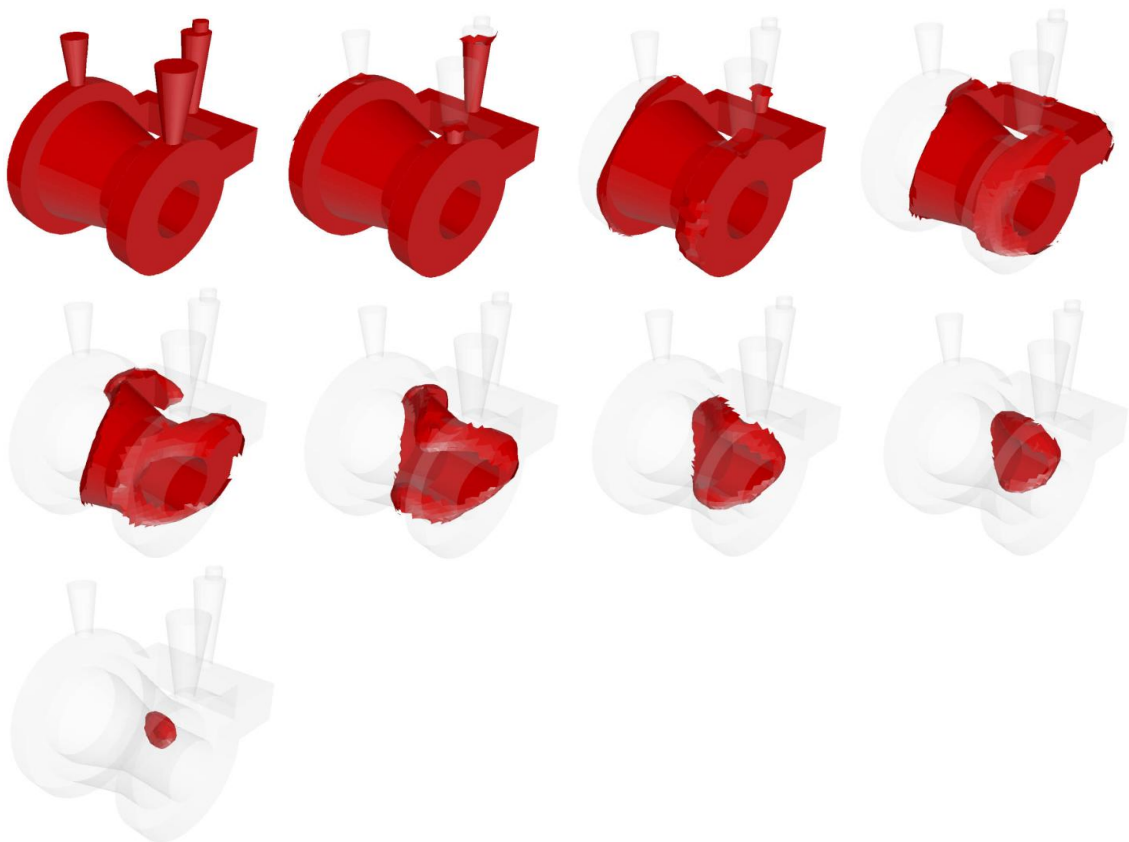


Figura 7.12

Se observar una mejoría en la solidificación del material debido a que no es tan prematura la solidificación en el canal de alimentación pero aun no es suficiente dado que en la parte central de la pieza aun queda metal líquido. Esto puede dar lugar a la aparición de rechupes o distorsiones en el interior de la pieza ya que la mazarota no puede aporta material para compensar la contracción del aluminio.

Conclusiones

Para concluir podemos decir que hemos realizado la simulación de una pieza, de modo que nos permite visualizar el proceso de fundición y analizar los errores en el diseño. También se han realizado diversos moldes, modificando la forma de llenado, para analizar las variaciones que producen en los procesos de llenado y de solidificación, así como, si se ha producido alguna mejora en el resultado final de la pieza.

En las hojas anteriores se añade un guión del programa tanto para el profesor como para el alumno para la correcta realización de la simulación.

Dejando como futuro trabajo la realización de simulaciones en otros tipos de moldes.

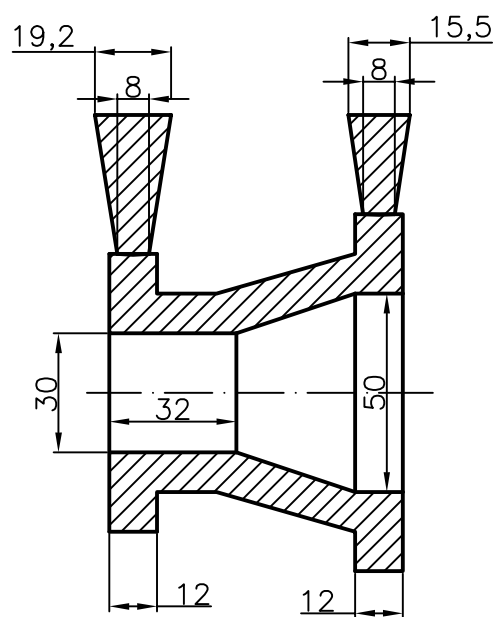
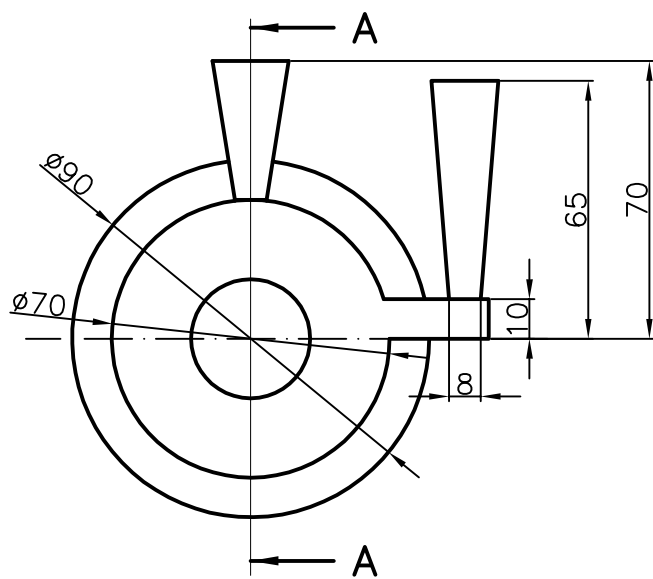
Bibliografía

Manufactura, ingeniería y tecnología; KALPAKJIAN, SEROPE y SCHMID, STEVEN R.

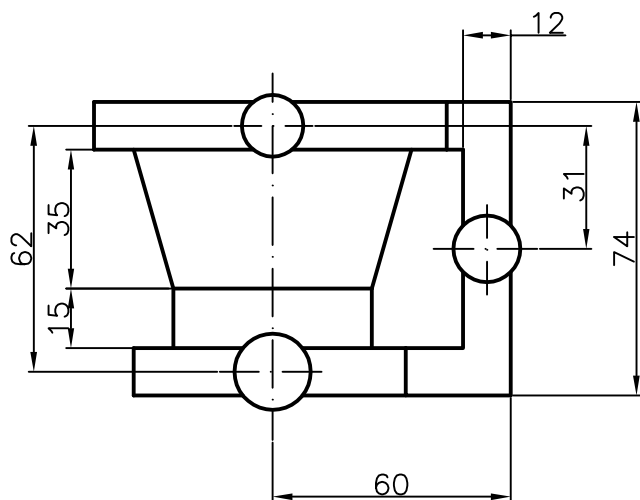
Fundamentos de conformación por fusión de metales; LOPEZ RODRIGUEZ, JOAQUÍN

Procesos de conformado por fundición. Moldeo en arena; LUIS PÉREZ, CARMELO JAVIER; UGALDE BARBERIA, MIGUEL JOSÉ; PUERTAS ARBIZU, IGNACIO; ÁLVAREZ VEGA, LUCAS

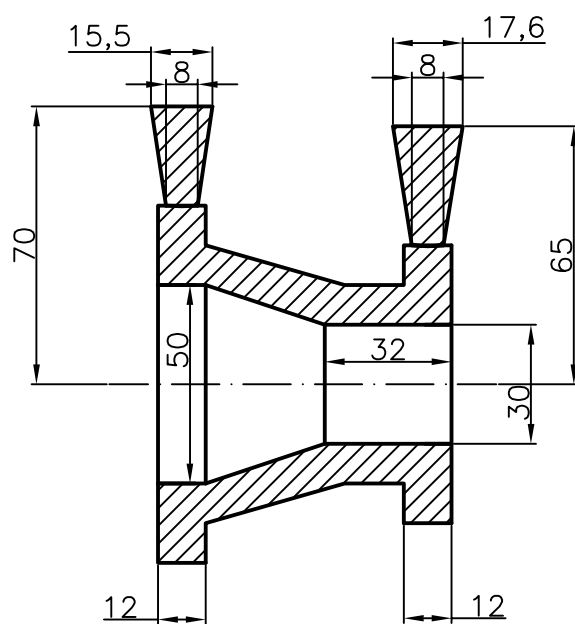
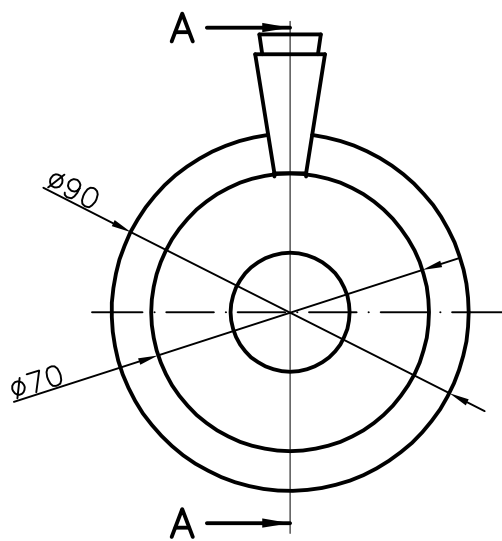
Anexos



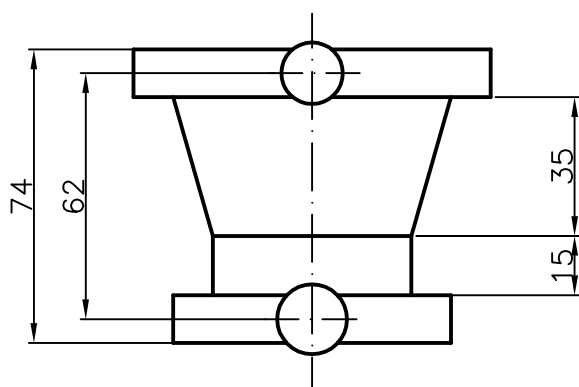
CORTE A-A



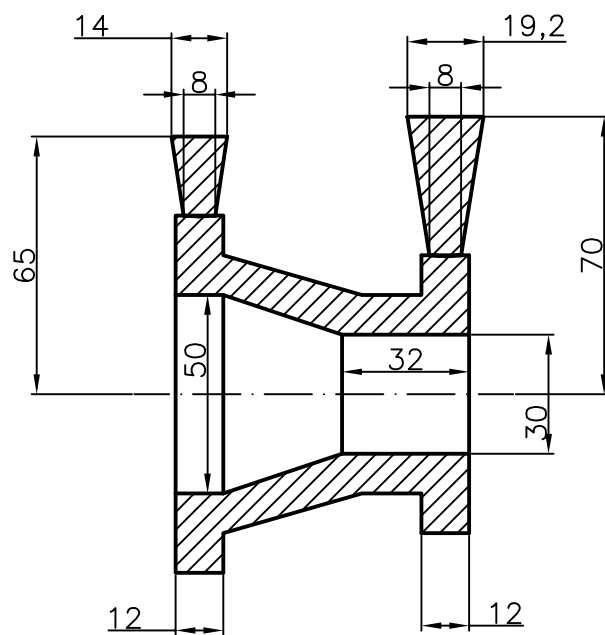
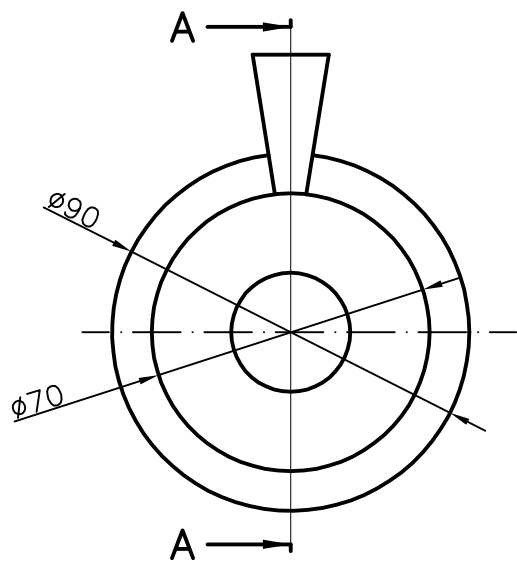
	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ZARAGOZA
Dibujado	20/2/2013	Alberto y Geovanny		
Comprobado				
Id.s.normas				
Escala:	Título: Pieza 1			
1:2				Hoja:
				Especialidad: mecánica



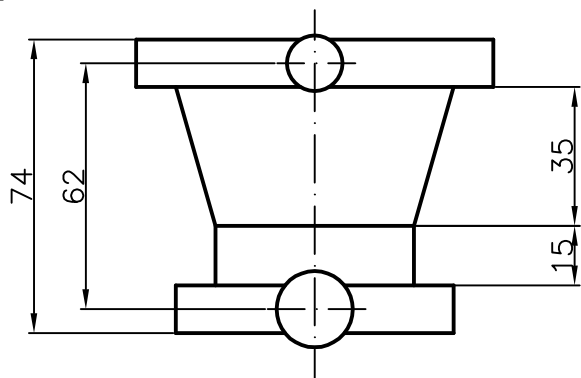
CORTE A-A



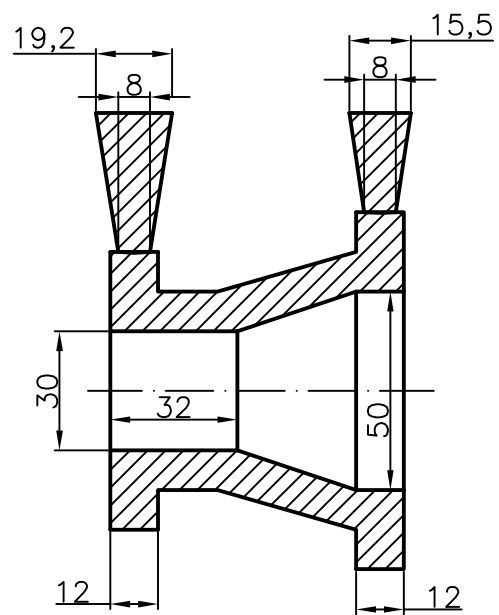
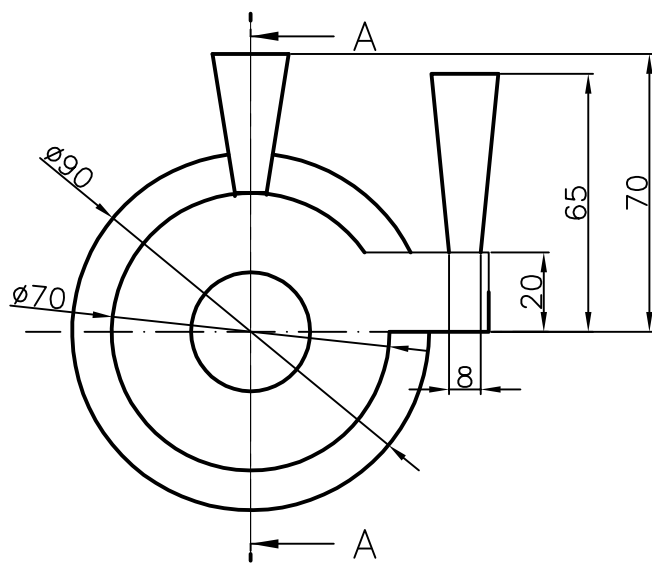
	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ZARAGOZA
Dibujado	20/2/2013	Alberto y Geovanny		
Comprobado				
Id.s.normas				
Escala:	Título:			
1:2	Pieza 2			Hoja:
				Especialidad: mecánica



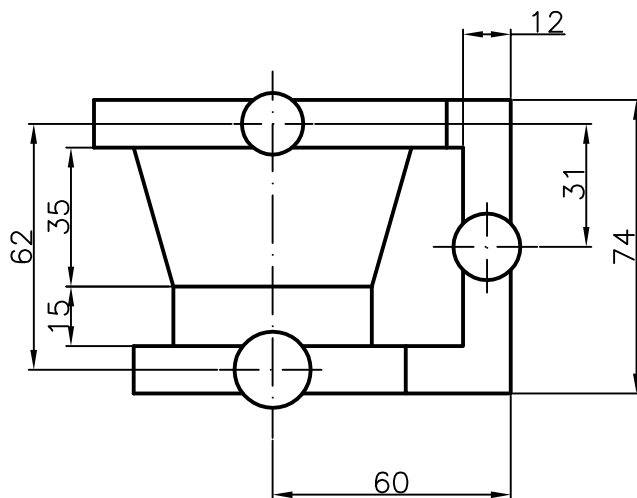
CORTE A-A



	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ZARAGOZA
Dibujado	20/2/2013	Alberto y Geovanny		
Comprobado				
Id.s.normas				
Escala:	Título:			
1:2	Pieza 3			Hoja:
				Especialidad: mecánica



CORTE A-A



	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ZARAGOZA
Dibujado	20/2/2013	Alberto y Geovanny		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala:	Título: Pieza 4			
1:2				Hoja:
				Especialidad: mecánica