



**Universidad**  
Zaragoza

## Proyecto Fin de Carrera

# **Planificación, análisis y desarrollo de material docente para simulaciones de procesos de moldeo**

Autor

**Enrique José Moreno García**

Directores

**Francisco Javier Brosed Dueso**  
**Jesús Velázquez Sancho**

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica



**Escuela de**  
**Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad** Zaragoza

Junio 2013

11/05/2013

## **Resumen:**

El proyecto que a continuación se redacta esta enmarcado en el ámbito del diseño y la fabricación y orientado a la docencia. Su objetivo es el del desarrollo de material docente para su uso en prácticas informáticas de diversas asignaturas orientadas a los procesos de fabricación por moldeo. Esto tendrá como resultados la adquisición de conocimientos prácticos por parte de los alumnos en procesos de simulación de moldeo.

Para ello en este proyecto se han desarrollado cuatro tipos de documentos docentes que en la memoria se explican. Dos de ellos son dos tutoriales/prácticas de dos tipos de simulación de moldeo: en molde de arena y por inyección. El tercero es un manual de ayuda para orientar y resolver dudas sobre la realización de las simulaciones con el software informático. Como cuarto y último documento se ha desarrollado un trabajo práctico para que se pueda evaluar los conocimientos prácticos adquiridos por el alumno.

Además, para la implantación de estas prácticas docentes, se ha realizado un estudio de tiempos con el fin de saber el tiempo aproximado que costaría realizar los tutoriales/prácticas y el trabajo práctico. Por último se ha hecho un análisis de las asignaturas a las que este proyecto va orientado con el fin de saber que objetivos y resultados de aprendizaje satisface este proyecto.

## **Agradecimientos:**

Doy las gracias a los tutores por su continuo tutelaje en la realización del proyecto y porque me han apoyado y resuelto cualquier duda que me ha podido surgir durante la realización del mismo.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Marco .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Alcance .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Objetivo .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Justificación .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5. Capacidades a adquirir por el alumno .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Realización de las prácticas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Tutoriales/Prácticas.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1. Simulación de moldeo en arena .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2. Simulación de moldeo por inyección .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Manual de ayuda .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Trabajo Práctico propuesto .....</b>	<b>17</b>
<b>3. Duración aproximada de las prácticas .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Objetivos docentes.....</b>	<b>20</b>
<b>5. Conclusiones y trabajo futuro .....</b>	<b>21</b>

# ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo I: Práctica 1: Moldeo en arena.....</b>	<b>23</b>
<b>Anexo II: Práctica 2: Simulación de inyección.....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo III: Trabajo Práctico.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo IV: Resultados Trabajo Práctico .....</b>	<b>91</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Logo ESI Group .....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 2: Logo QuikCast .....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 3: Logo VisualCast .....</b>	<b>7</b>
<b>Ilustración 4: Ejemplo molde de arena .....</b>	<b>9</b>
<b>Ilustración 5: Geometría .....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 6: Molde .....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 7: Materiales .....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 8: Mallado .....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 9: Condiciones límite .....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 10: Práctica 1 VisualCast .....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 11: Ejemplo moldeo por inyección .....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 12: Geometría .....</b>	<b>13</b>
<b>Ilustración 13: Materiales .....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 14: Mallado .....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 15: Condiciones Límite .....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 16: Práctica 2 VisualCast .....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 17: Barra de menús .....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 18: Interfaz .....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 19: Pieza trabajo práctico .....</b>	<b>17</b>
<b>Ilustración 20: Pieza final .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 21: Velocidad del fluido .....</b>	<b>18</b>

# **1. Introducción:**

En este punto se desarrollarán cuatro apartados que nos introducirán el proyecto que se ha realizado y que posteriormente se desarrolla.

## **1.1. Marco:**

El proyecto que se ha realizado está enmarcado en el ámbito del diseño y la fabricación. Para su realización ha sido necesario el uso de software de simulación y visualización de moldeo. Para ello se ha trabajado con dos software determinados del grupo ESI. Por una parte se ha trabajado con QuikCast, que nos permitirá realizar las simulaciones de las piezas necesarias para la realización del proyecto. Por otra parte se ha trabajado con el software VisualCast, con el cual podremos realizar el visionado de la simulación y de los resultados que ésta nos ha dado. A continuación se nombran dichos software y se hace una breve reseña sobre ellos.

### **-¿Qué es el ESI Group?-**

ESI es el líder mundial de editor de software para la simulación numérica de prototipos y procesos de fabricación en ingeniería mecánica aplicada. El grupo ESI usa una física de materiales realistas, proporcionando buenas soluciones reales y virtuales, con el fin de sustituir los procesos de error en prototipos reales.



**Ilustración 1:** Logo ESI Group

### **-¿Qué es QuikCast?-**

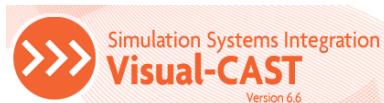
QuikCast es una solución rápida y eficaz para la evaluación del proceso completo. La herramienta aborda los conceptos básicos de cualquier proceso de moldeado: llenado, solidificación y la predicción de la porosidad incluyendo el soplado de núcleo y la modelización de semisólidos.



**Ilustración 2:** Logo QuikCast

### **-¿Qué es VisualCast?-**

VisualCast es un entorno completo del post procesado para aplicaciones de fundición. Este software permite la visualización de resultados de procesos de fabricación.



**Ilustración 3: Logo VisualCast**

### **1.2. Alcance:**

Este proyecto se ha desarrollado con un fin docente, por lo que el alcance que tiene será dentro de esta área. Dentro de la docencia, el proyecto está destinado al departamento de diseño y fabricación. Dentro de esta área está definido en el ámbito de los procesos de moldeo mediante software informático.

Así pues encontramos que el alcance de este proyecto será el formar a los alumnos en los procesos de moldeo mediante software informático. Esta formación se realizará a través de la simulación de varios procesos de moldeo guiados por unos tutoriales/prácticas desarrollados en el proyecto. Tras esto deberán realizar un trabajo práctico que consolidará los conocimientos adquiridos contando además con un manual de ayuda para consultar dudas. De esta manera adquirirán nuevas competencias en el campo de los procesos de fabricación y más concretamente en el moldeo.

### **1.3. Objetivo:**

Este proyecto está destinado a la realización de dos tutoriales/prácticas docentes, un manual de ayuda y un trabajo práctico propuesto para la docencia impartida a los estudiantes de la EINA. Se basa en un programa informático de moldeo capaz de simular y visualizar los resultados del moldeo antes de su realización física. Con ello se pretende el poder realizar unas prácticas para los alumnos de los grados impartidos por la EINA. Éstas tendrán como objetivo el poder aplicar en la práctica la teoría aprendida en las clases. El material a usar serán dos tutoriales de distintos tipos de moldeo en los que se guiará al alumno paso a paso en su realización. También contará con un manual de ayuda que podrá ser consultado en caso de duda. Para terminar, tendremos un trabajo práctico propuesto en el que el alumno deberá simular el moldeo de una pieza determinada que aquí proponemos. En él se incluye un informe que se deberá realizar contestando a una serie de preguntas que se hacen al final de dicho trabajo práctico.

### **1.4. Justificación:**

La justificación de este proyecto se entiende una vez se ha explicado la problemática existente. Esta problemática es la ausencia de prácticas de moldeo con software informático. Por esta razón los alumnos no contaban con conocimiento práctico en términos de simulación de procesos de moldeo mediante software. Esto se debe a las costosas licencias que hay que pagar para poder utilizar estos programas. No obstante eso no impide que se pudieran desarrollar unas prácticas para un futuro en el que se pudiese implementar programas de moldeo de forma docente.

Una vez vista la problemática, redactaremos la justificación en una serie de puntos. Su base será la necesidad de conocer e indagar más profundamente en el mundo del moldeo de piezas. Ésta es una de las técnicas a la que menos se hace referencia, y con la que menos se trabaja en las antiguas carreras y los nuevos grados. Por ello como justificación encontramos esta serie de puntos:

- 1) Necesidad de conocer y trabajar con herramientas de simulación de procesos de moldeo como el software QuikCast.
- 2) Necesidad de unos documentos guiados para la impartición de prácticas de docencia con el objetivo de que los alumnos conozcan y aprendan más sobre las técnicas de moldeo tanto en la teoría como en la práctica.
- 3) Necesidad de un manual de ayuda a la hora de usar un software que nunca antes hayan usado los estudiantes. Con él podrán consultar las posibles dudas que les salgan en la realización de una simulación con QuikCast.
- 4) Necesidad de un trabajo práctico para conocer tanto por parte del profesorado como del alumnado cuales han sido sus conocimientos adquiridos en la realización de las prácticas. Para ello realizarán una simulación en la que no se les guiará paso a paso pero se les darán los datos necesarios para su realización.

## **1.5. Capacidades a adquirir por el alumno:**

En cuanto a objetivos medibles, encontramos dos de ellos muy claros: adquirir conocimientos de procesos de moldeo usando software informático y adquirir la capacidad de simular procesos de moldeo desde cero con el uso de software informático. Estas capacidades y conocimientos se numeran y desarrollan a continuación:

- 1) Adquisición de los conocimientos necesarios de moldeo mediante la realización de dos prácticas de uso docente. Éstas guiarán al alumno en el programa QuikCast mediante la realización de dos tipos de simulaciones de moldeo: por un lado en molde de arena y por otro lado por inyección.
- 2) Adquisición de la capacidad de trabajar con estos programas de simulación una vez realizados los tutoriales/prácticas sin la necesidad de un documento que los guíe paso a paso. Para ello realizarán un trabajo práctico del cual tendrán que hacer un informe.

## **2. Realización de los documentos:**

Se han realizado para este proyecto dos tutoriales/prácticas relacionadas con la principal utilidad del programa QuikCast. Estas prácticas son muy sencillas en su realización, debido a que se guía mediante una serie de pasos muy detallados e imágenes al alumno/docente/usuario que las esté realizando. También se ha elaborado un manual de consulta que ayudará al usuario a resolver las posibles dudas que encuentre durante la realización de los tutoriales o cualquier simulación que desee realizar. Por último se ha realizado un trabajo práctico propuesto para que realicen los alumnos. Éste ayudará a evaluar los conocimientos adquiridos por estos a la hora de la realización de los tutoriales. Para ello se tendrá que realizar una simulación sin ninguna guía partiendo de los datos que se les proporciona.

## **2.1. Tutoriales/Prácticas:**

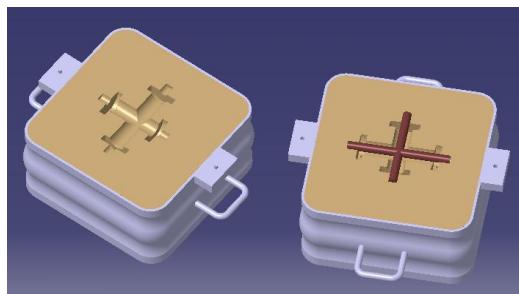
Estas prácticas que pasaremos a comentar a continuación son para dos tipos de moldeo distintos, los cuales son: Simulación de moldeo en arena, y simulación de moldeo por inyección.

### **2.1.1. Simulación de moldeo en arena:**

#### **-¿Qué es el moldeo en arena?-**

En este moldeo en arena se utilizará la arena verde, que es una mezcla de arena de sílice, arcilla, humedad y otros aditivos. Este moldeo consiste en la elaboración del molde con arena húmeda y colada directa del metal fundido. Es el método más empleado en la actualidad, con todo tipo de metales, y para piezas de todo tipo de tamaño y geometrías.

No es adecuado para obtener buenos acabados superficiales o tolerancias reducidas.



**Ilustración 4:** Ejemplo molde de arena

#### **-Realización-**

Como en el título se menciona, en esta práctica simularemos la fabricación de una pieza mediante moldeo en arena verde. Toda la práctica está realizada de manera que sirva de guía al usuario. Por esto, está organizada en puntos que ha de seguir el usuario. También cuenta con imágenes explicativas que pueden aclarar cualquier duda que pueda surgir.

La práctica está “dividida” en dos partes.

- Por un lado tenemos la parte en la que trabajamos con QuikCast. Ésta es la parte más técnica debido a que definiremos toda la geometría de la pieza y del molde de arena. También se introducirán todos los datos necesarios para que la colada entre adecuadamente en el molde y se solidifique la pieza de manera correcta. Esta parte está organizada en varias secciones dependiendo de las acciones que debamos hacer sobre la pieza.
  - Como primera acción encontramos que se deberá importar la geometría CAD de la pieza, insertando la propia pieza, los enfriadores y las mazarotas. Éstas últimas rellenarán los huecos que deje la pieza cuando realice las contracciones de enfriamiento.

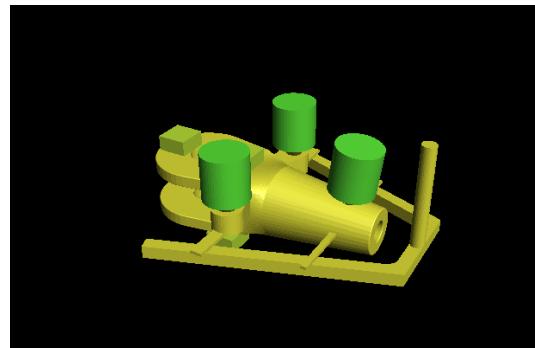


Ilustración 5: Geometría

- A continuación pasaremos a definir el molde, los materiales que serán usados por las distintas partes de la pieza y a mallar la pieza con la geometría del molde. Así el programa puede calcular la simulación del moldeo de manera correcta. Este mallado deberá ser adecuado al tamaño de la pieza. Esto es debido a que si es muy pequeño puede dar lugar a errores en el programa o una resolución muy lenta. Esto último puede dar lugar a que el programa se bloquee y se cierre.

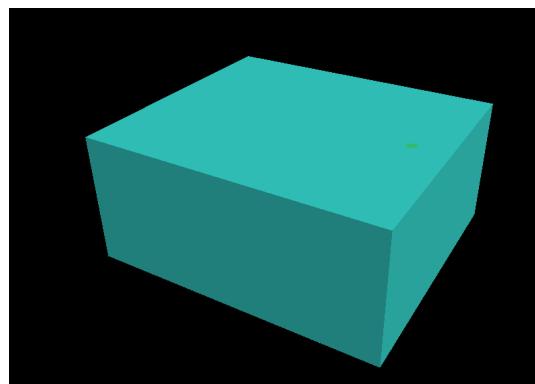


Ilustración 6: Molde

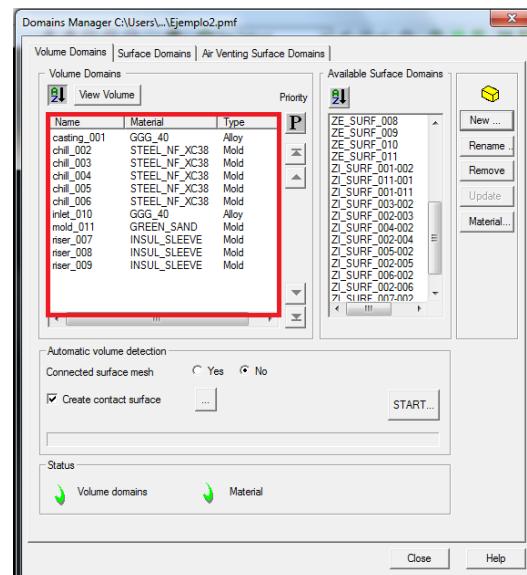


Ilustración 7: Materiales

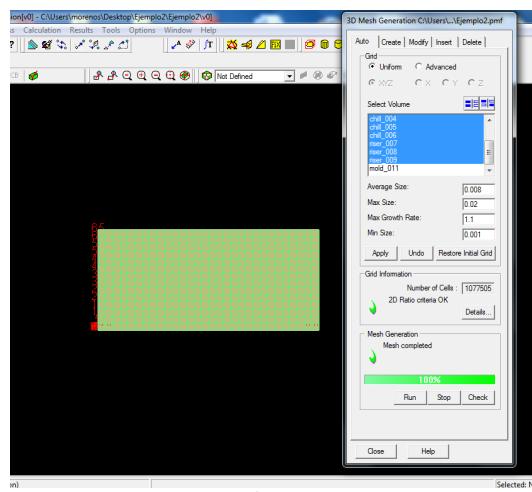


Ilustración 8: Mallado

- Tras realizar todo esto llegaremos al último paso de la primera parte, el cual consiste en definir las condiciones límites necesarias para llevar a cabo el cálculo. Para ello pasaremos a definir sus valores de los cuales algunos dependerán de las dimensiones de la pieza. Estos valores serán diferentes si la pieza es más o menos grande. Los otros valores dependerán de nosotros directamente o del medio en el que nos encontramos.

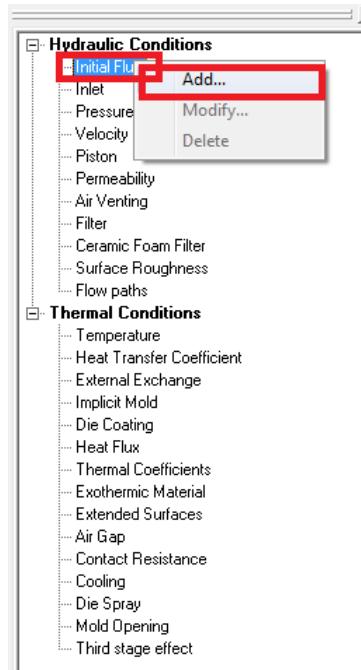


Ilustración 9: Condiciones límite

- Por otro lado tenemos la segunda parte en la que usaremos el visor VisualCast. De esta manera podremos visualizar los resultados de lo que hemos trabajado con QuikCast. Así podremos deducir si hemos realizado un trabajo adecuado o deberíamos modificar algún dato o geometría para perfeccionar el moldeo.

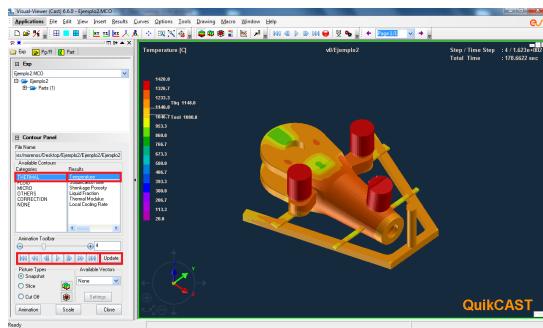


Ilustración 10: Práctica 1 VisualCast

Como ya se ha comentado, el usuario irá guiado en todo momento por los pasos a seguir e imágenes como la anterior que lo ayudarán durante el proceso de simulación. Además podrá consultar cualquier duda en el manual de ayuda propuesto que pasamos a definir más tarde.

## **2.1.2. Simulación de moldeo por inyección:**

### **-¿Qué es el moldeo por inyección?-**

Es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

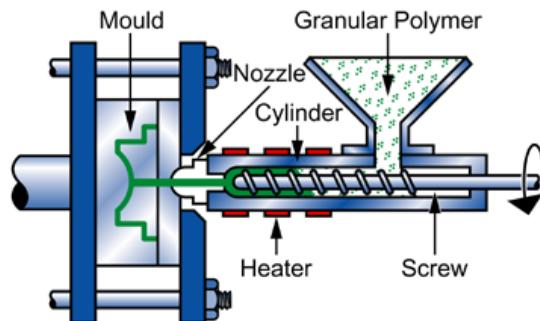


Ilustración 11: Ejemplo moldeo por inyección

### **-Realización-**

Como en el título se menciona, en esta práctica simularemos la fabricación de una pieza mediante moldeo por inyección. Toda la práctica está realizada de manera que sirva de guía al usuario. Por esto, está organizada en puntos que ha de seguir el usuario. También cuenta con imágenes explicativas que pueden aclarar cualquier duda que pueda surgir.

La práctica está “dividida” en dos partes.

- Por un lado tenemos la parte en la que trabajamos con QuikCast. Ésta es la parte más técnica debido a que definiremos toda la geometría del molde en el que se va a realizar la inyección del material, que tiene que ser un molde cerrado y frío. También introduciremos todos los datos necesarios para que el material entre adecuadamente en el molde y se solidifique la pieza de manera correcta.

En este caso la realización del tutorial es muy parecida al de moldeo en arena salvo que cambiarán las condiciones límite que debamos definir. Esto es debido a que es un proceso distinto al anterior. En éste, en vez de dejar fluir el metal en un molde de arena, lo introduciremos poco a poco con la ayuda de un pistón que empujará el metal fluido hacia adentro del molde.

- Como primera acción al igual que en el caso anterior pasaremos a definir la geometría CAD. En este caso será suficiente con la geometría de la pieza, sin necesidad de importar una geometría para los enfriadores ni para mazarotas. Esto es debido a que el proceso de moldeo es distinto al anterior, siendo en este caso menor la temperatura del metal fluido. Su realización se basa en la presión que se ejerce sobre este metal fluido de manera que será introducido poco a poco dentro del molde eliminando la necesidad de mazarotas y enfriadores. Éste es un proceso muy típico a la hora de realizar piezas con materiales plásticos.

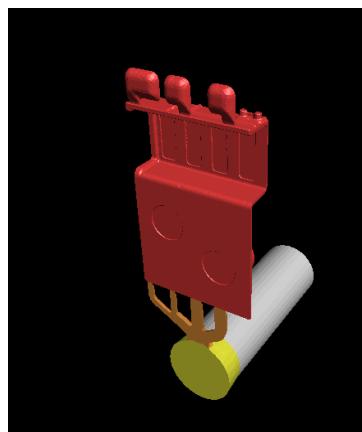


Ilustración 12: Geometría

- Tras esto pasaremos a la definición de los materiales de la pieza y al mallado de esta. En este caso no es necesario el definir un molde, ya que la propia pieza definida actuará como molde por el que fluirá el metal líquido que llenará la pieza.

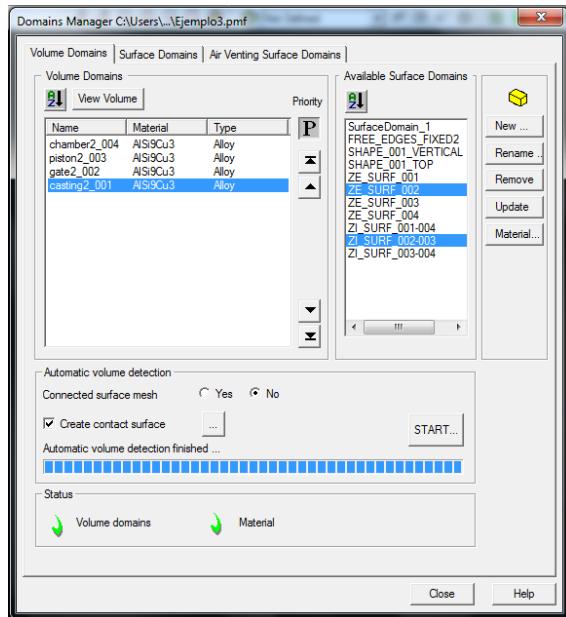


Ilustración 13: Materiales

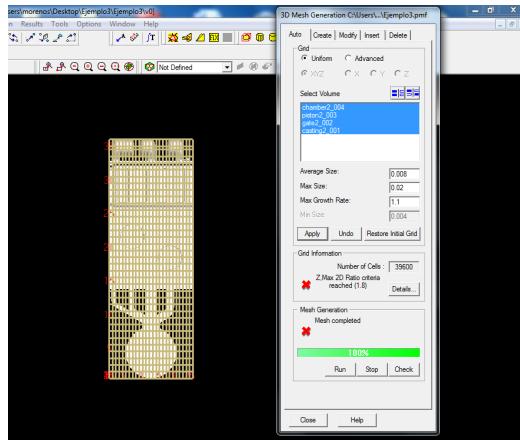


Ilustración 14: Mallado

- El siguiente y último paso de la primera parte será como en el caso anterior la definición de las condiciones límite. Es aquí donde se diferenciará este tutorial del anterior de moldeo en arena. En este caso las condiciones límite a definir serán distintas a las anteriores debido a que son dos procesos de moldeado distintos y requieren distintas funciones. Al igual que en el caso anterior algunas condiciones límite dependerán directamente de las dimensiones de la pieza. Las otras dependerán directamente de nosotros o del entorno en el que nos encontremos.

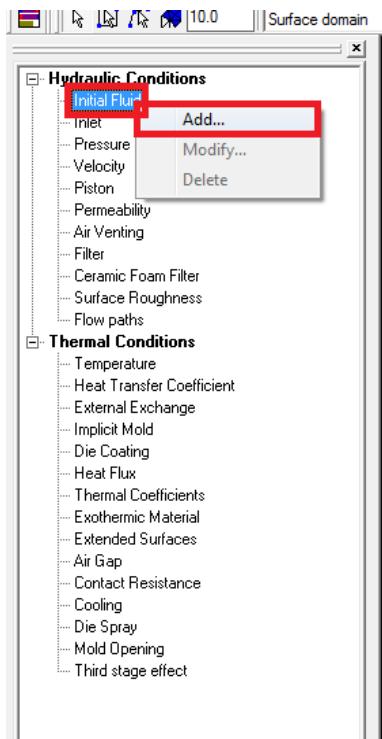


Ilustración 15: Condiciones Límite

- Por otro lado tenemos la segunda parte en la que usaremos el visor VisualCast. De esta manera podremos visualizar los resultados de lo que hemos trabajado con QuikCast. Así podremos deducir si hemos realizado un trabajo adecuado o deberíamos modificar algún dato o geometría para perfeccionar el moldeo.

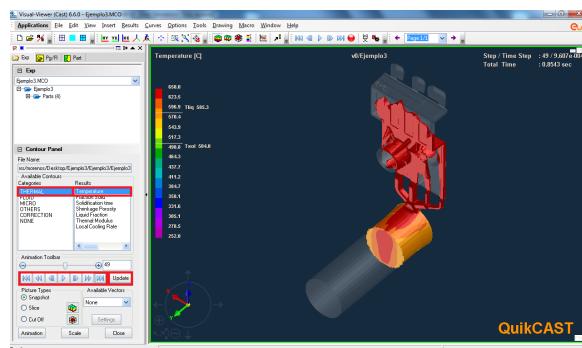


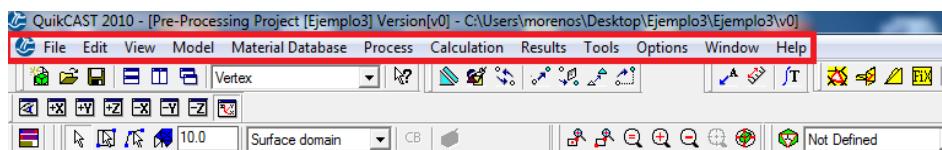
Ilustración 16: Práctica 2 VisualCast

Como ya se ha comentado, el usuario irá guiado en todo momento por los pasos a seguir e imágenes como la anterior que lo ayudarán durante el proceso de simulación. Además podrá consultar cualquier duda en el manual de ayuda propuesto que pasamos a definir más tarde.

## **2.2. Manual de ayuda:**

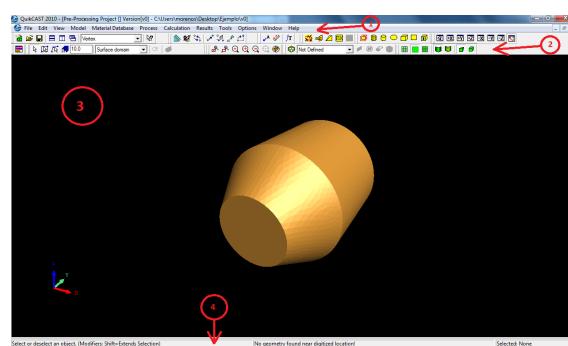
Otro documento realizado es un manual de ayuda. Este manual de ayuda será una útil herramienta para el alumno durante la realización de los tutoriales. En él encontraremos definidas todas las opciones que podemos encontrar en el software QuikCast. Tanto las de las barras de herramientas como la de los cuadros de diálogo que nos aparecen al pulsar cualquier opción de las barras de herramientas del programa.

Este manual está estructurado de manera que sigue el orden de la barra de menús situada en la parte superior del software.



**Ilustración 17:** Barra de menús

La primera parte es una introducción que nos ayudará a identificar la interfaz del programa. Nos marcará las zonas más importantes de trabajo definiéndonos estas mismas para tener una primera idea general de a lo que nos vamos a enfrentar. Además uno de los apartados de la introducción nos ayudará a saber que tipos de archivos puede abrir el software de moldeo QuikCast.



## Ilustración 18: Interfaz

Tras esta introducción y como se ha comentado antes, el manual irá estructurado según la barra de menús empezando por definirnos las opciones del primer menú que encontramos que es el menú **File**. Nos definirá todas sus opciones disponibles y los cuadros de diálogo que estas opciones nos abran. Tras esto continuará con los menús que siguen al menú **File**.

Por último en este apartado explicar que este documento ha sido realizado usando la ayuda en línea que encontramos en el propio software de QuikCast. Además se han usado los tutoriales antes mencionados, la consulta de algún video y de páginas de Internet y la experiencia obtenida por el propio manejo del software.

## **2.3. Trabajo Práctico propuesto:**

Como último documento realizado, encontramos un trabajo práctico que se propone para realizar al alumno una evaluación de sus conocimientos adquiridos a la hora de trabajar con QuikCast.

En este documento se le propone al alumno un caso en el que el será el ingeniero de una empresa y deberá realizar la simulación del moldeado de una pieza que se le ha encargado fabricar a su empresa. Para ello dispondrán de los datos necesarios para la simulación y del software que necesiten para ello.

Por último, una vez realizada la simulación se le pide que realice un informe de esta. Para ello deberá dar respuesta a una serie de preguntas que se le formulan al final del trabajo práctico.

Para realizar este documento, por una parte se ha tenido que realizar la pieza que deberá trabajar el alumno. Esta pieza ha sido mejorada durante toda la realización del proyecto debido a la consulta de su diseño con los tutores. A causa de esto se realizaron varias piezas previas hasta llegar a la pieza actual. Como un trabajo futuro se puede proponer la mejora de la pieza. Esta pieza ha sido realizada por el software de diseño CAD SolidWorks.

- La pieza que se propone actuará como tapa para un componente mecánico más grande que se encontrará en una de las máquinas del solicitante de la pieza.

Para poder definir el molde de la pieza se ha tenido que definir las mazarotas y el bebedero además de tener en cuenta ciertas consideraciones de diseño para evitar tensiones internas y posibles roturas. Para esas consideraciones se ha contado con la ayuda de dos libros de la biblioteca de la EINA que me han ayudado a poder realizar la pieza de la manera más correcta posible. Estos libros son por un lado **Matrices, moldes y utilajes** de la editorial **Dossat 2000**, escrito por **Julián Camareno De la Torre y Arturo Martínez Parra**, y por otro lado **Manufactura, ingeniería y tecnología** de la editorial **Prentice Hall** escrito por los autores **Serope Kalpakjian y Steven R. Schmid**.



**Ilustración 19:** Pieza trabajo práctico

- Tras realizar la pieza mediante SolidWorks, paralelamente se ha realizado el plano de la pieza final el cual estará incluido en el guión del trabajo práctico. Los alumnos partirán del plano de la pieza final, con el cual sabrán las dimensiones de la pieza. A

partir de ahí deberán pensar en como introducir el bebedero y la mazarotas necesarias. Además se le proporciona tres imágenes distintas de la pieza con la que se podrán orientar: la pieza después del moldeo, la pieza sin bebederos ni mazarotas y la pieza final.



Ilustración 20: Pieza final

- Ya por último se proporciona al alumno el enunciado del problema con los datos necesarios y las preguntas que deberá responder en el informe. Para ello se ha realizado previamente la simulación para saber cuales son los datos que se debían proporcionar al alumno. Además se han visualizado los resultados con VisualCast para saber que preguntas se podían poner para la realización del informe.

Como apartado externo al trabajo práctico pero necesario para el profesor, se incluye un documento en el que se proporciona al profesor las capturas de pantalla donde se pueden ver los resultados de las preguntas que se le hacen al alumno para la realización del informe. También cuenta con el plano de la pieza que se debe realizar con SolidWorks para ser trabajada en QuikCast. Esto es un modo más fácil para que el profesor pueda corregir los informes que realicen los alumnos sobre el trabajo práctico.

Además de realizar la pieza como antes hemos comentado, también se ha realizado varias veces la simulación para obtener los datos necesarios para poder realizar el guión de prácticas. Gracias a esta simulación se han redactado las preguntas para el informe. Debido a todo esto se ha realizado el documento antes mencionado que ayudará al profesor a la hora de corregir este trabajo. Este documento al igual que los anteriores se encuentra en los anexos para poder ser consultado.

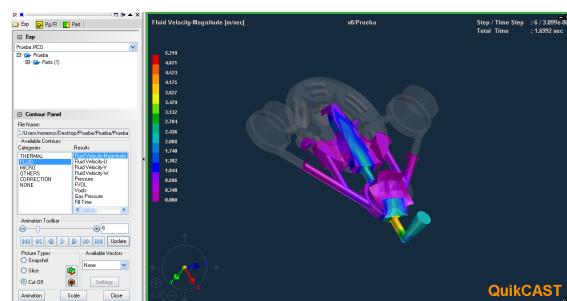


Ilustración 21: Velocidad del fluido

### **3. Duración aproximada de las prácticas:**

Una vez ya explicados todos los documentos desarrollados y su realización, para poder ponerlos en práctica de manera docente se ha de realizar una estimación de tiempos. Esto es necesario para calcular cuánto tiempo llevaría la realización de cada una de las prácticas. Además se tendrá en cuenta que pueden surgir problemas no derivados del personal docente ni de los alumnos, sino de los propios equipos informáticos.

Para la estimación de ese tiempo he realizado los dos tutoriales/prácticas y el trabajo práctico yo mismo, tomando nota de los tiempos que me llevaba realizar cada actividad y las partes donde se podrían encontrar más problemas. Teniendo en cuenta además el hecho de que los alumnos usarán este software en las prácticas por primera vez. Por esto el tiempo estimado se verá incrementado un poco al ser los alumnos principiantes en el uso del software de moldeo QuikCast.

Dicho esto, los tiempos estimados para los tutoriales/prácticas y el trabajo práctico, son los que se señalan a continuación.

- Tutorial/Práctica 1: Moldeo en arena: El tiempo estimado para este tutorial sería de unos 90 minutos aproximadamente, debido a que hay que importar 3 geometrías distintas y se crean muchos volúmenes y superficies a los que hay que renombrar y asignar materiales. Teniendo en cuenta que la duración habitual de las sesiones de prácticas son de 3 horas, para este tutorial/práctica podríamos asignarle una sesión de prácticas de 3 horas en la que se podría realizar junto a este tutorial/práctica también el siguiente.
- Tutorial/Práctica 2: Simulación de moldeo por inyección: Este tutorial/práctica es un poco más sencillo que el anterior debido a que hay operaciones que no se realizan en este tutorial/práctica. Además sólo hay que importar una geometría de pieza. Por ello el tiempo máximo que puede llevar realizar este tutorial/práctica sería de unos 80 minutos aproximadamente. Teniendo en cuenta que la duración habitual de las sesiones de prácticas son de 3 horas, para este tutorial/práctica podríamos asignarle una sesión de prácticas de 3 horas en la que se podría realizar junto a este tutorial/práctica también el anterior.
- Trabajo práctico: El trabajo práctico al ser propiamente un trabajo requerirá de más tiempo que los tutoriales/prácticas anteriores. Debido a que el trabajo es similar al tutorial/práctica de moldeo en arena, tendremos un tiempo estimado de realización de 90 minutos. Además habrá que sumar el tiempo que costaría realizar el informe debido a que tienen que estar constantemente mirando a la pantalla para extraer los datos. Por último hay que añadir el tiempo que se tardará en realizar la otra simulación que en el informe se pide modificando ciertos datos indicados en el trabajo práctico. Sumando todos estos tiempos nos da una duración de aproximadamente 2:30 horas. Si además nos ponemos en el peor caso en el que también tengan que realizar la geometría de la pieza en el software SolidWorks nos pondríamos en una duración de aproximadamente 3 horas. Teniendo en cuenta que la duración habitual de las sesiones de prácticas son de 3 horas, para el trabajo práctico podríamos asignarle una sesión de prácticas de 3 horas con la posibilidad de poder pedir la sala de ordenadores para terminar el trabajo en caso de que no hayan sido suficiente estas 3 horas.

## **4. Objetivos docentes:**

Todo material docente debe cumplir ciertos objetivos y satisfacer unos resultados de aprendizaje. Como este proyecto que aquí se expone no es otra cosa que material docente, también cumplirá algunos objetivos docentes y ciertos resultados de aprendizaje.

Se ha llegado a la conclusión de que este proyecto puede ir orientado a las asignaturas de Tecnologías de fabricación II del Grado en Ingeniería Mecánica, y Procesos de Fabricación/Tecnologías de Fabricación tanto de los Grados en Ingeniería Eléctrica/Electrónica/Química/Diseño como del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

A continuación se señalan los distintos objetivos docentes y resultados de aprendizaje que se cumplen para cada uno de los grados anteriormente citados con su correspondiente asignatura:

- Grado en Ingeniería Mecánica: Tecnologías de Fabricación II:

El objetivo a cumplir es el aprendizaje de aspectos relativos a la fabricación mecánica mediante procesos de fundición aplicando una metodología determinada. Dando como resultados de aprendizaje:

- 1) Adquirir una sólida base de conocimientos basados en criterios científico-tecnológicos sobre algunos procesos de fabricación en construcciones metal-mecánicas.
- 2) Identificar sus ventajas e inconvenientes, así como los defectos y los medios de control y solución de los mismos.
- 3) Conocer las máquinas así como los principios básicos de diseño de algunos utillajes herramientales utilizados en los procesos de moldeo.

- Grado en Ingeniería Eléctrica/Electrónica/Química/Diseño: Procesos de Fabricación/Tecnologías de Fabricación:

El objetivo a cumplir será el correcto dimensionado de los diferentes componentes, la realización de los ensayos finales funcionales, la captura de datos y automatización de los procesos.

Dando como resultados de aprendizaje:

- 1) Identificación de los distintos procesos y sistemas de fabricación, incluyendo ventajas e inconvenientes y defectos que puede presentar su aplicación.
- 2) Seleccionar los procesos de fabricación más adecuados a partir del conocimiento de las capacidades y limitaciones de estos según las exigencias tecnológicas del producto.

- Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales: Procesos de Fabricación:

El objetivo a cumplir es el aprendizaje de aspectos relativos al diseño y desarrollo de componentes mecánicos fabricados mediante procesos de fundición.

Dando como resultados de aprendizaje:

- 1) Seleccionar los procesos de fabricación más adecuados a partir del conocimiento de las capacidades y limitaciones de estos según las exigencias tecnológicas y técnicas del producto.
- 2) Adquirir una actitud crítica ante soluciones ya utilizadas, de manera que incite a profundizar en el estudio y análisis de los temas objeto de esta disciplina y a plantear estrategias de innovación.

## **5. Conclusiones y trabajo futuro:**

Tras la utilización e investigación del programa QuickCast, el uso de la ayuda del software y la consulta de tutoriales se han desarrollado dos tutoriales/prácticas. Estos introducirán y ayudarán al usuario en el manejo del programa QuickCast. Además le guiarán paso a paso a través de la realización de dos simulaciones de moldeo: por arena y por inyección.

Por otro lado al final de cada práctica se guía al usuario a través de una serie de pasos en la visualización de los resultados de las prácticas. Para ello se usará el programa de visualización VisualCast.

También se ha realizado un manual de ayuda del programa con los conocimientos adquiridos mediante su uso y los tutoriales realizados. Este ayudará al usuario durante su trabajo con el software QuikCast a la hora de resolver dudas que le surjan durante la realización de su trabajo o las prácticas docentes.

El último documento realizado ha sido un guión de prácticas para un trabajo práctico a realizar por parte de los alumnos. En él tendrán que realizar una simulación de una pieza determinada con unos datos concretos y llenar un informe respondiendo a unas preguntas que se les formulan al final de este trabajo práctico. El fin de esto será poder evaluar los conocimientos adquiridos por parte de los alumnos tras la realización de los tutoriales/prácticas. Para la realización de este documento se ha tenido que diseñar de cero la pieza que los alumnos van a simular. Esta pieza ha tenido varias versiones debido al hecho de que se ha mejorado poco a poco durante la realización del proyecto. Además se han realizado las simulaciones del trabajo práctico varias veces con el fin de obtener los datos necesarios para la elaboración del propio trabajo.

Por otra parte se ha realizado una búsqueda de asignaturas relacionadas con el proyecto y un análisis de los objetivos y resultados de aprendizaje de estas. Tras este análisis se han definido aquellos objetivos y resultados de aprendizaje que se satisfacen realizando las prácticas de este proyecto.

Siguiendo a todo esto se han acotado la realización de las prácticas docentes en un margen de tiempo. Para estimar este margen, se ha hecho un estudio de tiempos mediante la realización de la simulación de los tutoriales y el trabajo práctico. Así se ha llegado a una conclusión de los tiempos necesarios para realizar cada una de las partes propuestas.

Como dificultades se puede nombrar la conversión de formatos del archivo de la pieza realizada para el trabajo práctico. Esto es debido a que los tipos de archivos que se pueden abrir con el software QuikCast son limitados.

Para finalizar se propone como trabajo futuro una posible revisión de la pieza diseñada para el trabajo práctico. Esta revisión tiene el fin de mejorar esta misma pieza para mejorar los resultados obtenidos en la simulación respecto al llenado y solidificación, o con respecto a cualquier detalle que se puede mejorar. De esta manera pasaremos a acercarnos cada vez más a la pieza que menores defectos pueda presentar, así se irá mejorando poco a poco la funcionalidad de la pieza.

DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

## Anexo I: Práctica 1: Moldeo en arena

---



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza**

Realizado por:

Enrique José Moreno García

# Moldeo por Arena

## **Introducción:**

En esta primera práctica, mediante el programa QuikCast, os guiaremos paso a paso para realizar una pieza por moldeo. Además usaremos el programa VisualCast para visualizar los resultados de lo que hemos realizado con QuikCast.

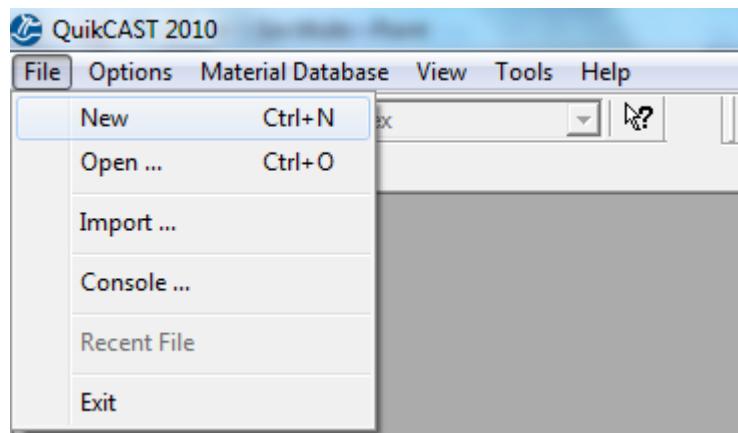
El objetivo de la práctica será la creación de la geometría del molde de arena, para poder crear dicha pieza que necesitamos y la visualización de los resultados de lo que hemos realizado.

## **Paso a paso:**

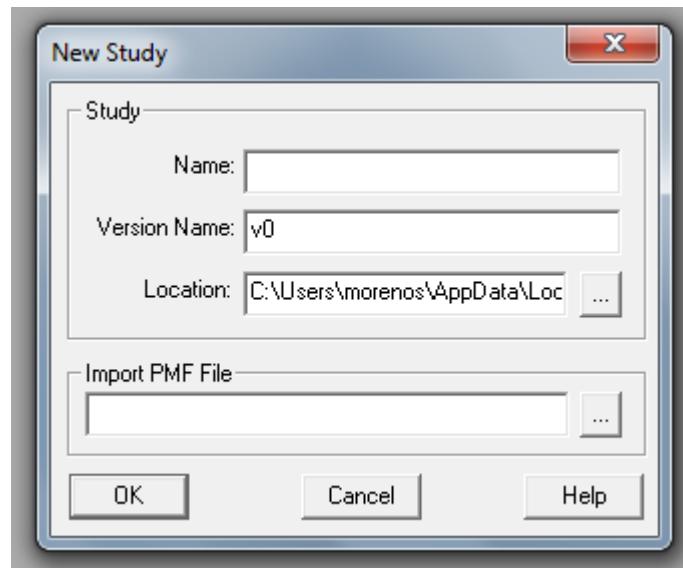
Abrimos QuikCast y empezamos de cero.

Los primeros pasos serán para importar la geometría del archivo CAD al programa

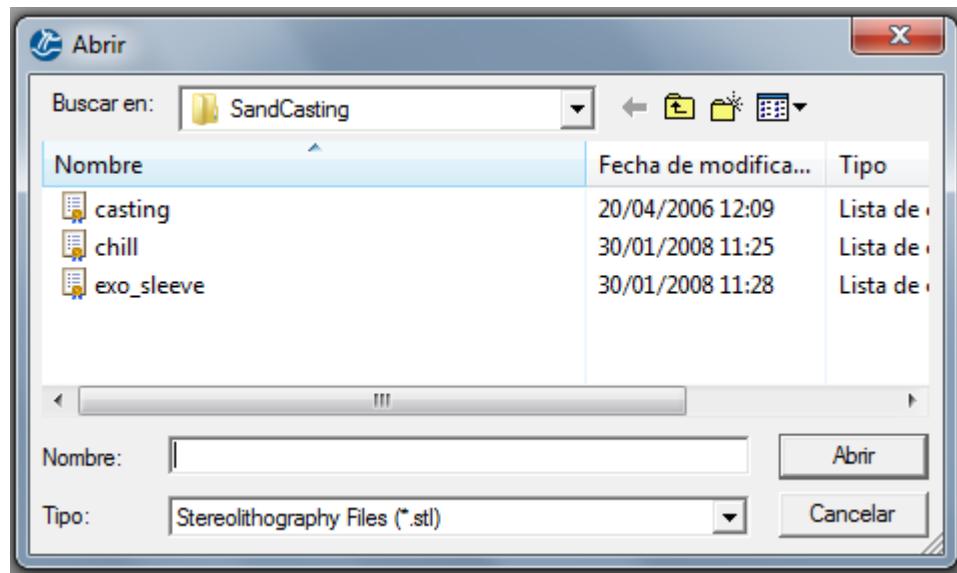
1. Seleccionamos la opción **New** desde el menú **File**.



2. Ponemos un nombre al nuevo “Estudio” en **Name**.
3. En **Location** buscamos donde se va a guardar el nuevo “Estudio”.
4. Y por último le damos a **OK**.

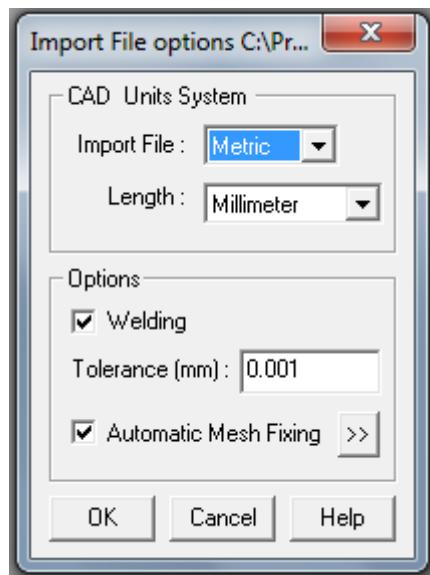


5. Buscamos y seleccionamos el archivo STL llamado **casting.stl** que previamente os abran indicado su ubicación.
6. Pulsamos **Open** para cargar el archivo CAD en la ventana de modelo.



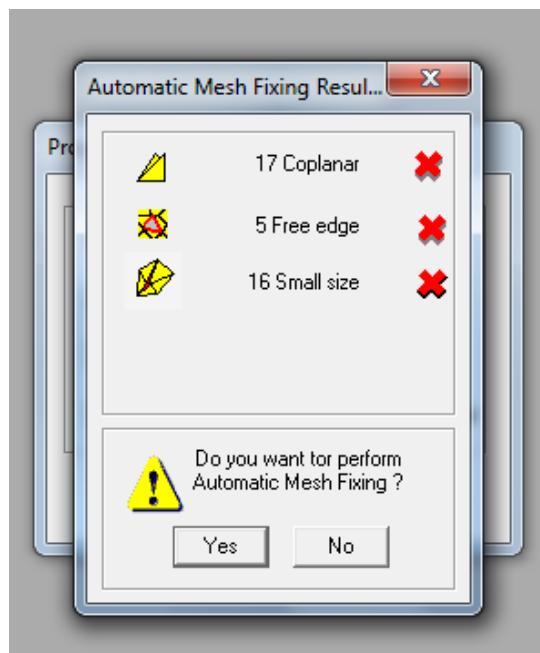
7. Definimos el sistema de unidades del archivo CAD en la opción **Length**, las unidades del archivo casting.stl son milímetros (**Milimeter**).
8. Activamos la opción **Welding**.

9. Insertamos el valor de las tolerancias en la opción **Tolerance (mm)**, ponemos 0.001
10. Activamos la opción **Automatic Mesh Fixing**.
11. Pulsamos **OK**.



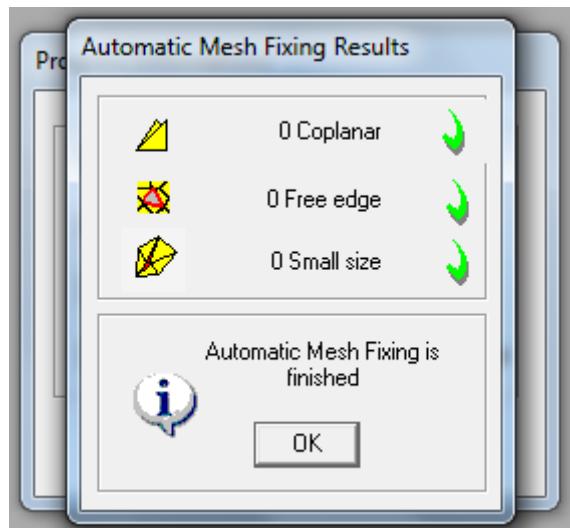
Aparecerá una ventana diciendo que ha encontrado un problema y la descripción de este, sucedido en el análisis de los archivos CAD

12. Pulsamos **YES**, y continuamos.

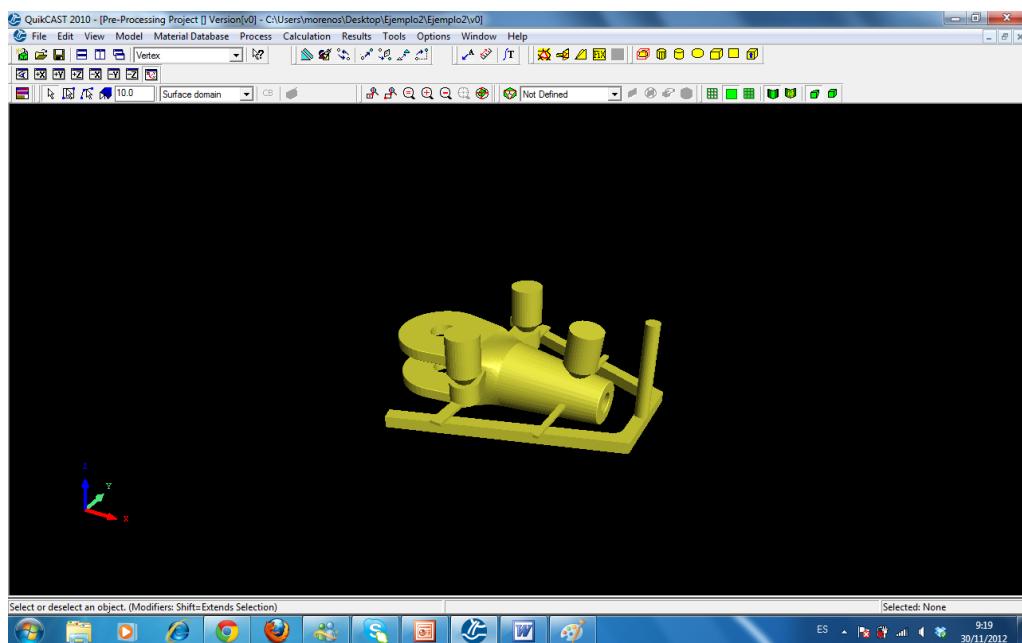


Aparecerá otra ventana con los resultados del **Automatic Mesh Fixing**.

13. Pulsamos **OK** para continuar.

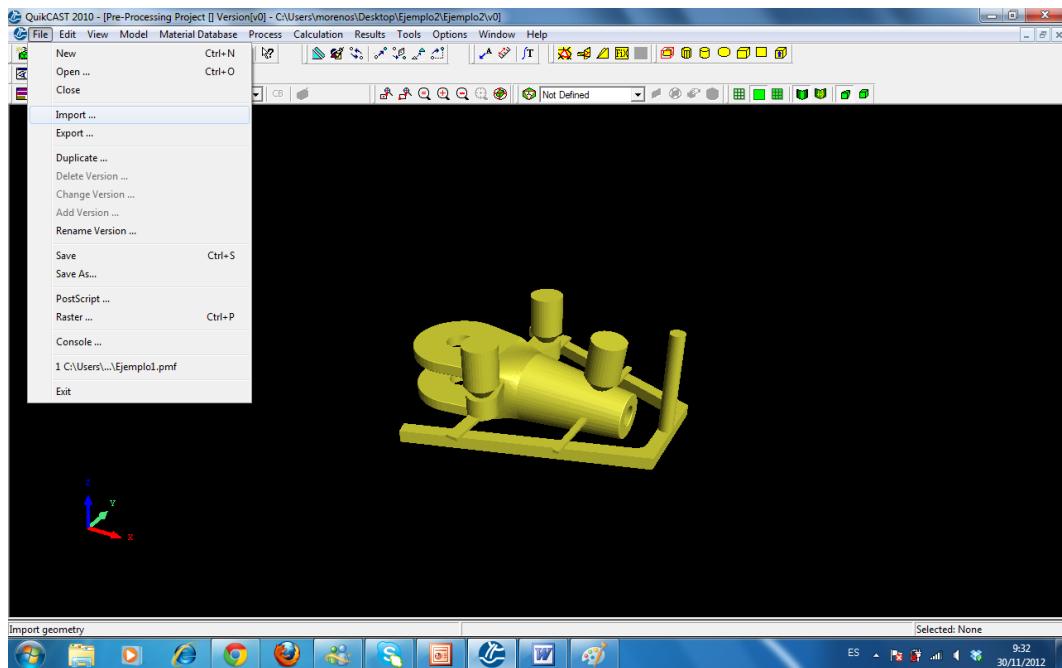


La geometría del núcleo del molde de arena habrá sido importada satisfactoriamente.

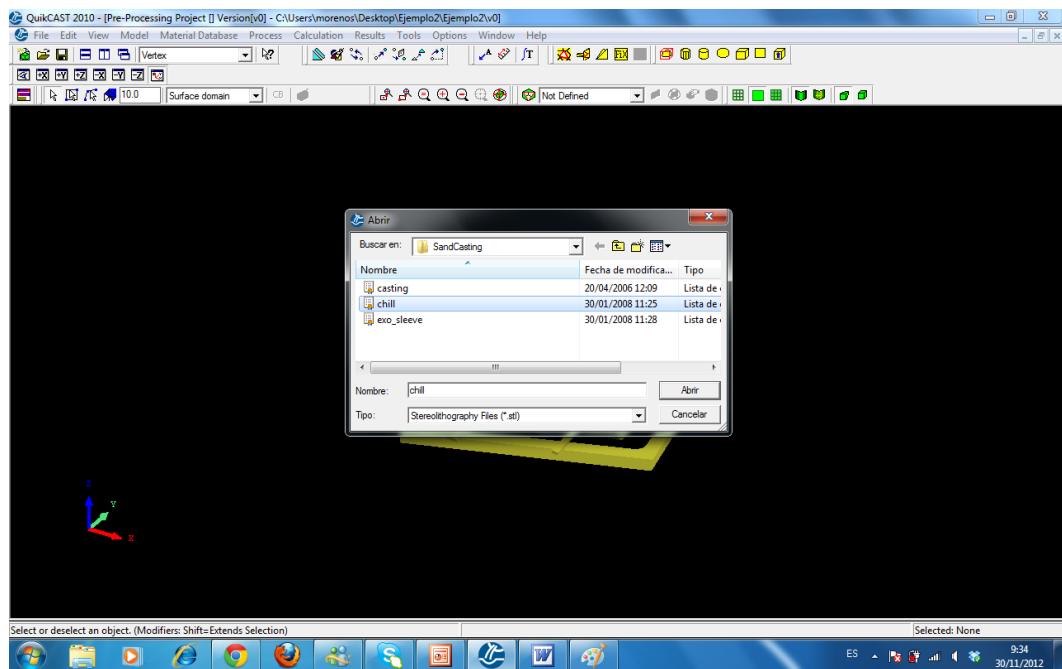


Ahora importaremos al modelo las “chills” o una especie de placas que generaran un hueco en el molde para controlar la solidificación de la pieza, comúnmente llamadas enfriadores.

1. Seleccionamos la opción **Import** del menú **File**.

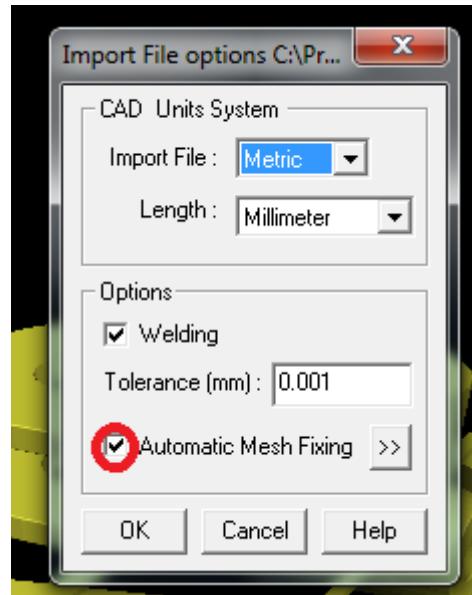


2. Buscamos el archivo de CAD “**chill.STL**” que lo más probable es que este en la misma carpeta que el archivo que primero introdujimos “**casting.STL**”
3. Pulsamos **Open** para cargar el archivo CAD en la ventana del modelo.



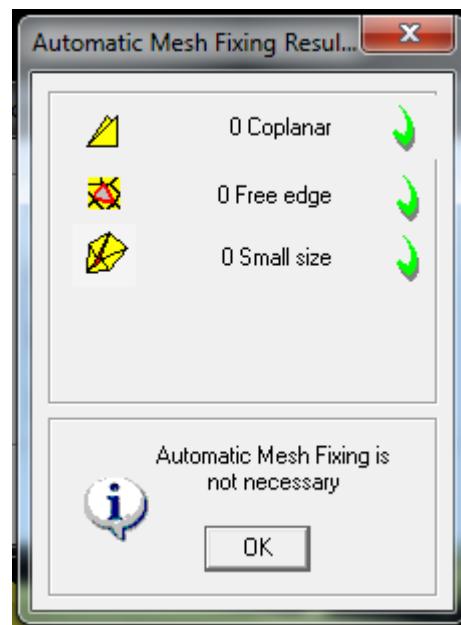
4. Activamos la opción **Automatic Fixing**.

5. Pulsamos en **OK**.

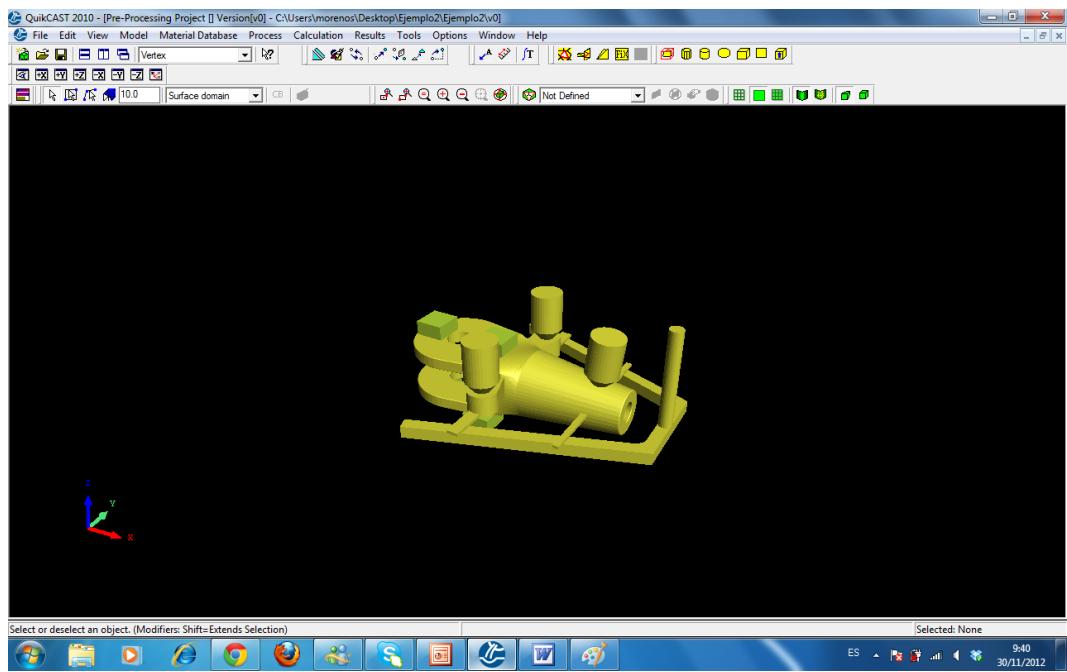


Aparecerá una ventana que nos dirá que no se han detectado problemas en el análisis de la geometría.

6. Pulsamos **OK**, y luego pulsamos **Close**, en la otra ventana que ha salido.

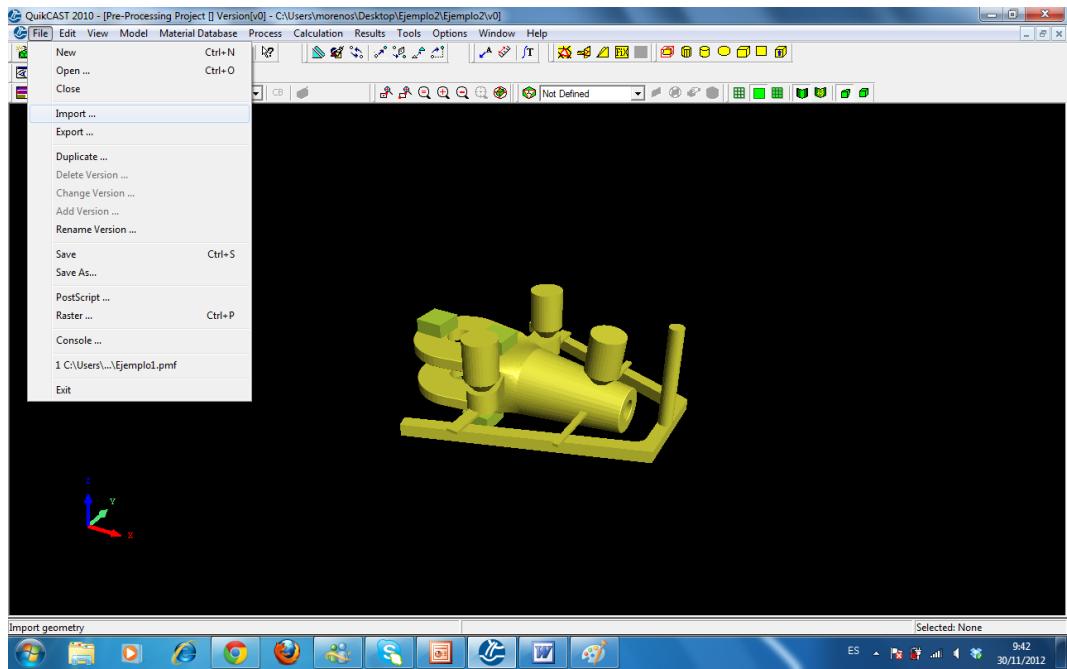


Así una vez hecho esto, las “chills” habrán sido importadas satisfactoriamente.

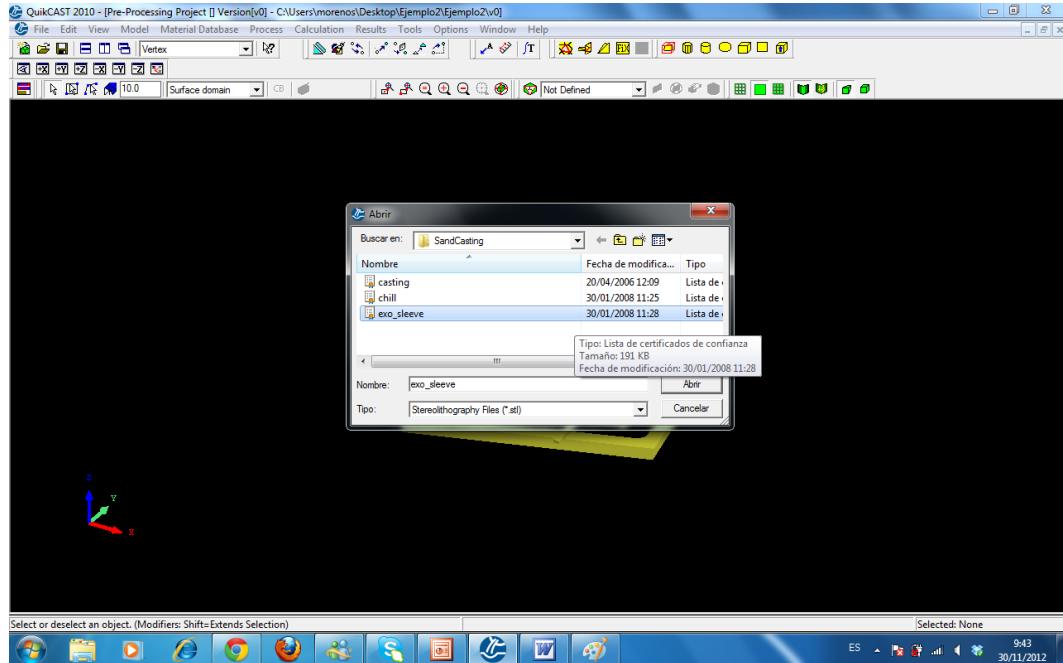


A continuación pasaremos a importar las “sleeves” que serán los vertederos de la colada, además de hacer función de mazarota.

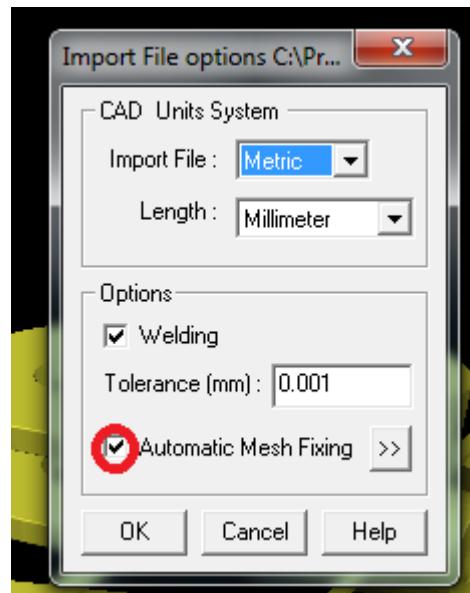
### 1. Seleccionamos la opción **Import** del menú **File**.



2. Buscamos el archivo de CAD “**exo\_sleeve.STL**” que lo más probable es que este en la misma carpeta que el archivo que primero introdujimos “**casting.STL**”
3. Pulsamos **Open** para cargar el archivo CAD en la ventana del modelo.

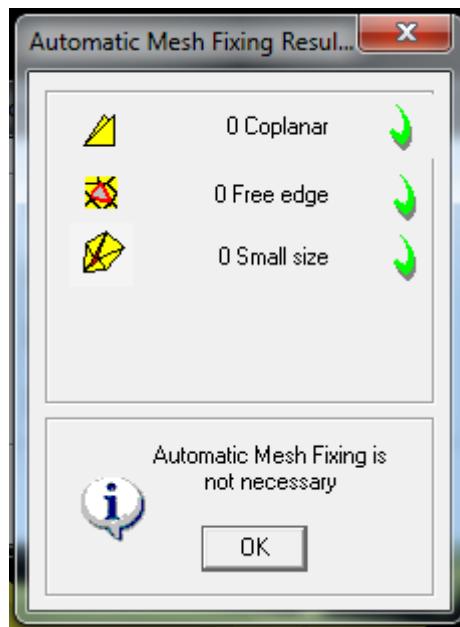


4. Activamos la opción **Automatic Fixing**.
5. Pulsamos en **OK**.

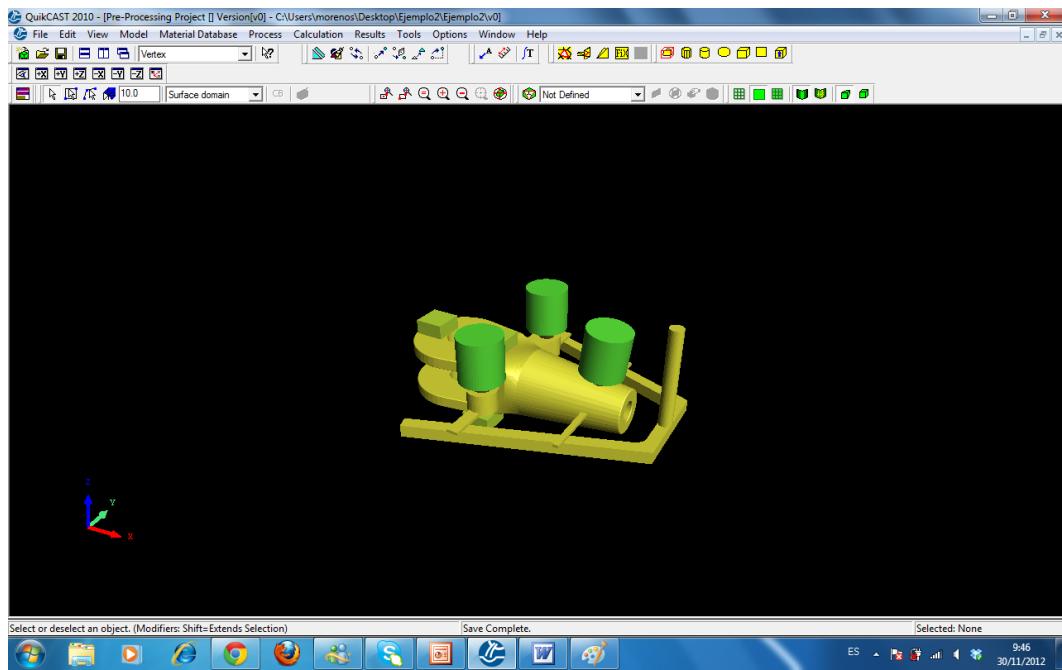


Aparecerá una ventana que nos dirá que no se han detectado problemas en el análisis de la geometría.

6. Pulsamos **OK**, y luego pulsamos **Close**, en la otra ventana que ha salido.

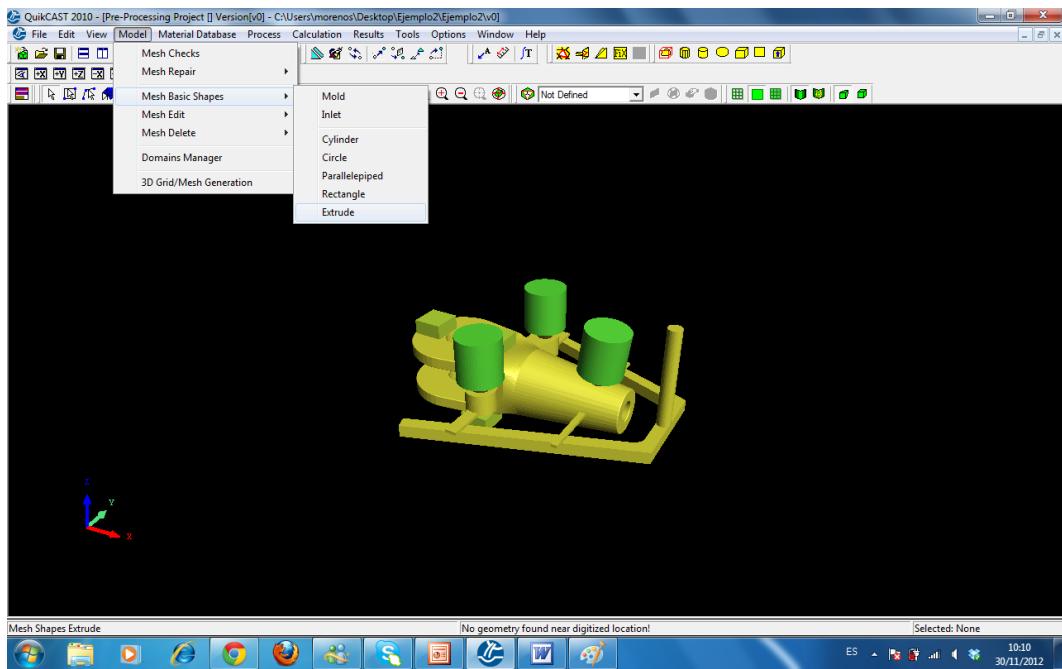


Así una vez hecho esto, habremos importado satisfactoriamente las “sleeves”.

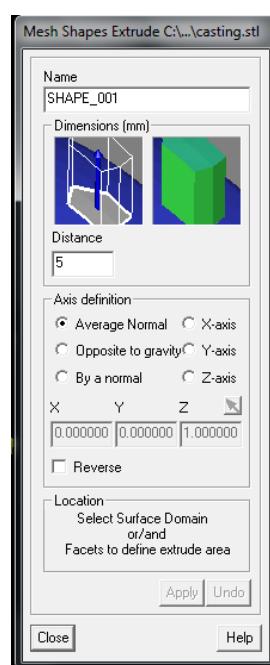


Ahora pasaremos a crear la entrada de CAD automática, con lo que crearemos los volúmenes de entrada del molde y por donde entrara la colada, que mas tarde definiremos con un material apropiado.

1. Lo primero será desde el menú **Model** seleccionamos **Mesh Basic Shapes** y a continuación seleccionamos **Extrude** ( en versiones más viejas tendremos que seleccionar **Create Inlet** y desde ahí pulsar la opción de **Extrude**)

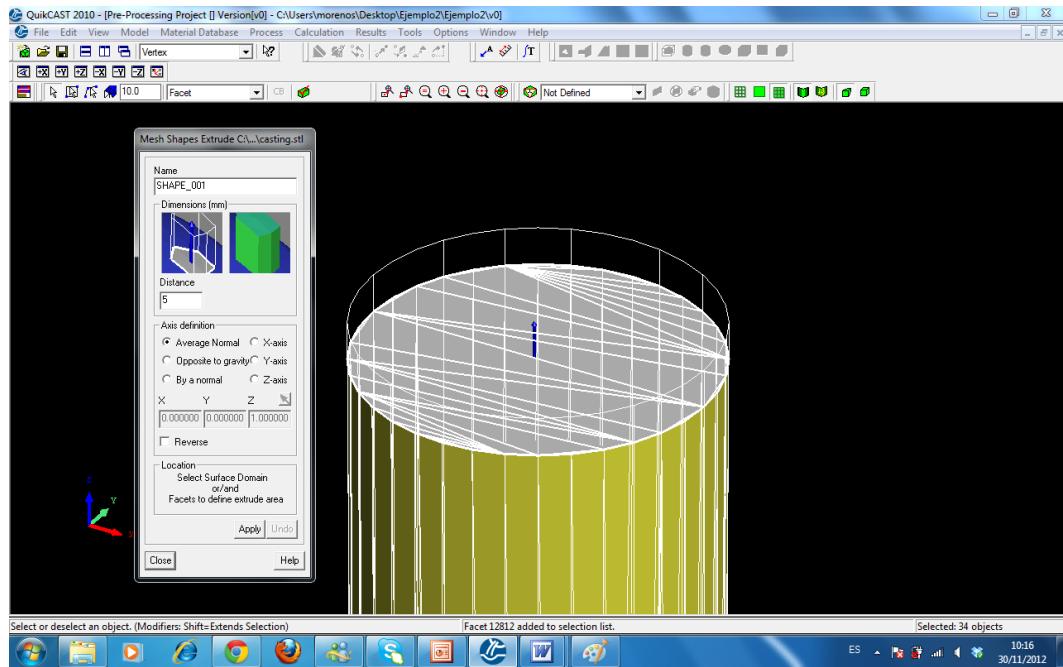


2. Asignamos la distancia de extrusión que serán 5.

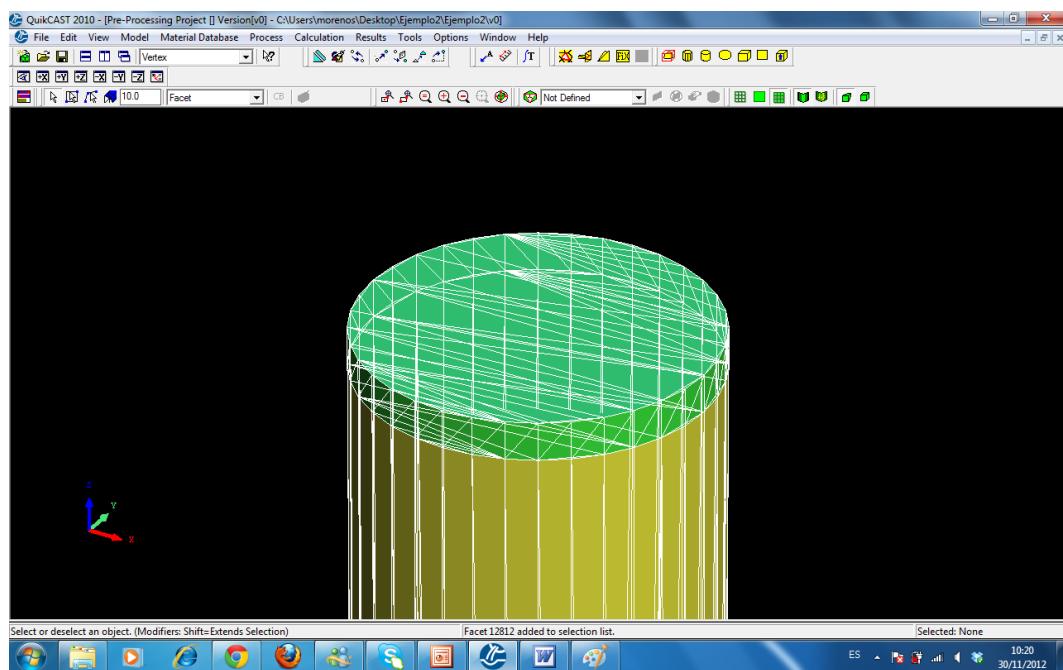


3. Acercamos la vista a la parte de arriba del tubo y cambiamos a modo de pantalla **Wire&Shaded** para mostrar las facetas
4. En la selección de identidad debe poner **Facet**
5. Seleccionamos la superficie de arriba del tubo (SHIFT mas botón izquierdo del ratón)

La geometría de extrusión es mostrada automáticamente para cada nueva faceta seleccionada. Se deben seleccionar una por una todas las superficies.

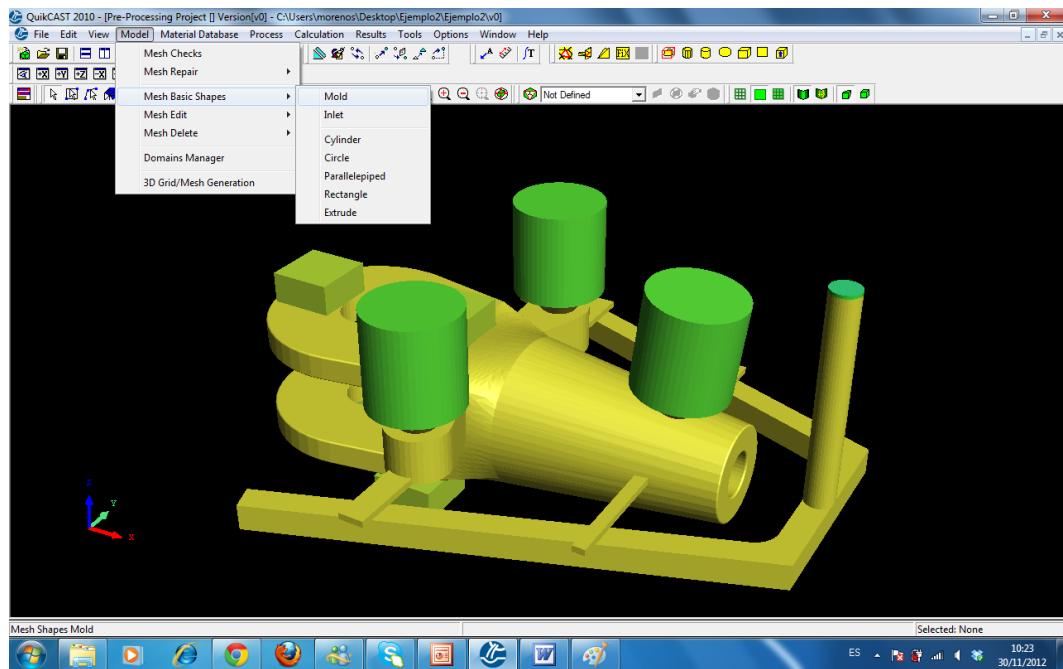


6. Por último pulsamos **Apply** cuando todas las superficies hayan sido pulsadas para aplicar los cambios y pulsamos **Close**. El volumen de entrada se habrá creado satisfactoriamente.

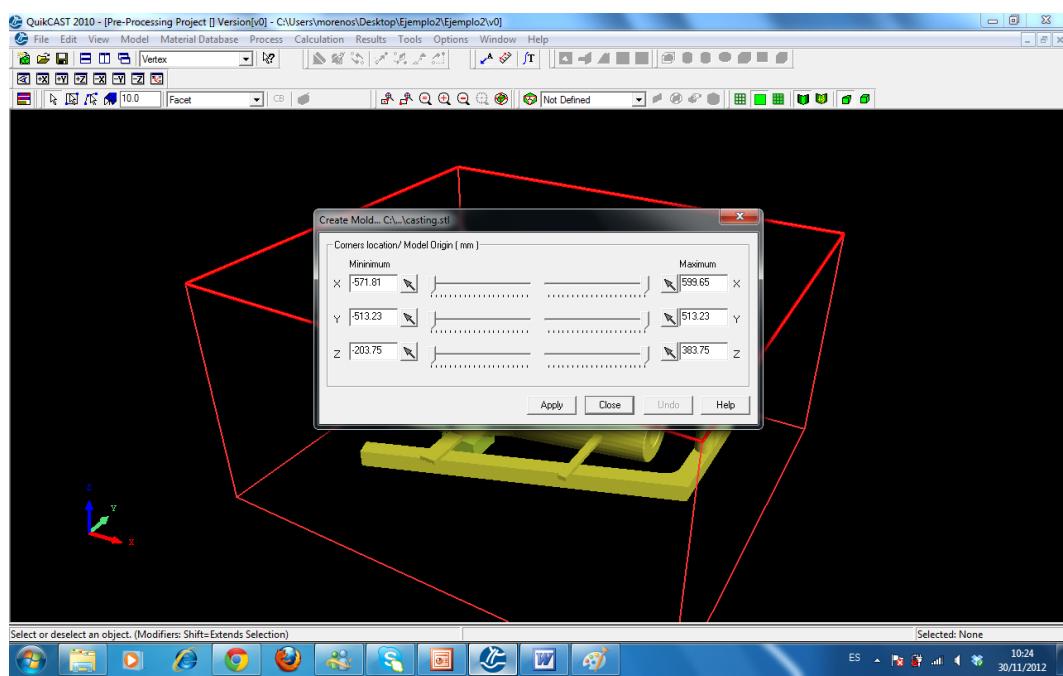


Ahora pasaremos a la creación del molde de CAD automático, por lo que crearemos el molde en el que irá vertida la colada para crear nuestra pieza, gracias a que hemos introducido previamente la geometría que necesitábamos.

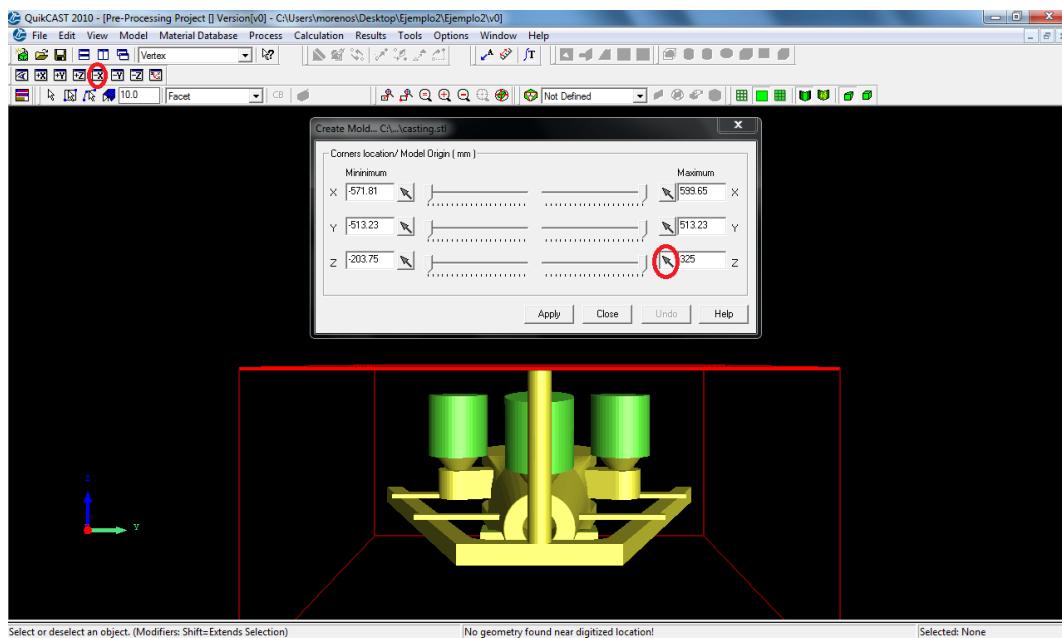
Así que lo primero será seleccionar la opción **Mold** del menú **Model** a través de la opción **Mesh Basic Shapes**.



El contorno del molde exterior se mostrará en rojo.

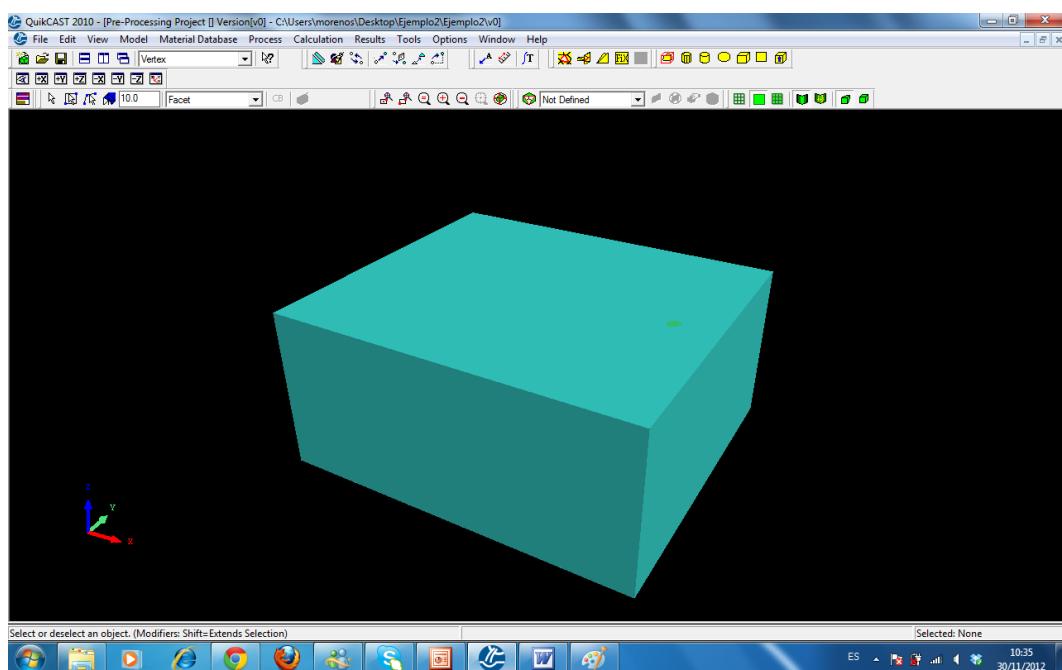


1. Cambiamos la vista al eje X
2. Ajustamos al máximo el límite del molde en la dirección Z con el fin de encajarlo con la parte superior del tubo, para ello pulsamos en el botón que sale la flecha del ratón, y pulsamos la parte superior del tubo.
3. Pulsamos **Apply**.



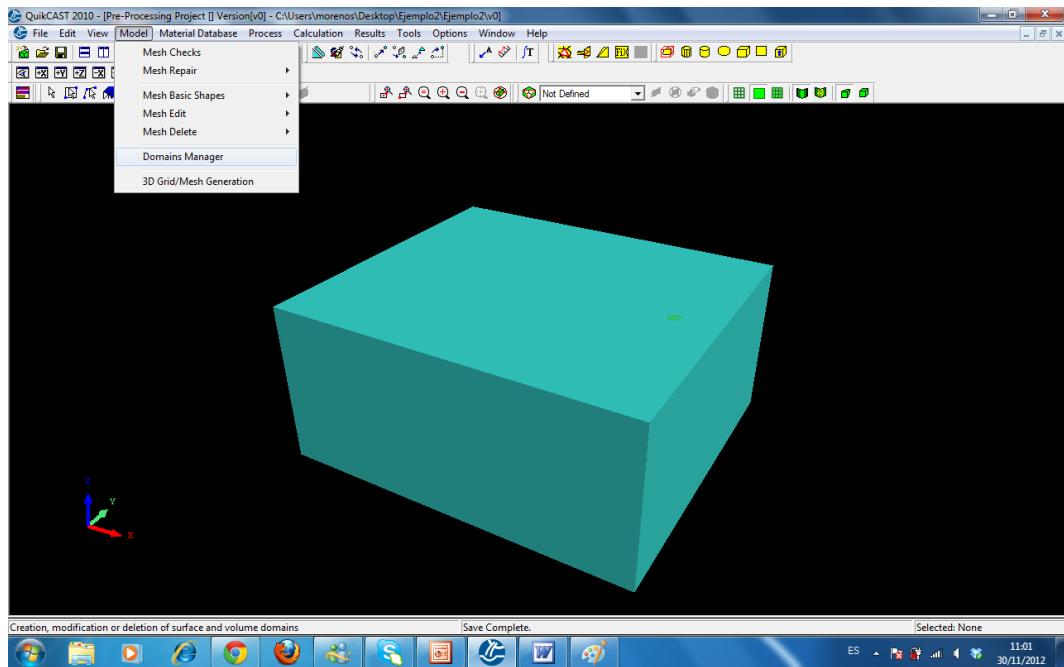
De esta manera habremos creado el molde externo de manera satisfactoria.

Veremos en la superficie del molde una especie de círculo verde, esa es la superficie del tubo que hemos seleccionado, que nos hará de vertedero por donde echar la colada.

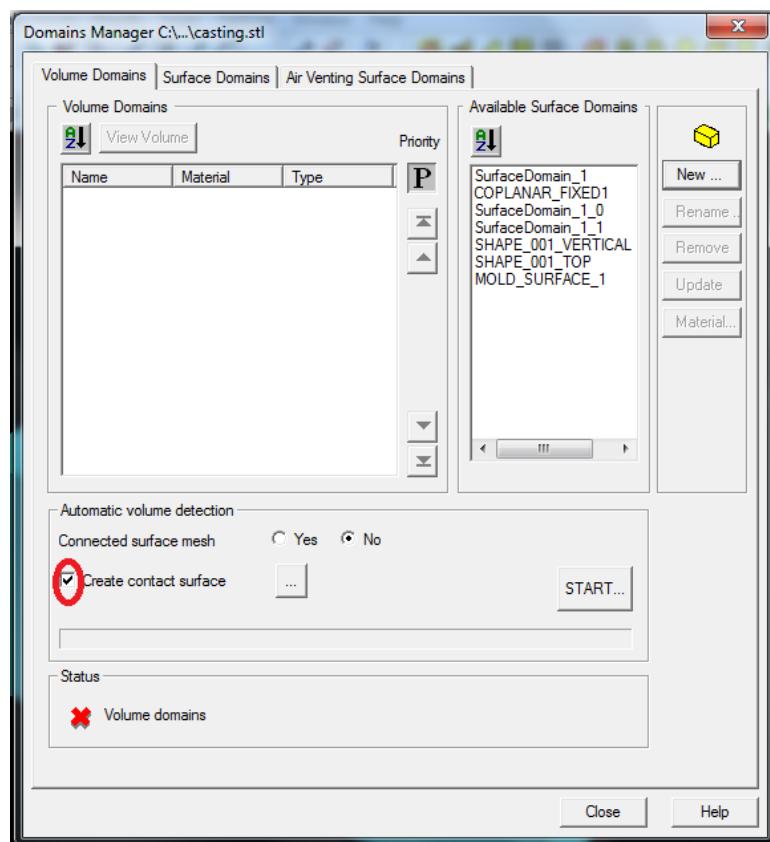


A partir de este punto definiremos los materiales que intervendrán en el proceso.

Para ello seleccionaremos la opción **Domain Manager** del menú **Model**.

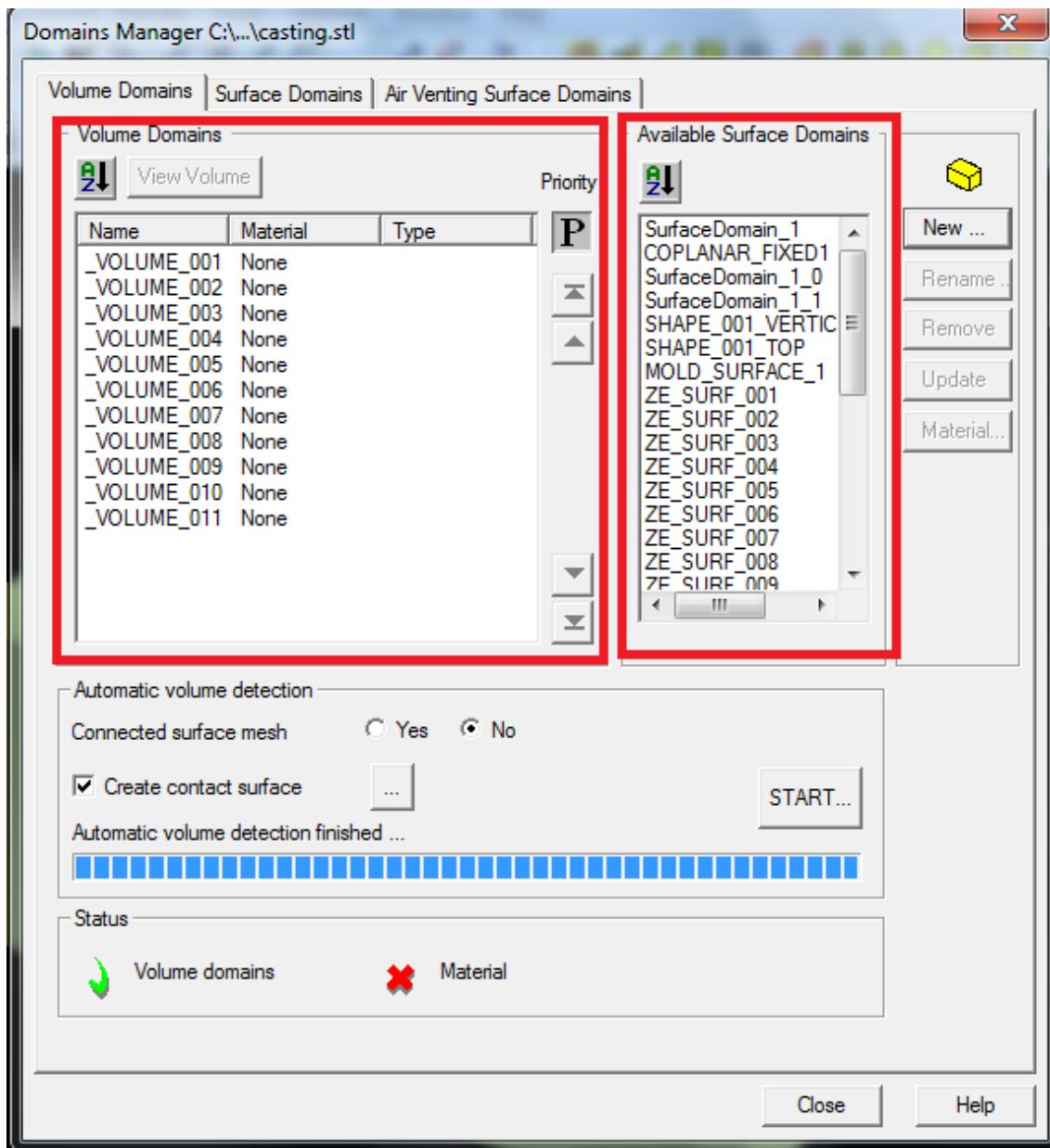


1. Activamos la opción **Create Contact Surface**
2. Pulsamos **Start** para empezar la detección automática de volumen,

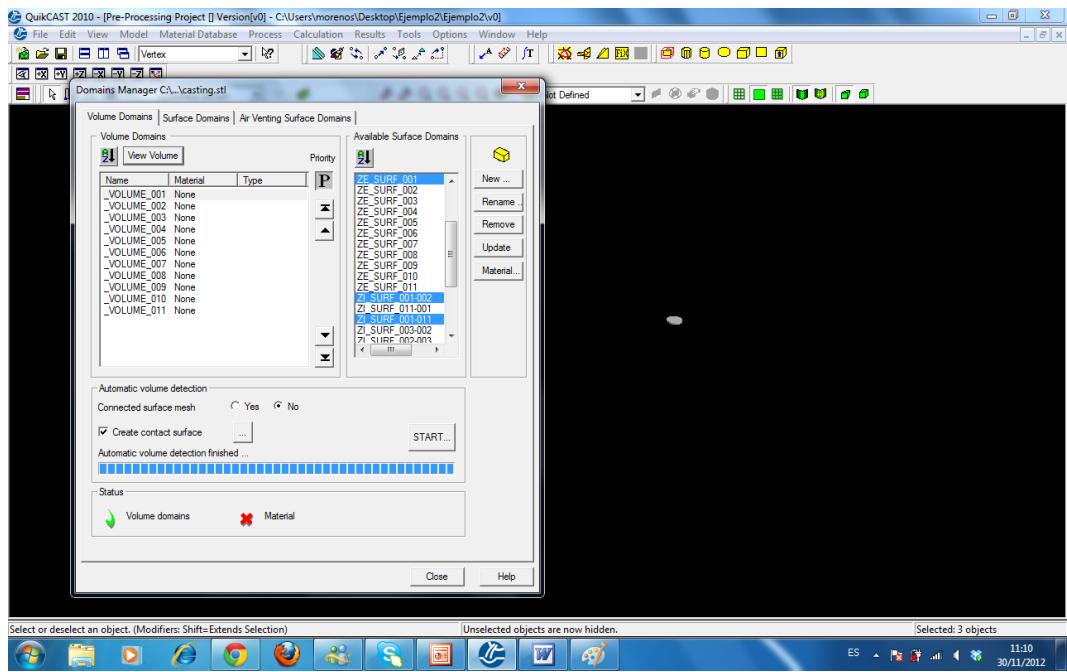


Habrá sido detectados 11 dominios de volumen que necesitan ser renombrados y que se les asigne materiales con propiedades.

Por otro lado habrá sido creados automáticamente nuevos dominios de superficies porque la opción **Create Contact Surface** ha sido activada.

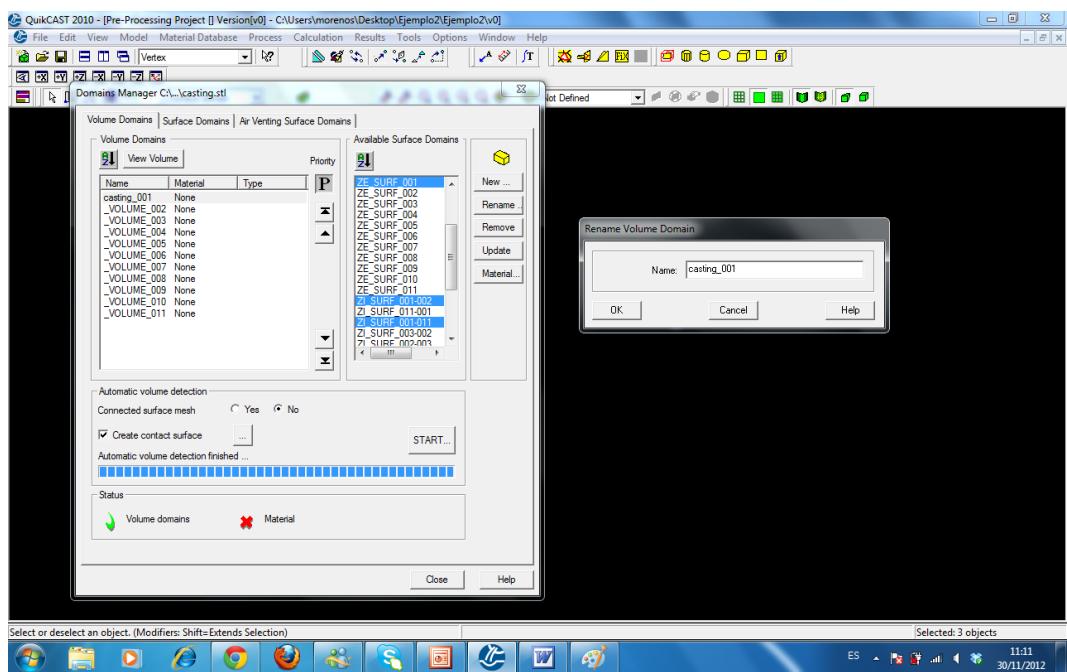


1. Seleccionamos el volumen 1 (volumen\_001) pulsando con el botón izquierdo del ratón.
2. Pulsamos en **View Volume** para mostrar el Volume\_001



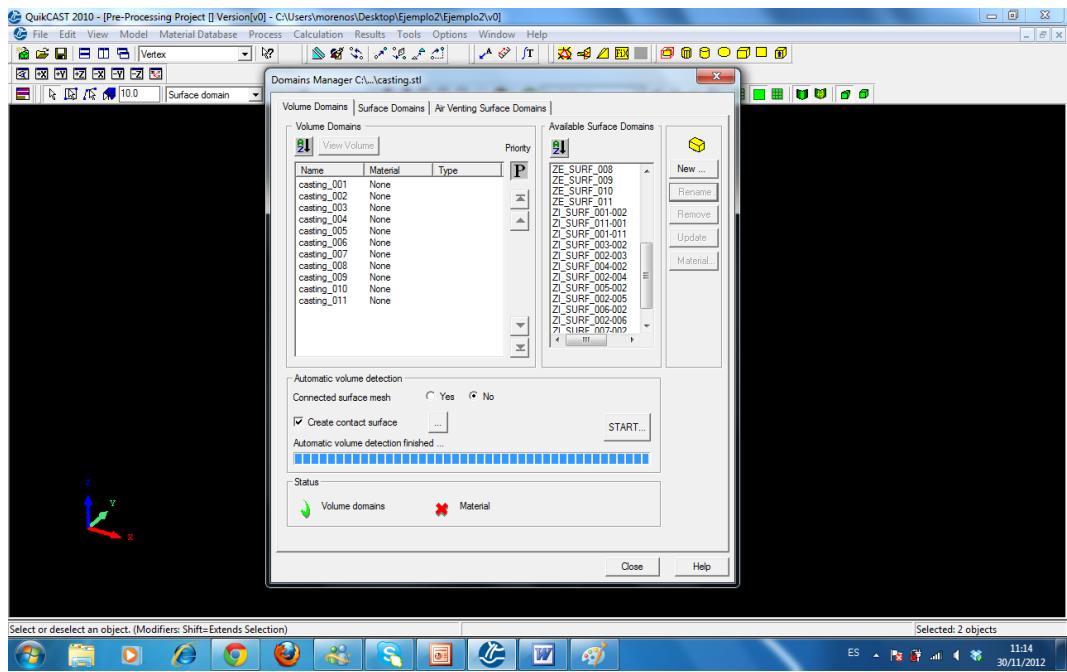
3. Pulsamos **Rename**.

4. E introducimos el nuevo nombre del volumen y pulsamos **Ok**.

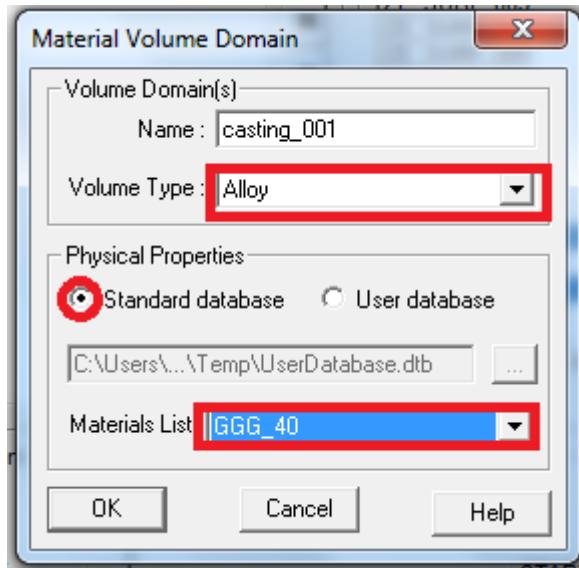


Y así repetimos los pasos 1, 2, 3 y 4 para los 11 volúmenes que se han creado.

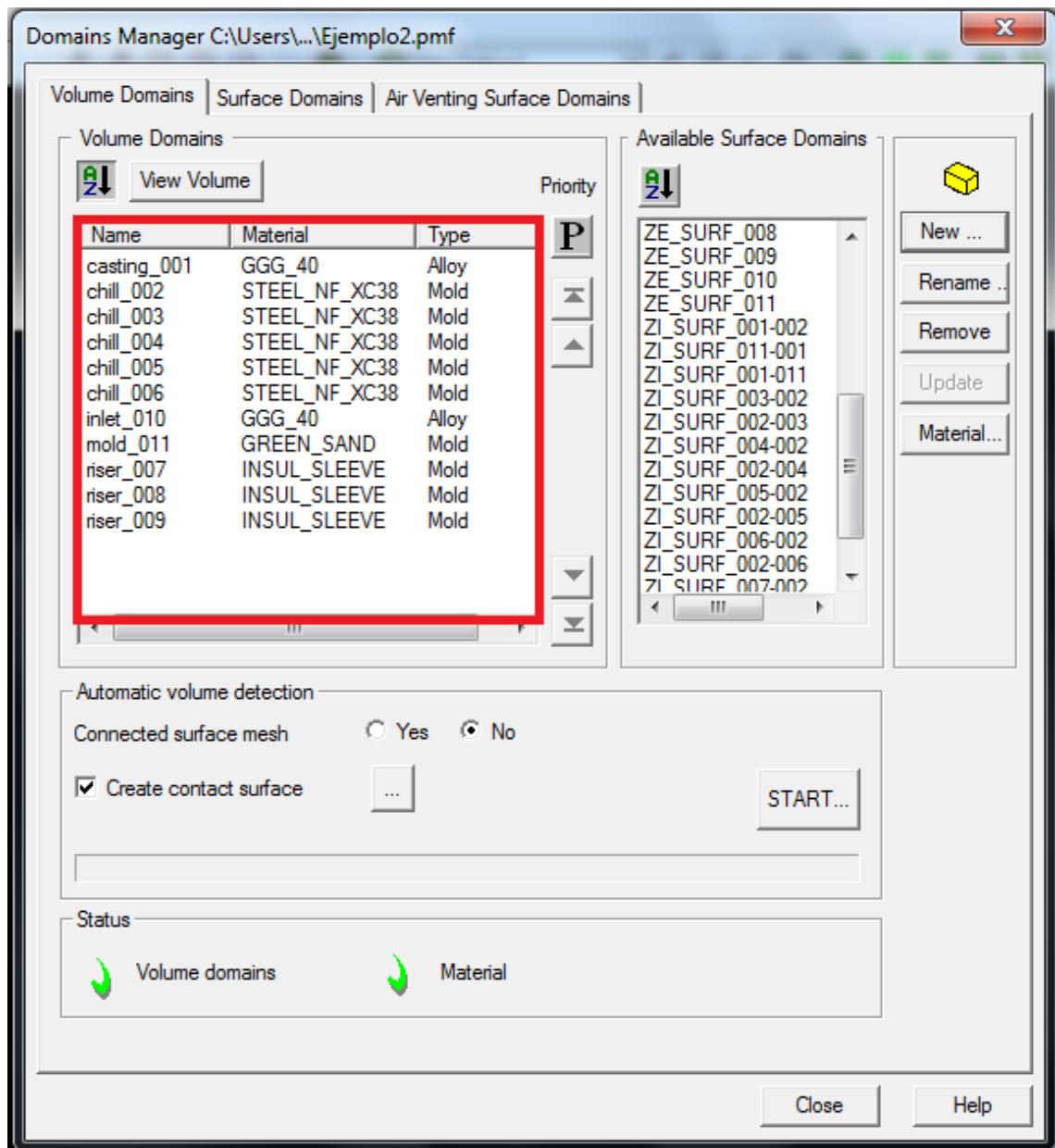
Lo que hemos introducido como “chill” serán las chill\_002 a chill\_006, lo que hemos introducido como “sleeves” serán los riser\_007 a riser\_009, por ultimo el molde será mold\_011, y la pieza en si será casting\_001, y el ultimo que queda será la entrada de material inlet\_010.



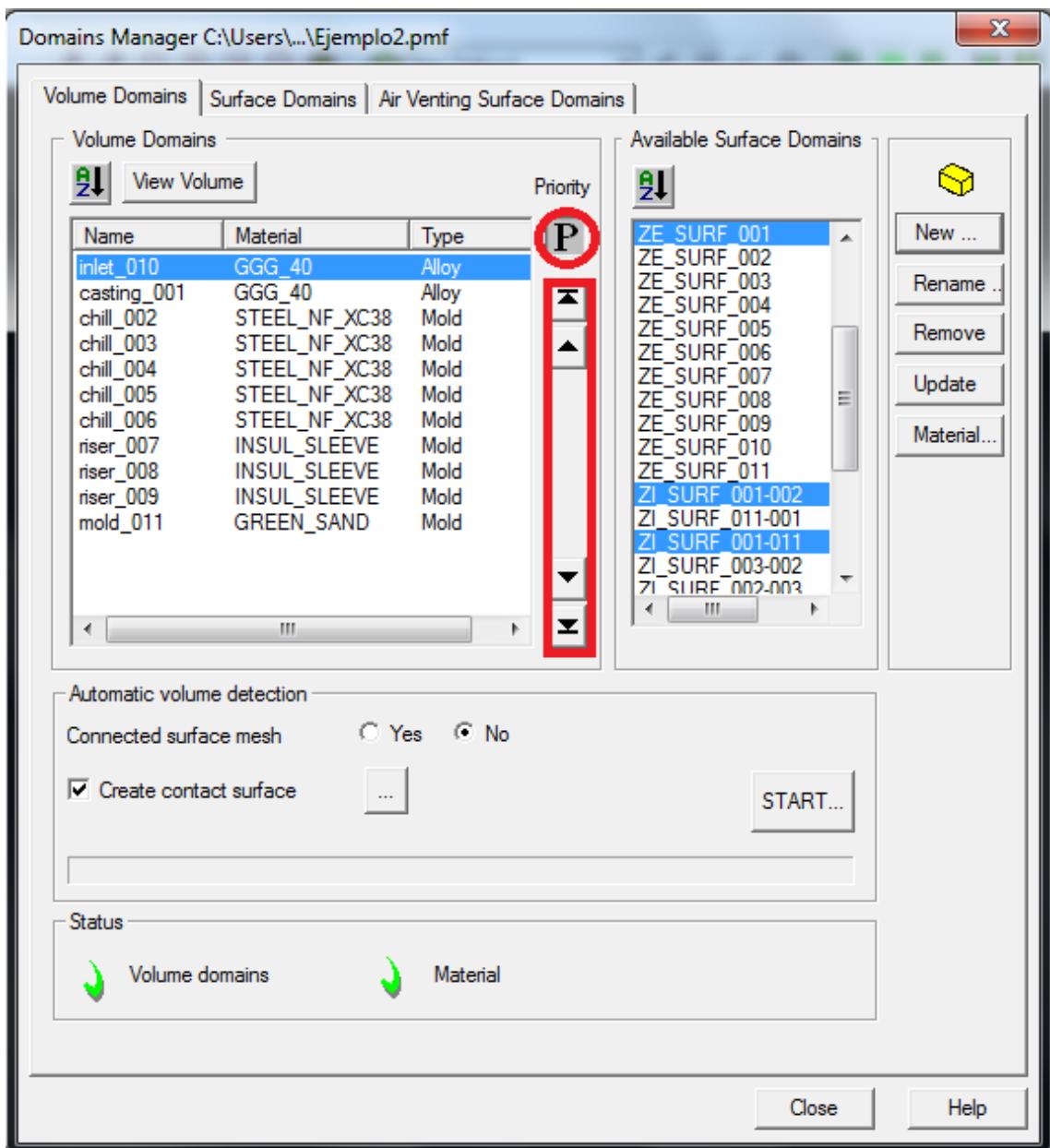
5. Seleccionamos el casting\_001 y pulsamos en **Material**
6. En el tipo de volumen (Volume type) seleccionamos **Alloy**
7. Activamos la opción **Standard DB**.
8. Seleccionamos el material **GGG\_40** de la lista de materiales y pulsamos **OK**.



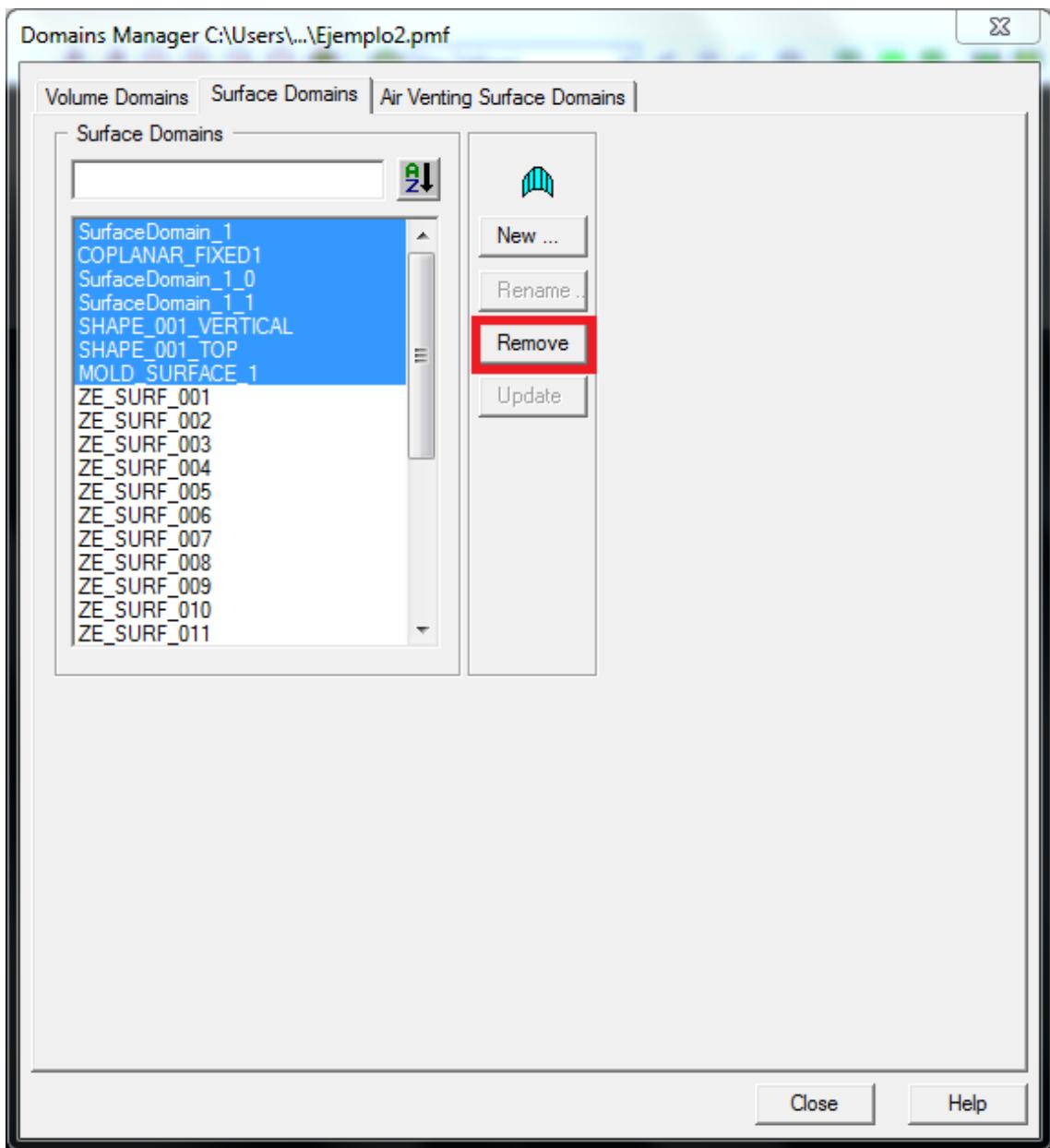
Repetiremos los pasos del 6 al 8 en cada volumen, y les asignaremos a cada uno las propiedades de la imagen siguiente.



9. Activaremos el orden de prioridad pulsando el botón con la letra P.
10. Cambiamos el orden de prioridad de los volúmenes con las flechas. Los volúmenes de aleación (Alloy) en las primeras posiciones y los demás en las últimas como se ve en la figura siguiente.

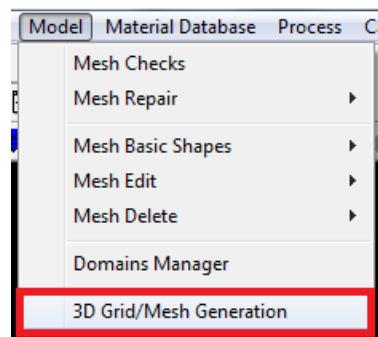


11. Activamos el panel **Surface Domain** pulsando en la pestaña con el mismo nombre.
12. Pulsamos **Remove** para eliminar dominios de superficie creados durante la importación y durante la secuencia de fijación automática.

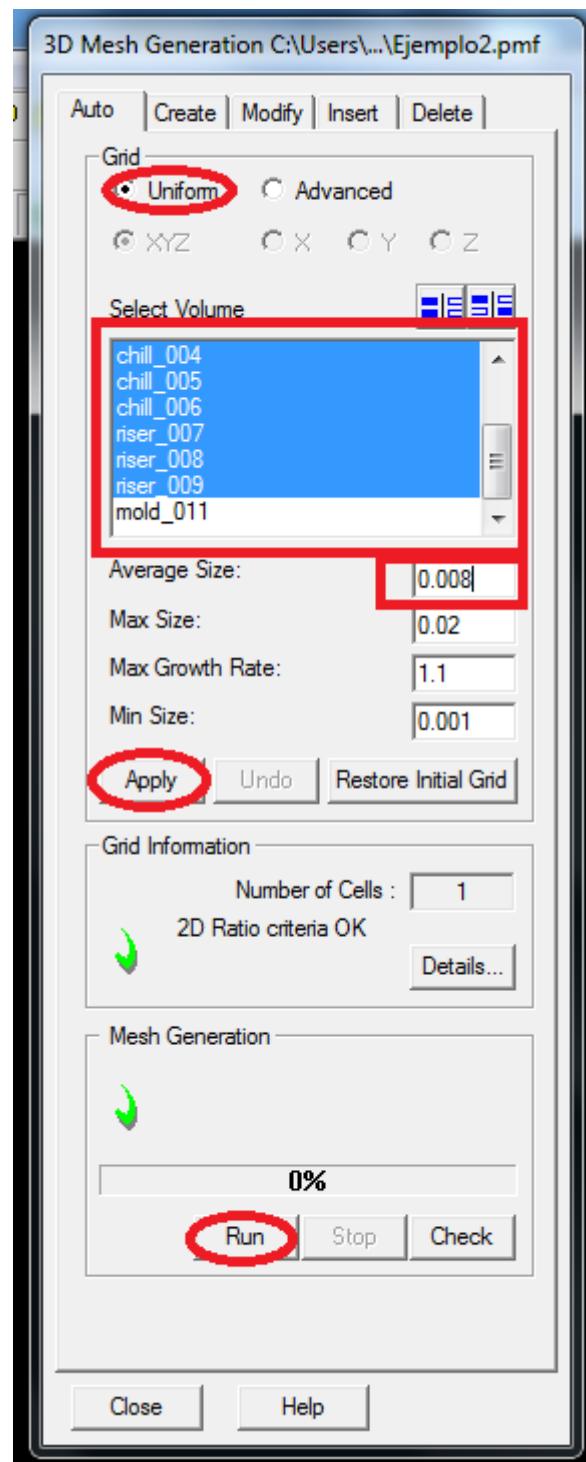


En el siguiente punto pasaremos a crear la malla 3D para la figura en la que estamos trabajando:

Lo primero será pulsar el menú **Model** y en el pulsar la opción **3D/Mesh Generation**.

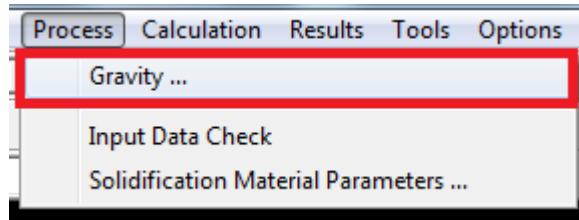


1. Activamos el método simplificado marcando la opción **Simplify** (en algunas versiones puede poner **Uniform** en vez de **Simplify**).
2. Seleccionamos todos los volúmenes excepto el volumen del molde.
3. Introducimos el valor mínimo para fijar el tamaño de cada celda de la malla (pondremos 0.008).
4. Pulsamos **Apply** para generar la definición de la red.
5. Pulsamos **Run** para generar la malla 3D.

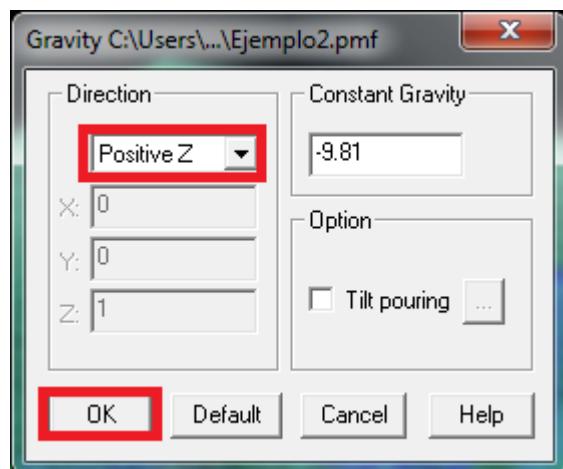


Una vez realizada la malla pasaremos a definir la dirección de la gravedad y a procesar la pieza que ya hemos mallado adecuadamente.

Para ello en el menú **Process** seleccionaremos la opción **Gravity**.

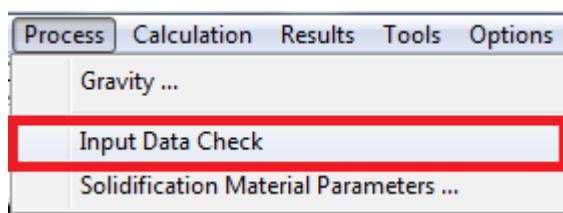


1. Seleccionaremos como positiva la dirección Z poniendo en la primera opción **PositiveZ** y comprobaremos la dirección (se muestra en verde) en la ventana del modelo.
2. Por último pulsaremos en **Ok**.

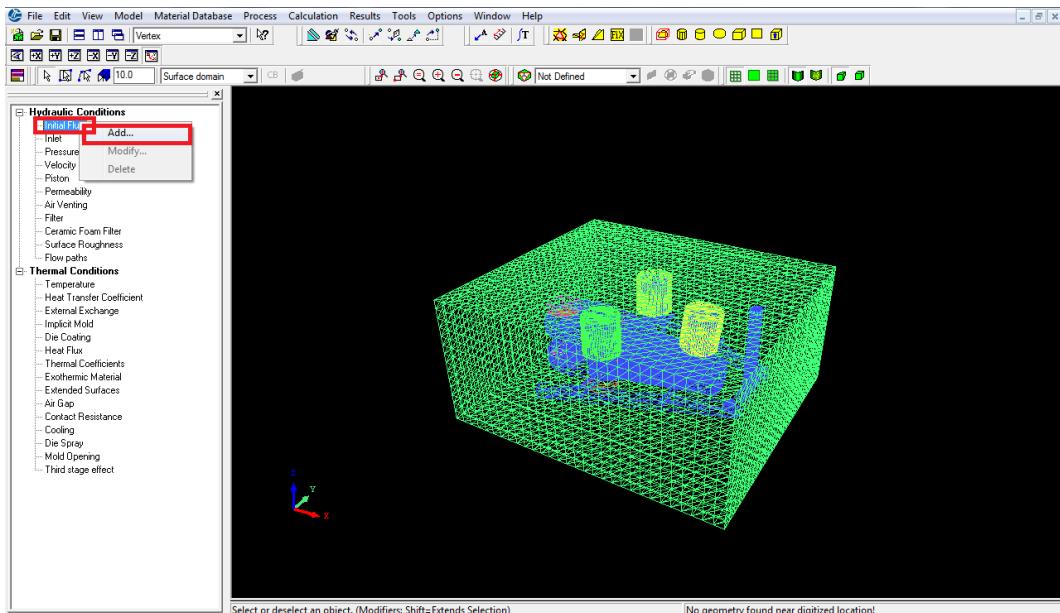


Una vez comprobada la dirección de la gravedad, pasaremos a empezar con la creación del modelo.

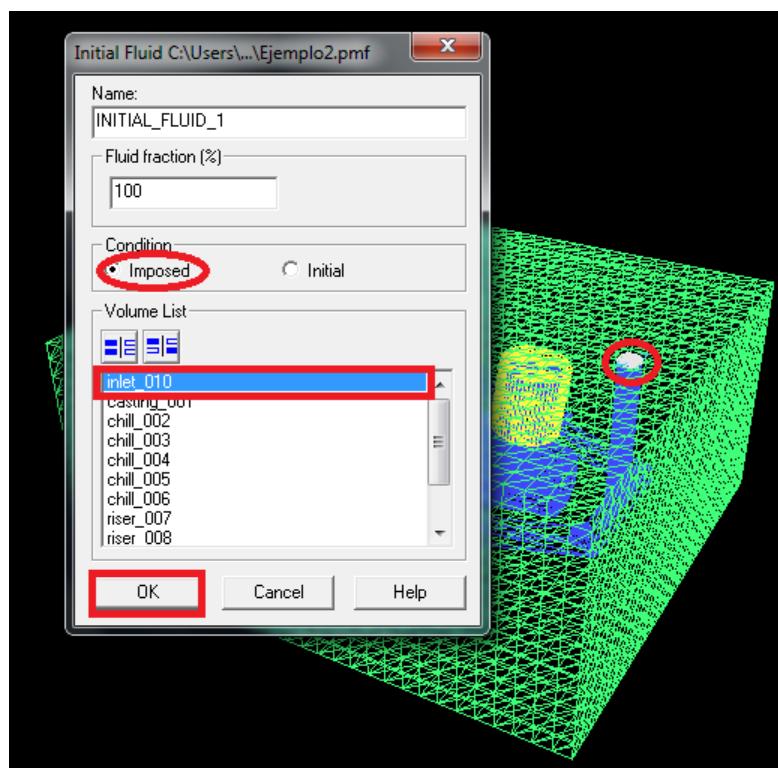
Para ello, en el menú **Process** seleccionaremos la opción **Input Data Check**, con lo que nos aparecerá la ventana de introducción de datos.



1. Lo primero será seleccionar la tasa inicial del fluido de relleno marcando la opción **Initial Fluid**
2. Pulsaremos el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsaremos la opción **Add** para abrir el panel de definición.

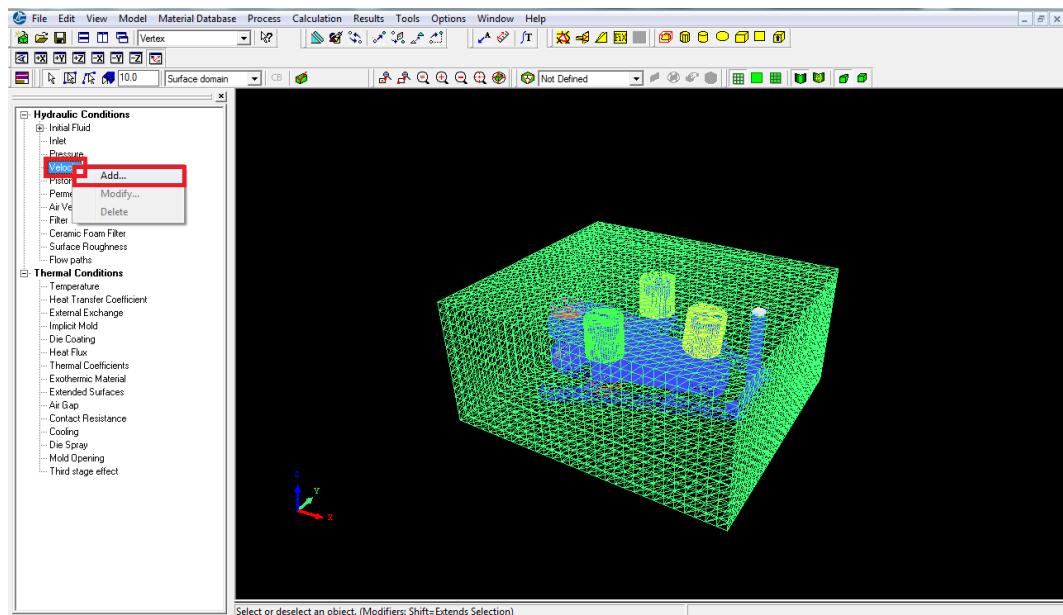


3. Marcamos la opción **Imposed**.
4. Seleccionamos con un click del botón izquierdo del ratón el volumen “**Inlet**” de la lista de volúmenes (Asegurarnos de que el volumen Inlet es el volumen mostrado en gris en la figura).
5. Pulsamos **Ok**.

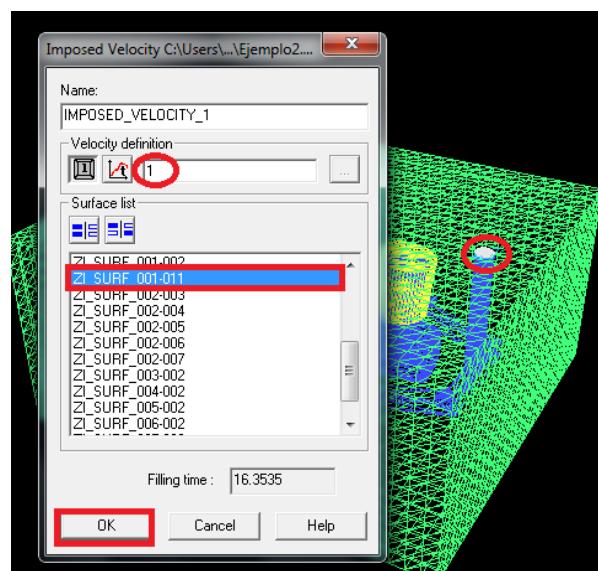


Ahora pasaremos a inicializar el fluido del metal añadiéndole la velocidad de entrada en el molde.

1. Marcamos la opción **Velocity** para iniciar el fluir del fluido en el volumen de entrada.
2. Con un click del botón derecho del ratón en la opción marcada pulsaremos la opción **Add**.

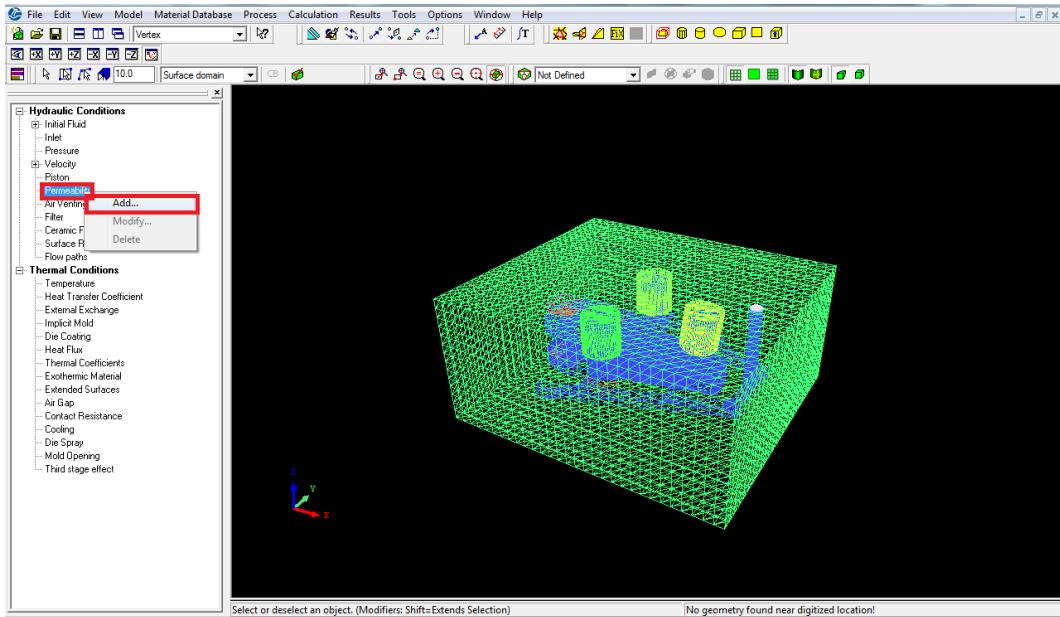


3. Pondremos el valor de la velocidad que viene definida en metros/segundo (pondremos como valor 1 m/s)
4. Seleccionaremos la superficie de dominio que corresponde con el volumen de entrada (en mi caso es la superficie ZI\_SURF\_001-011), al igual que antes nos aseguraremos de que es la superficie correcta.
5. Pulsamos **Ok**.

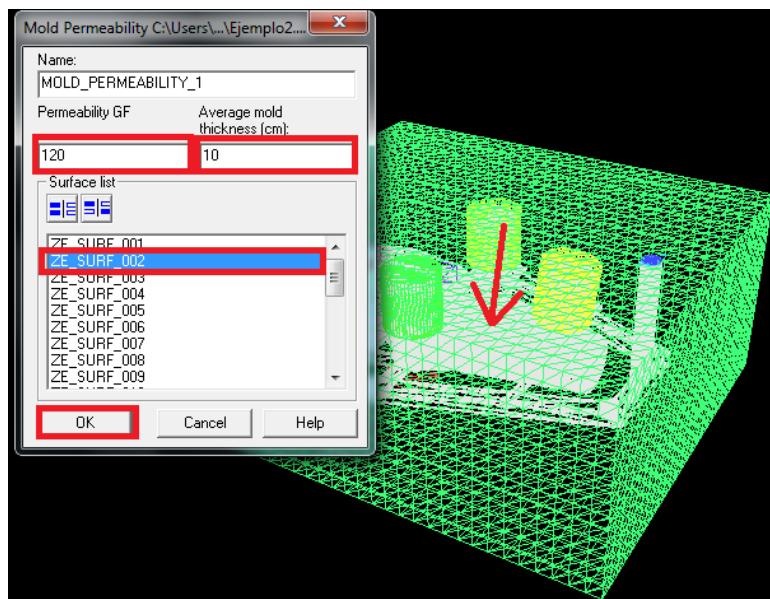


Ahora nos dispondremos a establecer el fluir del aire en nuestro molde, para ello seguiremos estos pasos:

1. Marcaremos la opción **Permeability** para establecer el fluir del aire en nuestro molde.
2. Pulsamos la opción antes marcada con un click del botón derecho del ratón y pulsamos en **Add**.

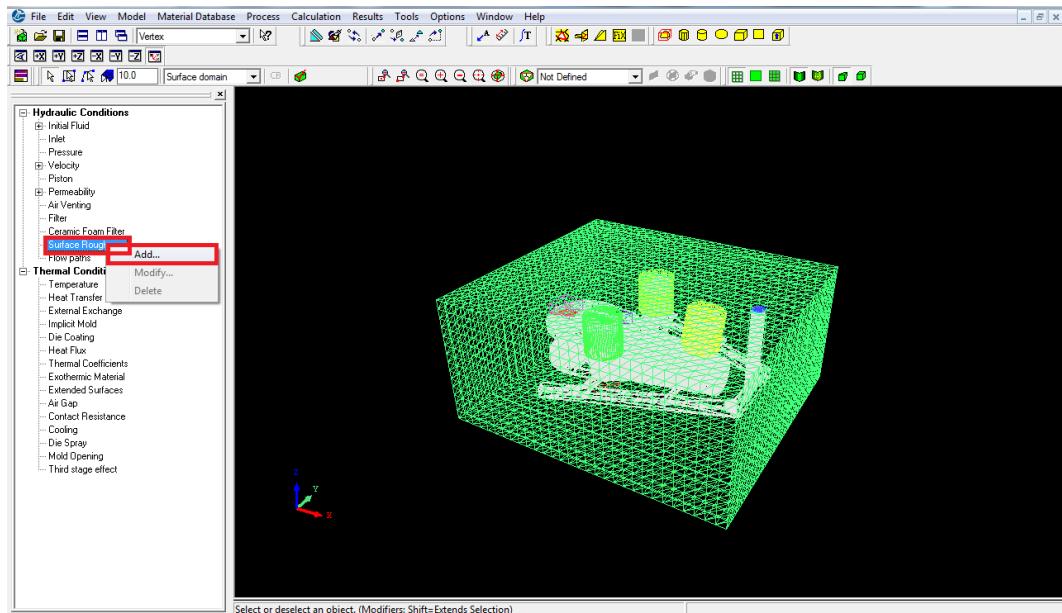


3. Introduciremos el valor de la permeabilidad (120 en nuestro caso)
4. Introducimos el valor de anchura media de nuestro molde (10 cm en nuestro caso).
5. Seleccionamos la superficie de dominio que corresponde a la interfaz entre la colada y el molde (en mi caso la ZE\_SURF\_002).
6. Pulsamos **Ok**.

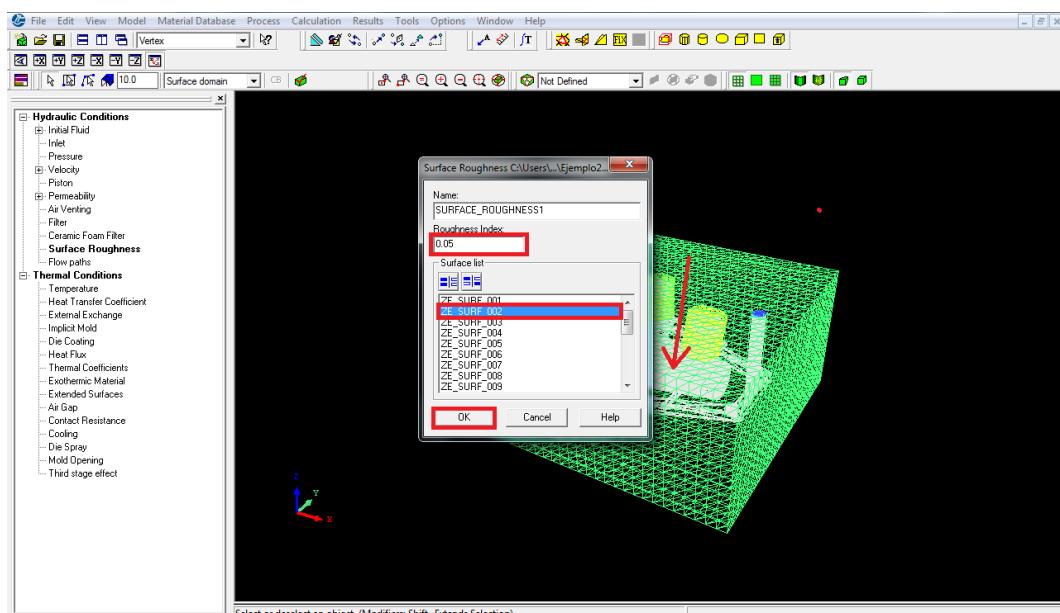


Después de establecer el fluir del aire pasamos a establecer la rugosidad de las paredes.

1. Marcamos la opción **Surface Roughness** para establecer la rugosidad de las paredes.
2. Hacemos click con el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsamos la opción **Add**.

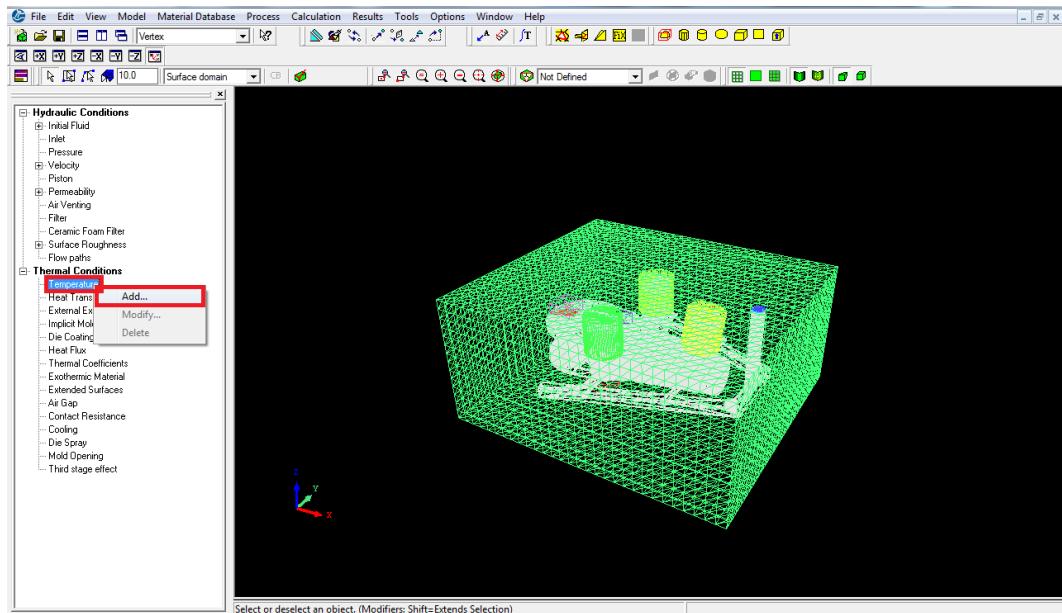


3. Introducimos el valor de la rugosidad (0.05 para el molde de arena).
4. Seleccionamos la superficie de dominio que corresponde a la interfaz entre la colada y el molde en mi caso la ZE\_SURF\_002).
5. Pulsamos **Ok**.

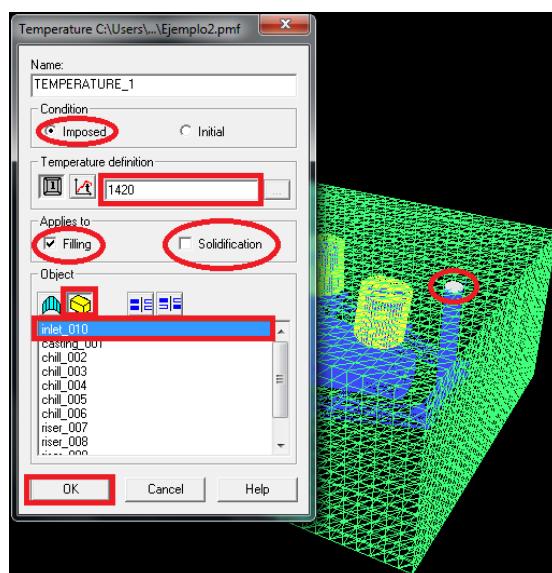


Tras estos pasaremos a establecer la temperatura del metal de la colada.

1. Seleccionamos **Temperature** y la marcamos con un click del botón izquierdo del ratón.
2. Pulsamos el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsamos la opción **Add**.

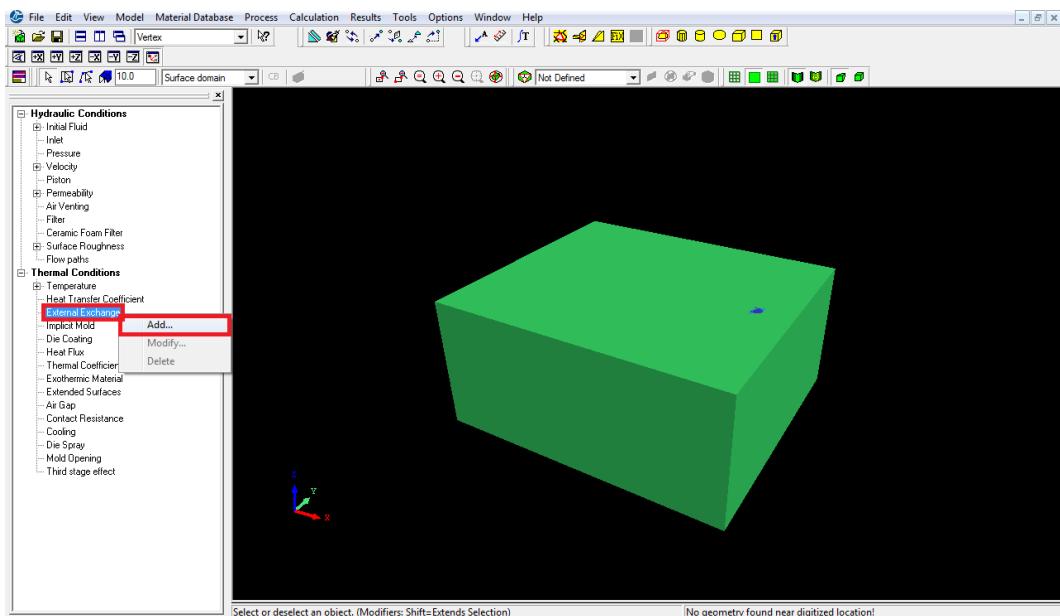


3. Activamos la opción **Imposed** (la temperatura del metal de la colada permanece constante).
4. Introducimos el valor de la temperatura en la opción **Temperature definition** (1420 grados en este caso).
5. Activamos la opción **Filling** y desactivamos la opción **Solidification**.
6. Activamos la lista **Volume Domain**.
7. Seleccionamos el volumen de entrada “**Inlet**”
8. Pulsamos **Ok** para validar todo.

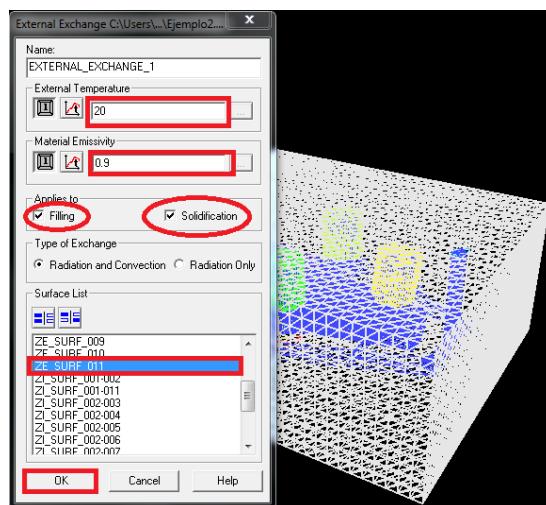


Ahora pasaremos a establecer los datos del cambio térmico con el exterior, para ello se seguirán estos pasos:

1. Pulsaremos y marcaremos haciendo click con el botón izquierdo del ratón en la opción **External Exchange**.
2. Pulsaremos el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsaremos **Add**.

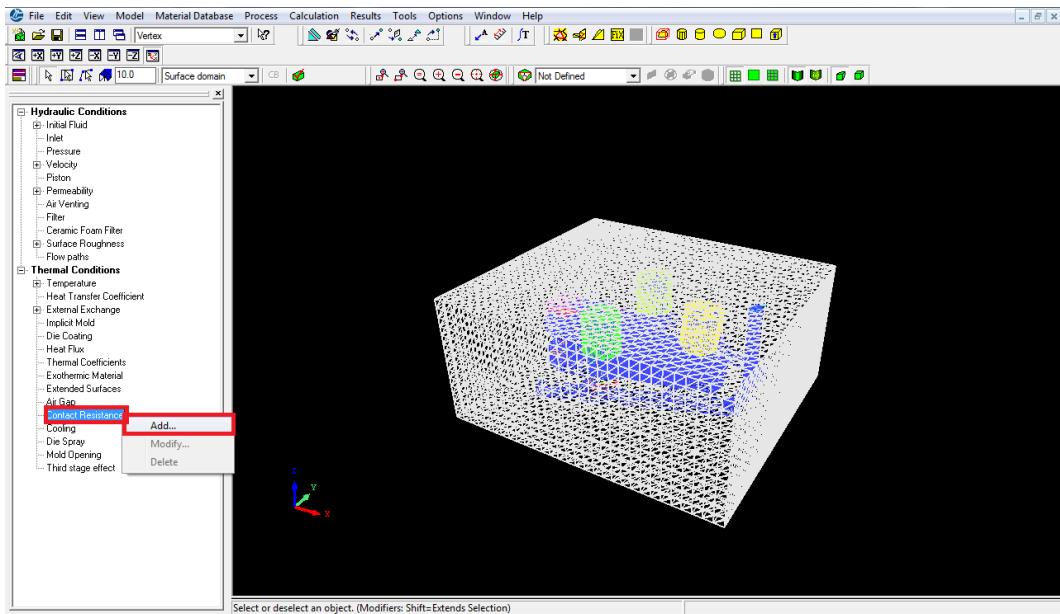


3. Introducimos el valor de la temperatura del ambiente externo en la opción **External Temperature** (para este caso pondremos 20 grados).
4. Introducimos el valor de la temperatura emitida por el material en la opción **Material Emissivity** (0.9 en este caso).
5. Activamos las opciones **Filling** y **Solidification**.
6. Seleccionamos la superficie de dominio del molde externo (en mi caso ZE\_SURF\_011).
7. Pulsamos **Ok**.

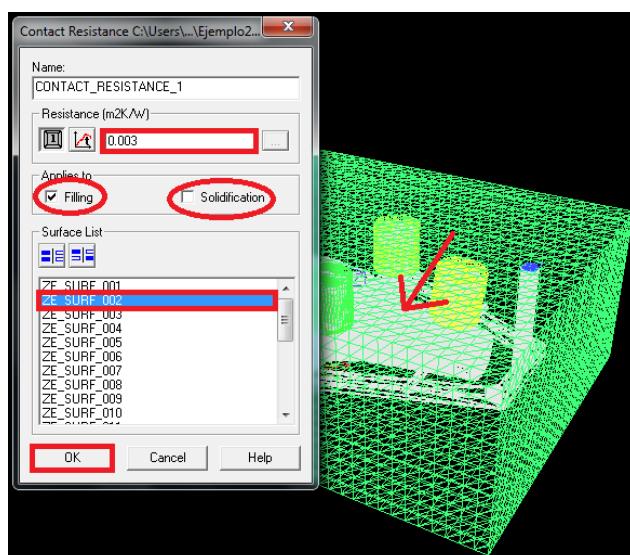


Ahora seguiremos con el intercambio de temperaturas, pero esta vez serán entre el molde y la pieza de aleación.

1. Seleccionamos y marcamos la opción **Contact Resistance** haciendo click sobre ella con el botón izquierdo del ratón.
2. Pulsamos con el botón derecho del ratón sobre la opción marcada y seleccionamos la opción **Add**.

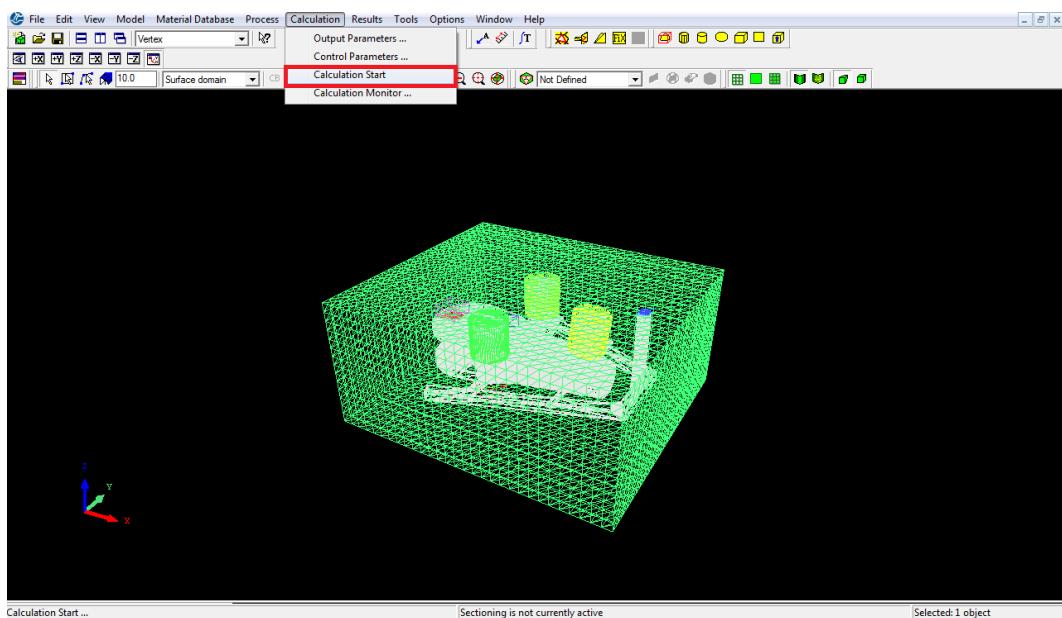


3. Introducimos el valor de la resistencia termal en la opción **Resistance** para ajustar el intercambio termal entre la interfaz molde/colada (0.003 para este caso).
4. Activamos la opción **Filling** y desactivamos la opción **Solidification**.
5. Seleccionamos la superficie de dominio de la interfaz molde/aleación, o lo que es lo mismo, la de la pieza en cuestión (ZE\_SURF\_002 en mi caso).
6. Pulsamos **Ok**.

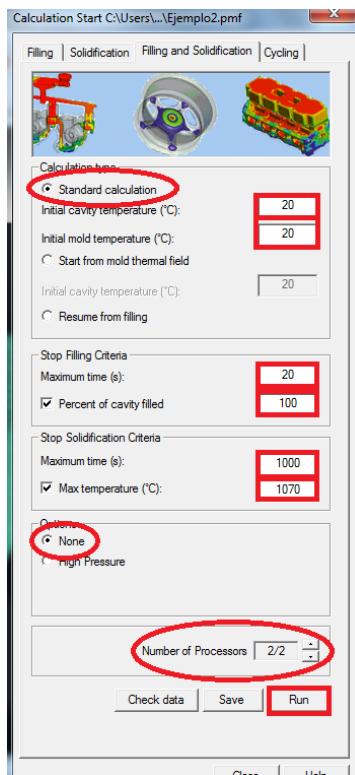


Ahora que ya hemos introducido todos los datos y hemos creado la geometría, pasaremos a calcular los resultados del molde que ha sido creado.

Para ello seleccionamos la opción **Calculation Start** del menú **Calculation**.



1. Dentro de la pestaña **Filling and Solidification** activamos la opción **Standard Calculation**
2. Introducimos el valor de la temperatura del aire dentro de la cavidad en la opción **Initial cavity temperature** (la cavidad está vacía), en este caso 20 grados.
3. Introducimos el valor de la temperatura del molde en la opción **Initial mold temperature**, 20 grados también para este caso.
4. Introducimos los criterios de paro del llenado y la solidificación (tiempo y temperatura) en las opciones **Stop Filling Criteria** y **Stop Solidification Criteria**, 20 segundos y porcentaje de 100 en llenado, y 1000 segundos y 1070 grados en solidificación.
5. Marcamos la opción **None** para iniciar el cálculo estándar del fluido
6. Ponemos la opción **Number of Processors** al número de procesadores que tenga nuestro ordenador, por defecto saldrá el adecuado.
7. Pulsamos **Run** para empezar a calcular. Nos abrirá la ventana **Monitor Calculation**.

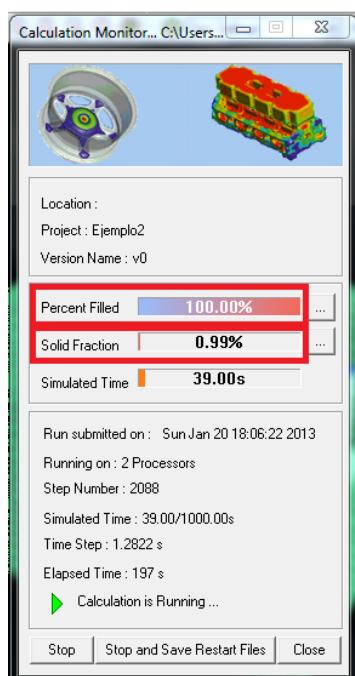


Tras esto nos aparecerá una ventana en la que se mostrara la progresión de los cálculos.

Estos cálculos pueden tardar bastante tiempo dependiendo del ordenador que se use.

Lo primero que hace es llenar el molde y posteriormente se solidificara la colada.

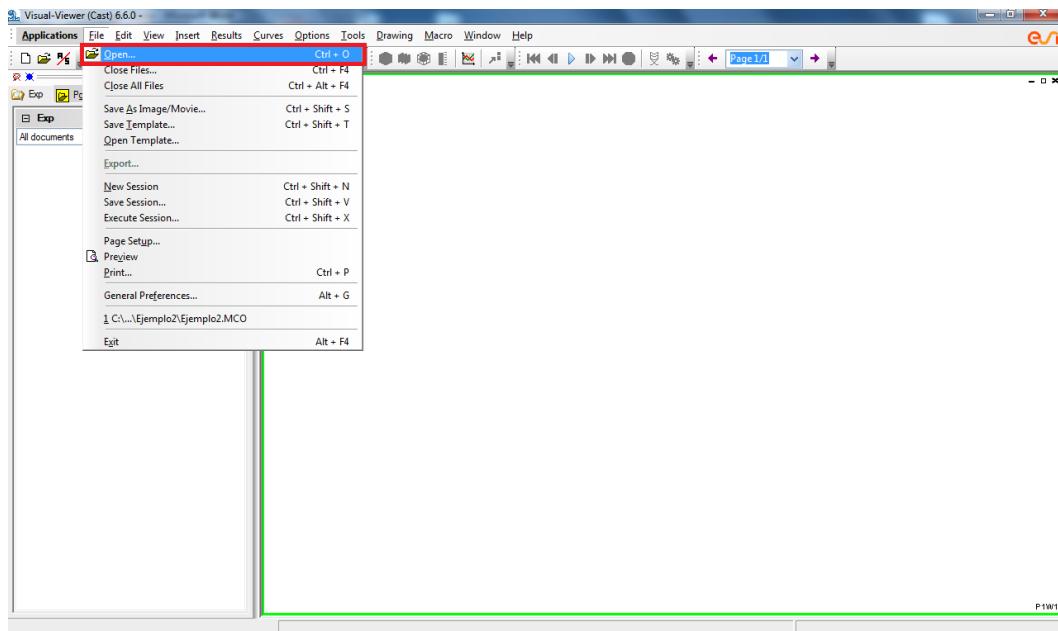
Estas dos fases vienen representadas por las dos primeras barras de proceso.



Por último, una vez se ha calculado todo, podremos utilizar un visor de moldeado para ver las zonas más críticas o y problemáticas, así como temperaturas y tensiones de colada.

Para ello usaremos el programa **VisualCast** o **Visual ViewerCast** dependiendo de la versión que tengáis puede llamarse de varias maneras.

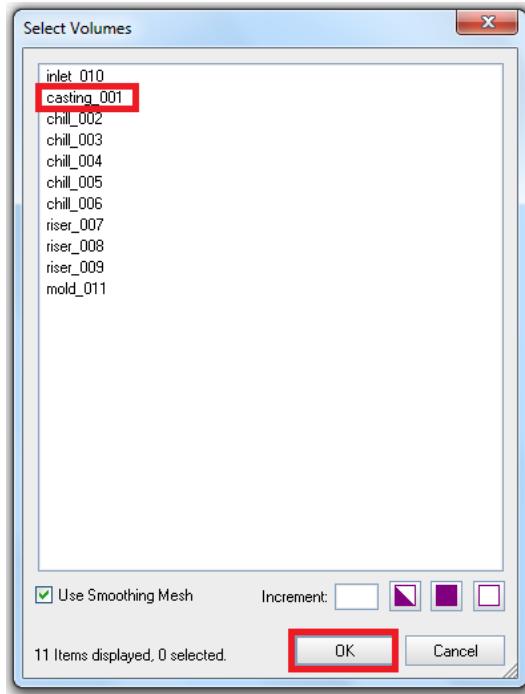
Empezaremos por darle a la opción **Open** en el menú **File** y seleccionaremos el trabajo/proyecto/práctica que queramos abrir.



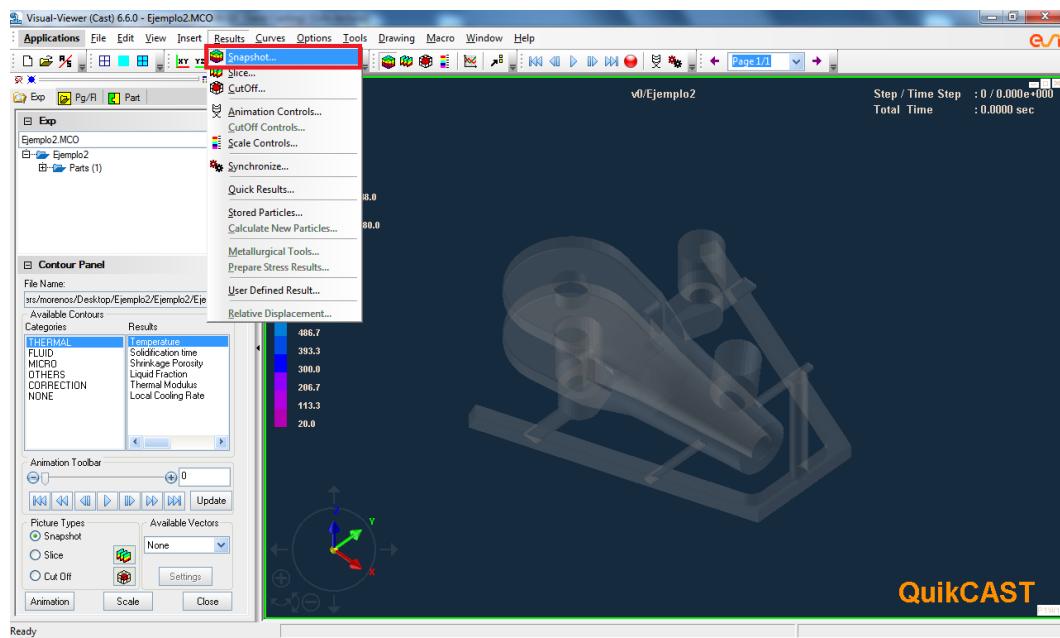
Al seleccionar el archivo deseado os habrá aparecido una lista con todos los volúmenes disponibles para cargarlos, como la propia pieza, las mazarotas, los enfriadores, etc.....

Pues deberemos abrir el volumen de la pieza en cuestión.

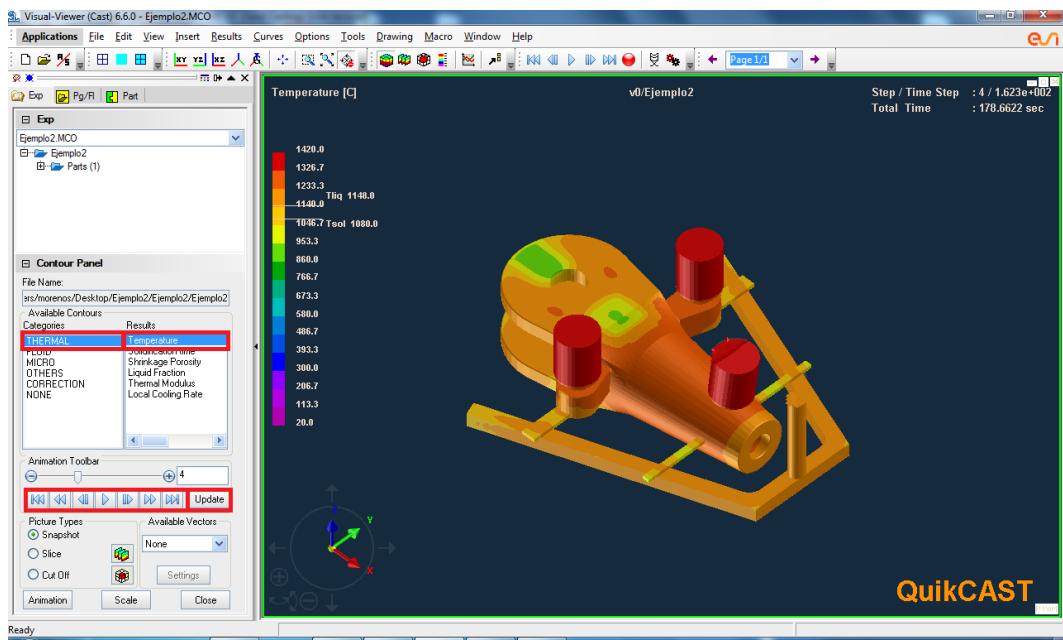
Para ello seleccionaremos el volumen “**casting\_001**” que es volumen de la pieza en cuestión que queríamos moldear, y pulsaremos **Ok**.



A continuación pulsaremos la opción **Snapshot** del menú **Results**, de esta manera podremos ver la temperatura del metal en las diversas zonas de la pieza en el post-procesado.

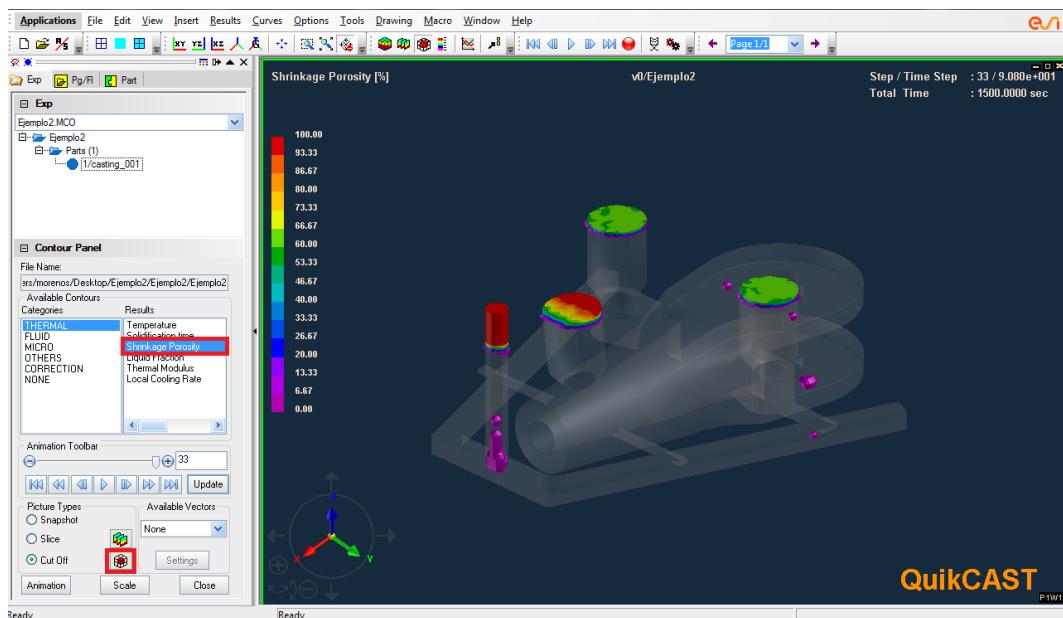


1. Seleccionamos la opción **THERMAL** en **Categories** y la opción **Temperature** en **Results** para mostrar la temperatura resultante durante el llenado y la solidificación.
2. Pulsamos el botón **Update** para actualizar los últimos resultados calculados.
3. Pulsando las flechas mostraremos los diferentes estados de temperatura.

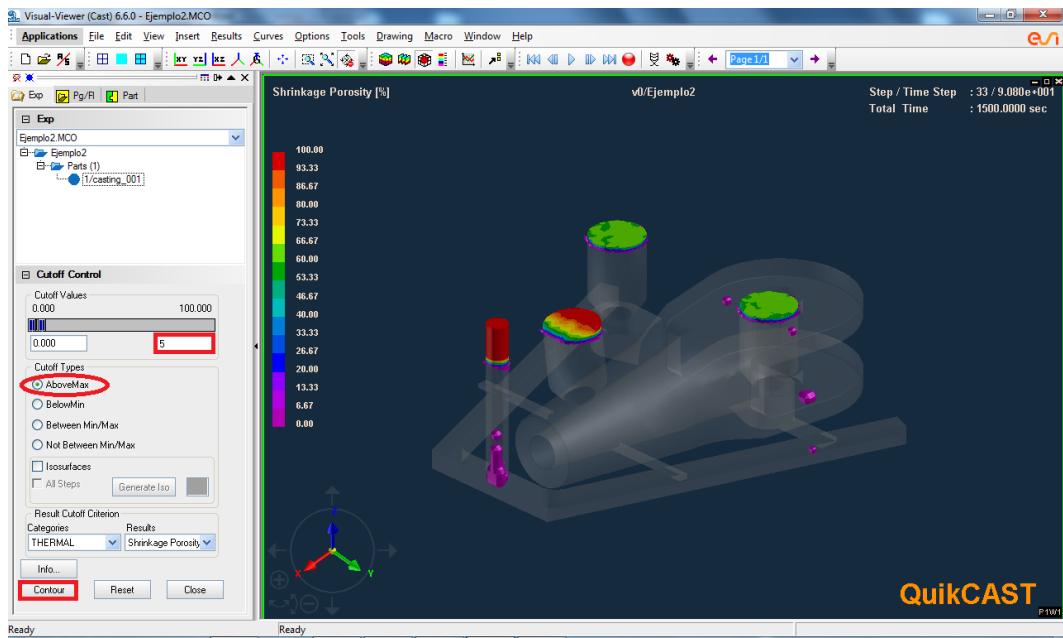


Tras ver los resultados de temperaturas pasaremos a ver los resultados de la porosidad. Para ello seguiremos estos pasos:

1. Para analizar las mazarotas donde todavía hay metal caliente de alimentación a la pieza pulsamos la opción **Shrinkage Porosity**.
2. Pulsamos el botón **Cut-off**



3. Insertamos el valor máximo de la contracción de la porosidad que será de 5.
4. Activamos la opción **Above Max**.
5. Pulsamos **Contour**.



De este modo VisualCast nos permitirá como antes he nombrado el conocer diferentes características durante el procesado y post-procesado de la pieza, con las que podremos mejorar el proceso o incluso el resultado final de manera informática, evitando todos los experimentos manuales que se realizaban antiguamente, pasando a realizarlos de una manera más cómoda y sencilla.

## Ejercicios

1. Indicar cual es la temperatura máxima y mínima del último estado y en que zonas encontramos dichas temperaturas.
2. Indicar cuales son las partes que tardan más tiempo en solidificar, al igual que las que tardan el menor tiempo.
3. Indicar en el último estado cuales son las partes que están más liquidas.
4. Si cambiamos el tiempo de solidificación a 1500 segundos indicar en que número de estado las mazarotas dejan de estar completamente entre 1420 y 1326 °C.
5. Si cambiamos el tiempo de solidificación a 1500 segundos indicar en que número de estado empieza a solidificar la pieza y fracción liquida corresponde además de la zona que empieza a solidificar.

DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

## Anexo II: Práctica 2: Simulación de inyección

---



Realizado por:

Enrique José Moreno García

# Simulación de inyección

## **Introducción:**

En esta segunda práctica, mediante el programa QuikCast, os guiaremos paso a paso para realizar una pieza por inyección en molde. Además usaremos el programa VisualCast para visualizar los resultados de lo que hemos realizado con QuikCast.

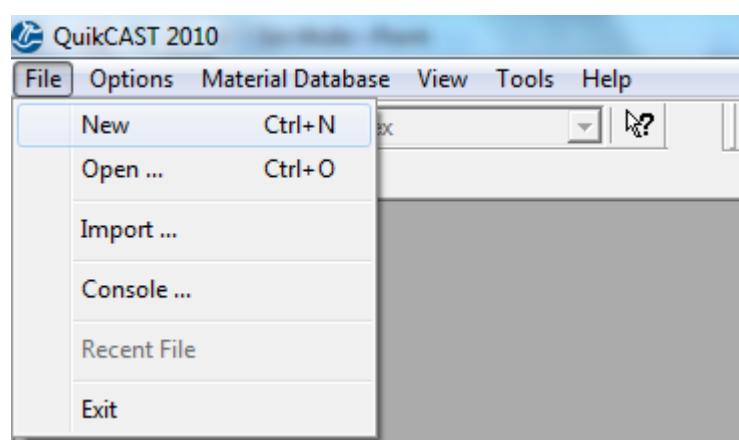
El objetivo de la práctica será la creación de la geometría del molde de inyección, para poder crear dicha pieza que necesitamos mediante inyección y visualizar los resultados de lo que hemos realizado.

## **Paso a paso:**

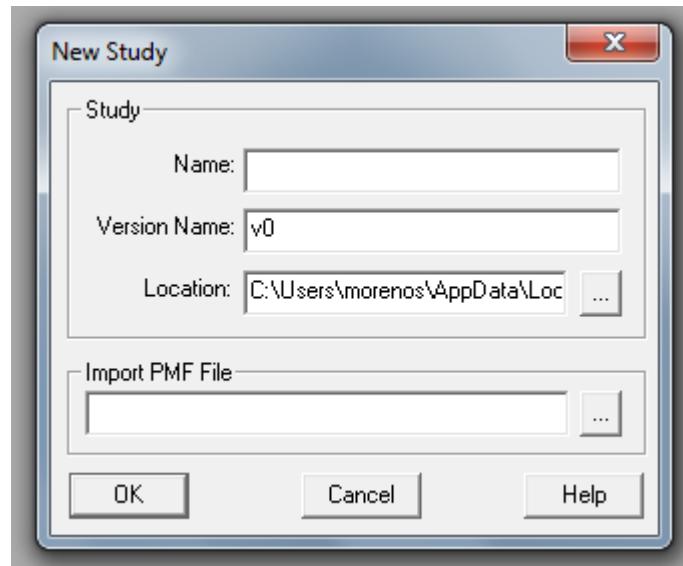
Abrimos QuikCast y empezamos de cero.

Los primeros pasos serán para importar la geometría del archivo CAD al programa

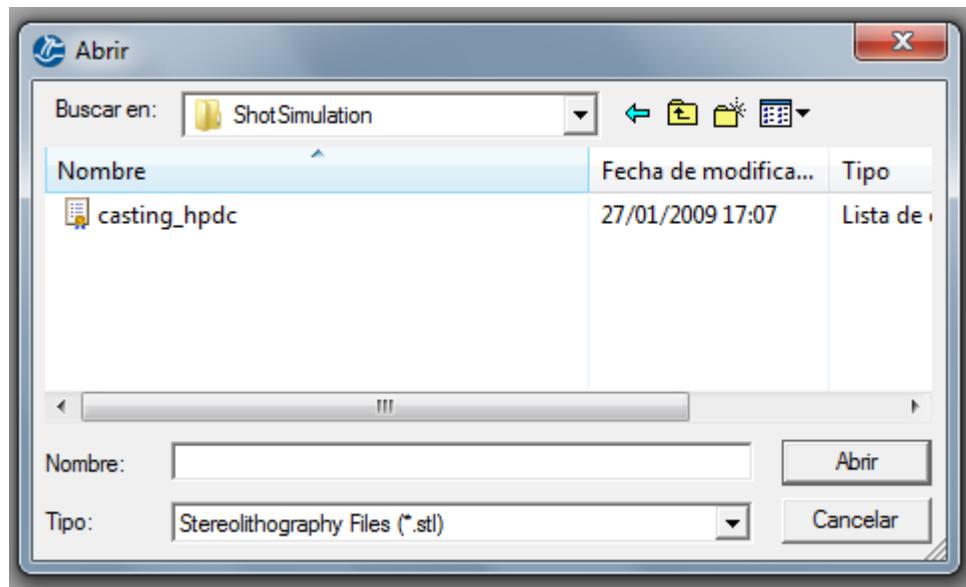
1. Seleccionamos la opción **New** desde el menú **File**.



2. Ponemos un nombre al nuevo “Estudio” en **Name**.
3. En **Location** buscamos donde se va a guardar el nuevo “Estudio”.
4. Y por último le damos a **OK**.

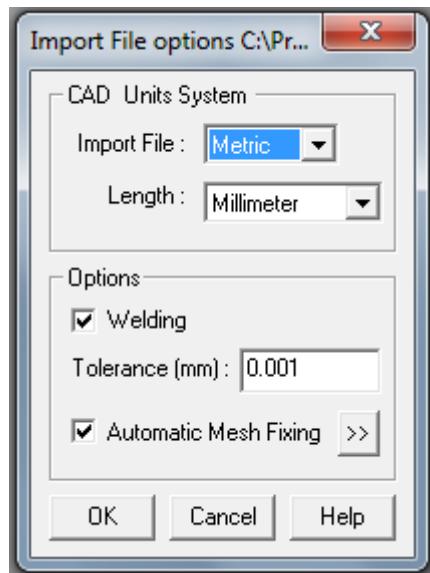


5. Buscamos y seleccionamos el archivo STL llamado **casting\_HPDC.STL** que previamente os abran indicado su ubicación.
6. Pulsamos **Open** para cargar el archivo CAD en la ventana de modelo.



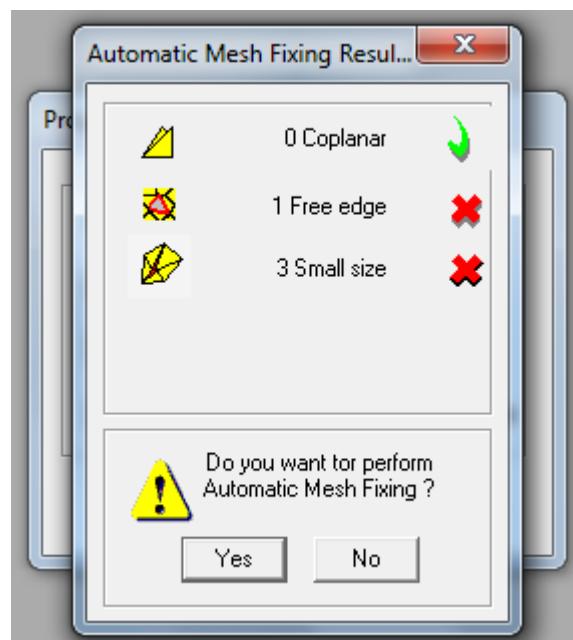
7. Definimos el sistema de unidades del archivo CAD en la opción **Length**, las unidades del archivo **casting\_HPDC.STL** son milímetros (**Milimeter**).
8. Activamos la opción **Welding**.

9. Insertamos el valor de las tolerancias en la opción **Tolerance (mm)**, ponemos 0.001
10. Activamos la opción **Automatic Mesh Fixing**.
11. Pulsamos **OK**.



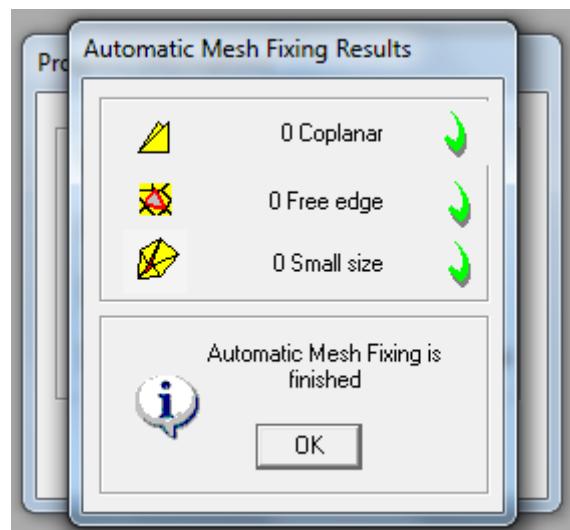
Aparecerá una ventana diciendo que ha encontrado un problema y la descripción de este, sucedido en el análisis de los archivos CAD

12. Pulsamos **YES**, y continuamos.

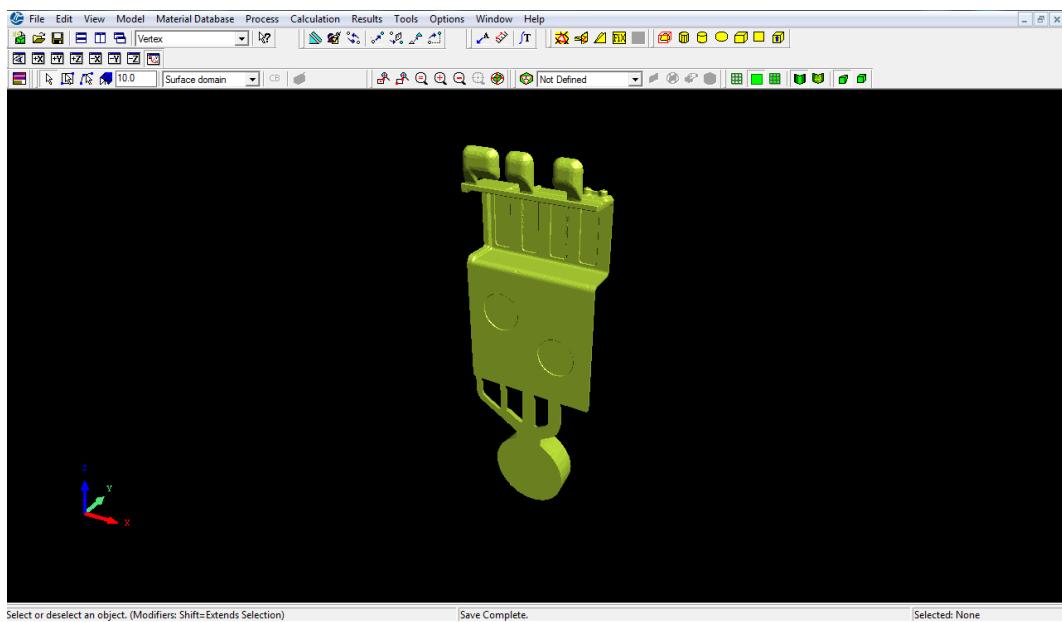


Aparecerá otra ventana con los resultados del **Automatic Mesh Fixing**.

13. Pulsamos **OK** para continuar.

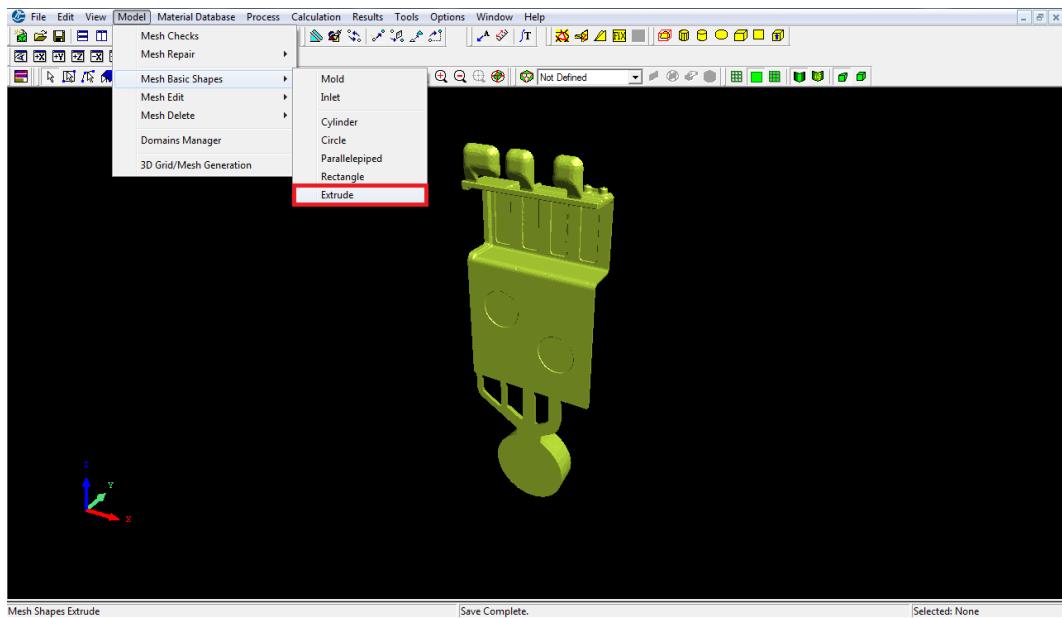


La geometría del archivo **casting\_HPDC.STL** correspondiente a la pieza que se va a inyectar habrá sido importada satisfactoriamente.

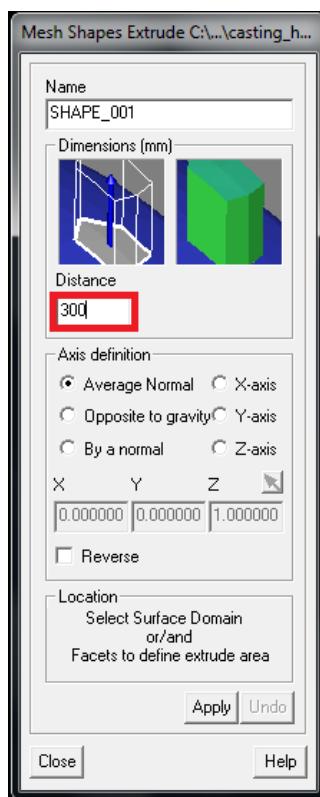


Ahora pasaremos a crear la entrada de CAD automática, con lo que crearemos los volúmenes de entrada del molde y por donde entrara la colada, que mas tarde definiremos con un material apropiado.

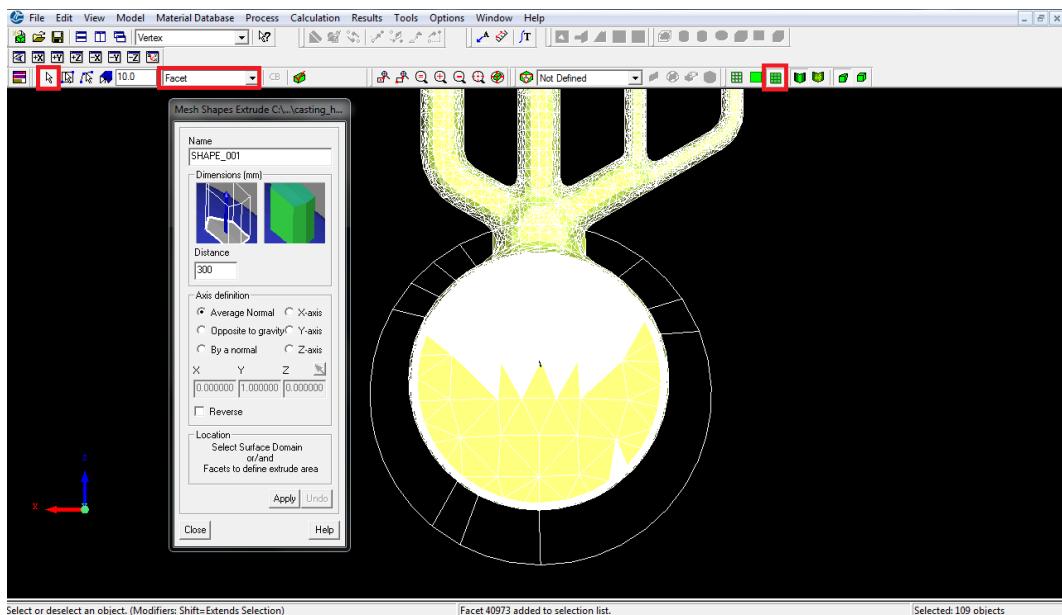
7. Lo primero será desde el menú **Model** seleccionamos **Mesh Basic Shapes** y a continuación seleccionamos **Extrude** ( en versiones más viejas tendremos que seleccionar **Create Inlet** y desde ahí pulsar la opción de **Extrude**)



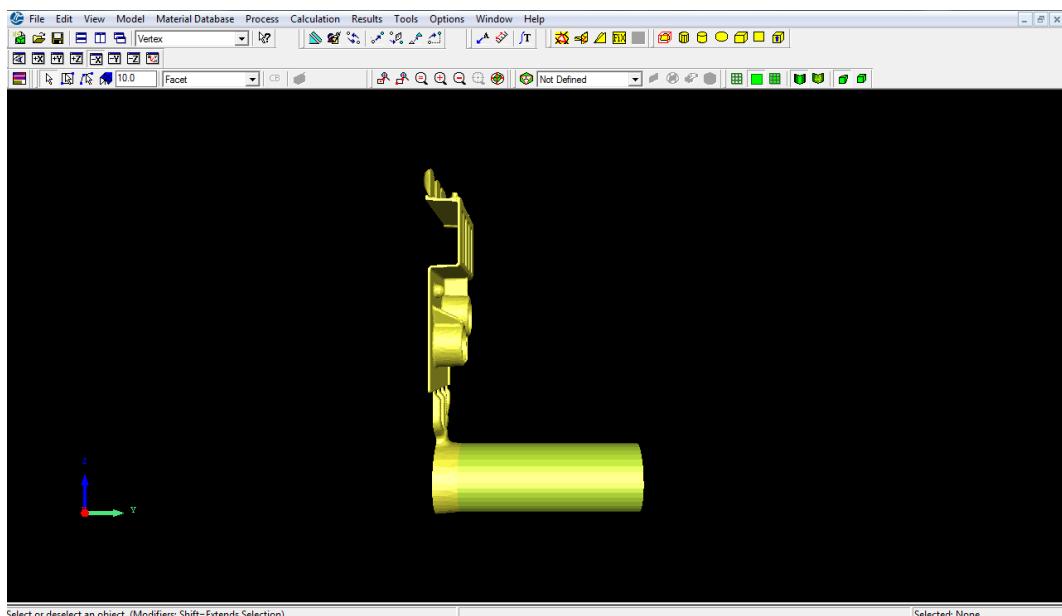
8. Asignamos la distancia de extrusión que serán 300.



9. Acercamos la vista a la parte de arriba del tubo y cambiamos a modo de pantalla **Wire&Shaded** para mostrar las facetas
  10. En la selección de identidad debe poner **Facet**
  11. Seleccionamos la superficie de arriba del tubo (SHIFT mas botón izquierdo del ratón)
- La geometría de extrusión es mostrada automáticamente para cada nueva faceta seleccionada. Se deben seleccionar una por una todas las superficies.

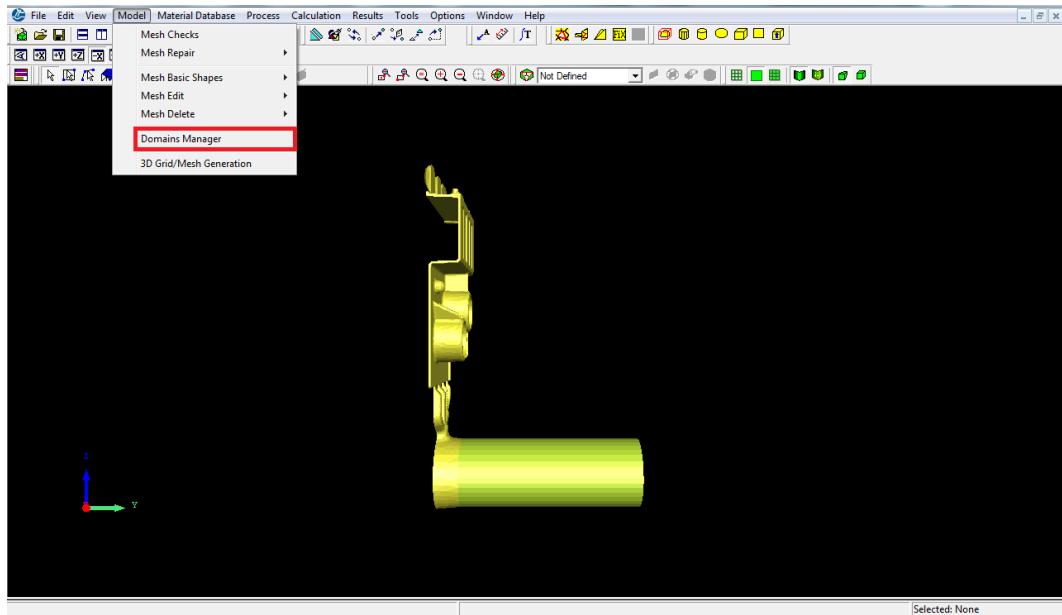


12. Por último pulsamos **Apply** cuando todas las superficies hayan sido pulsadas para aplicar los cambios y pulsamos **Close**. El volumen de entrada se habrá creado satisfactoriamente.

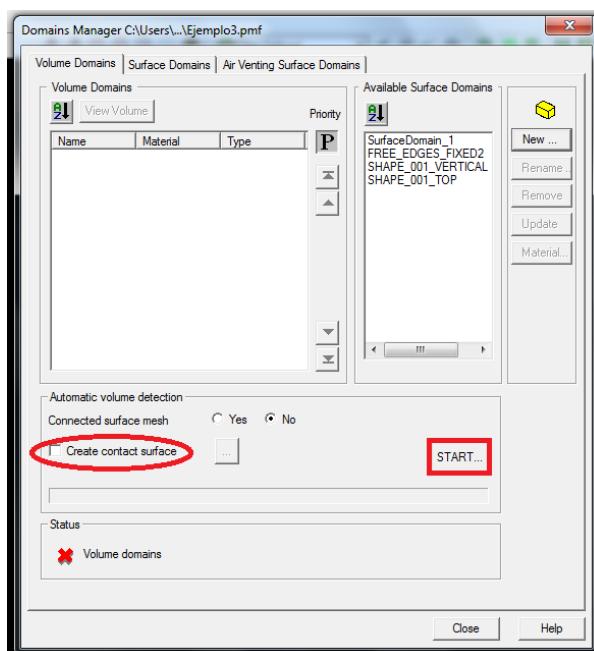


Tras esto pasaremos a detectar todos los volúmenes y superficies necesarios para la creación de la pieza. De esta manera les asignaremos los materiales correspondientes a cada uno y más tarde introduciremos los datos correspondientes para la simulación.

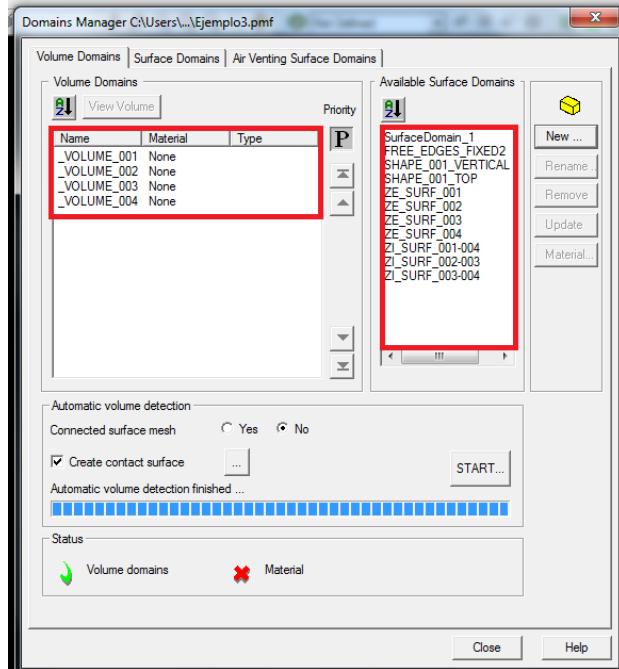
Para ello pulsamos la opción **Domain Manager** del menú **Model**.



1. Activamos la opción **Create Contact Surface**.
2. Pulsamos **Start** para empezar la detección automática de volúmenes.

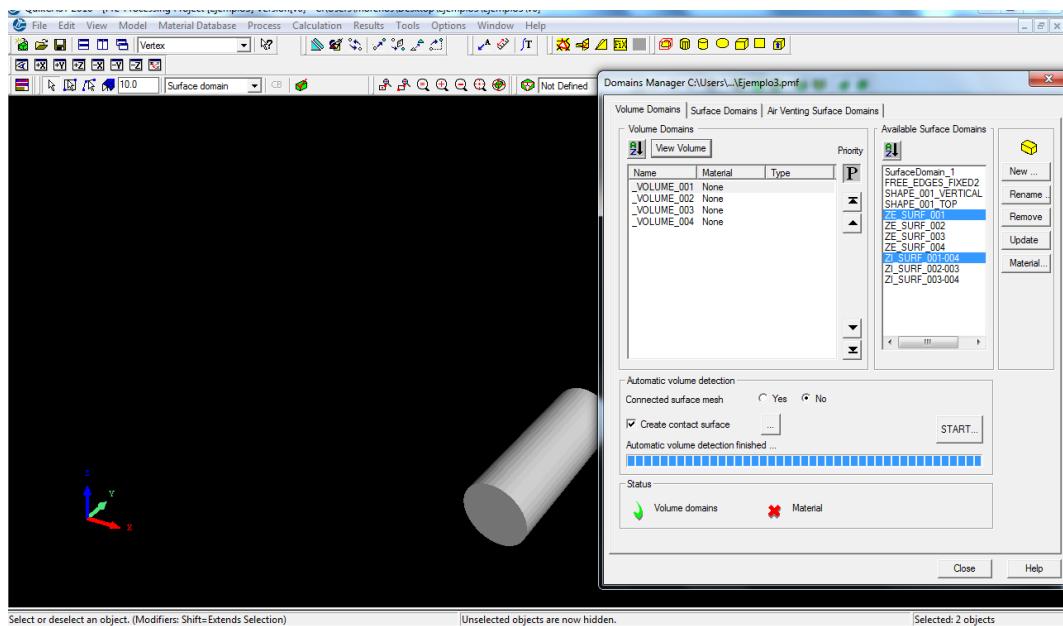


Se han detectado 4 dominios de volumen que tendrán que ser renombrados y asignarlos con los materiales adecuados a las propiedades que se necesiten. Además se han creado nuevos dominios de superficies a causa de que la opción **Create Contact Surface** estaba activada.



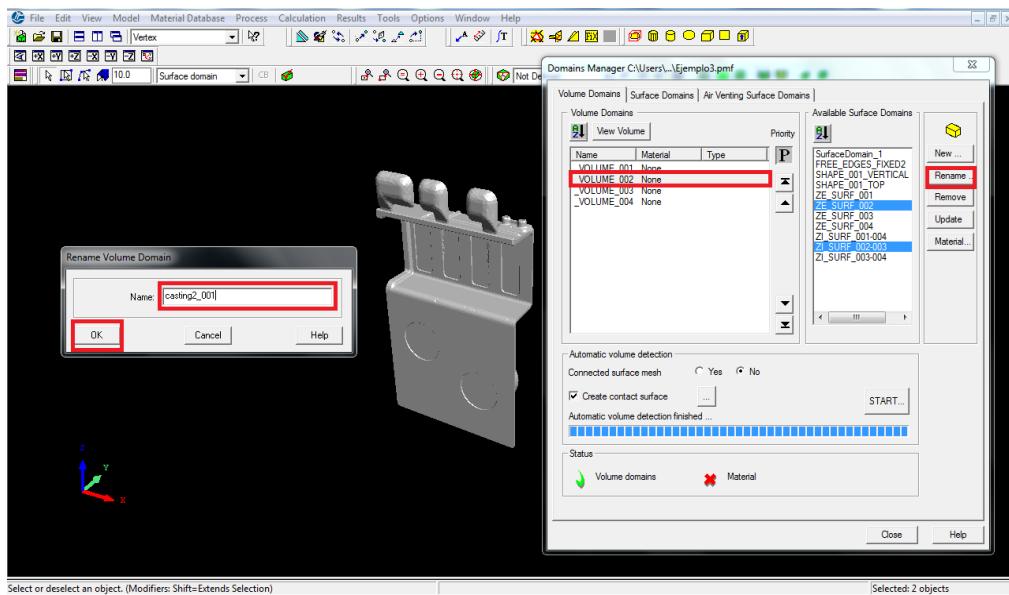
13. Seleccionamos el volumen 1 (volumen\_001) pulsando con el botón izquierdo del ratón.
14. Pulsamos en **View Volume** para mostrar el Volume\_001

De esta manera podremos ver todos los volúmenes.



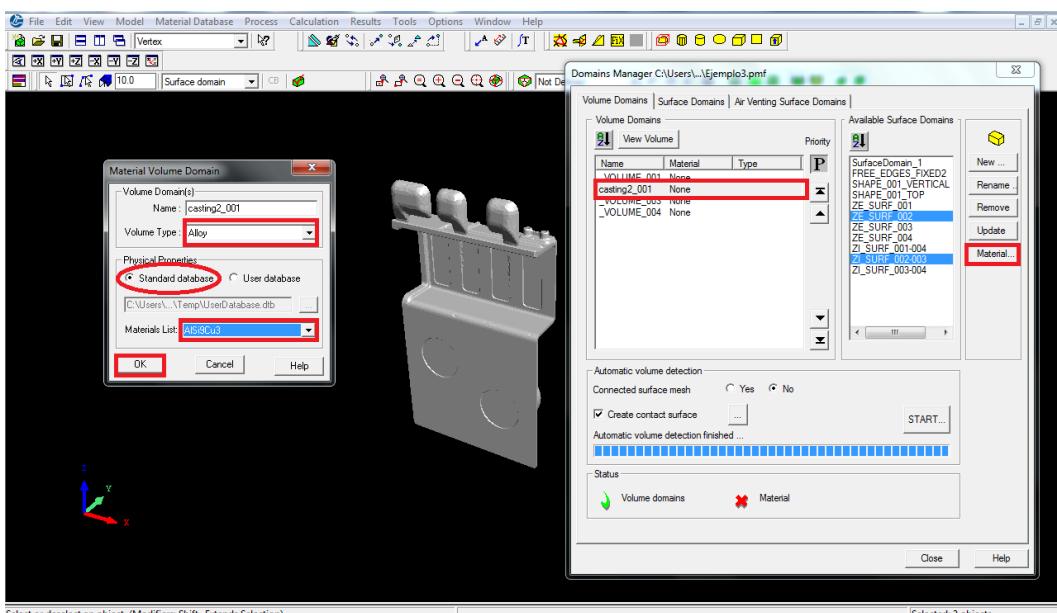
Ahora pasaremos a renombrar todos los volúmenes.

15. Pulsamos en el volumen de la pieza, que en nuestro caso es el volumen 2 (volumen\_002), en otros casos puede ser otro volumen, y pulsamos la opción **Rename**.
16. Insertamos el nombre del volumen, en este caso lo llamaremos casting2\_001, debido a que es la práctica 2 es que le pongo un dos detrás del nombre.

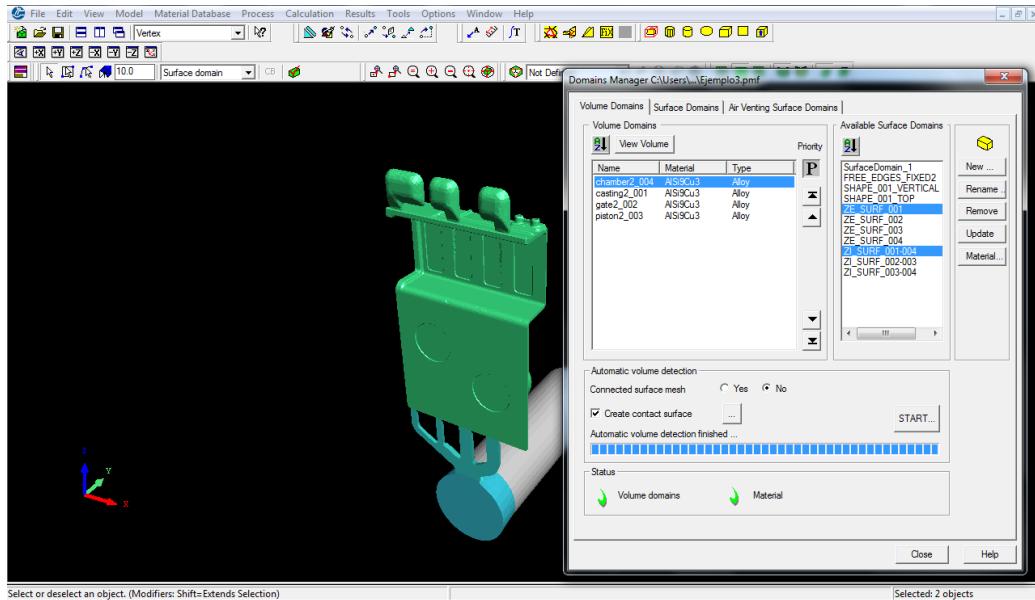


Tras renombrarlo, pasaremos a asignarle un material adecuado al volumen correspondiente.

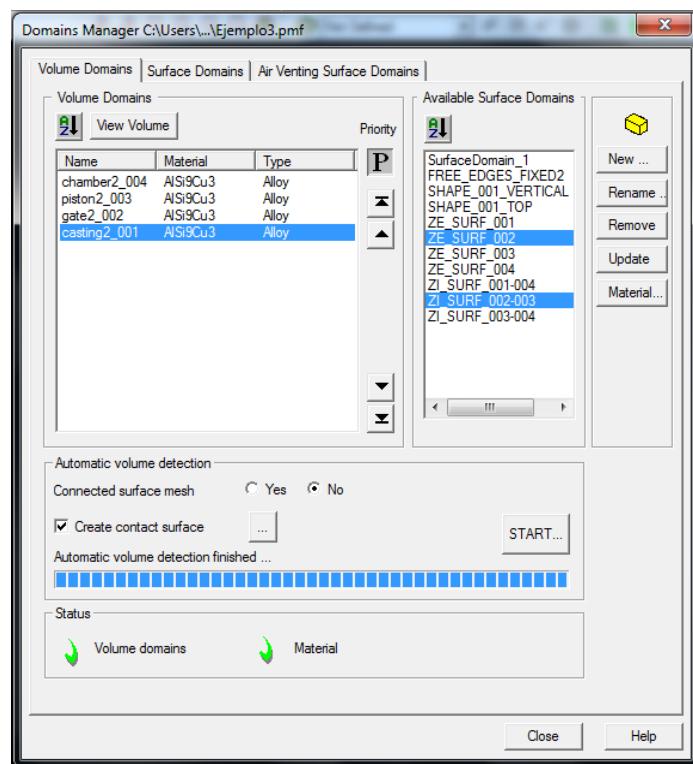
17. Marcamos el volumen **casting2\_001** y pulsamos en la opción **Material**.
18. Seleccionamos **Alloy** en la opción **Volume type**.
19. Activamos la opción **Standard DB**.
20. Seleccionamos el material **AlSi9Cu3** de la lista de materiales y pulsamos **Ok**.



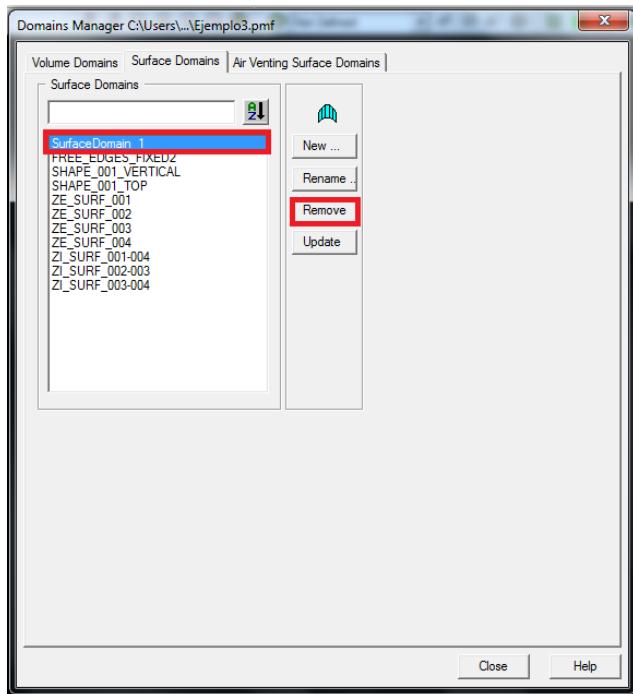
Repetiremos los pasos anteriores para renombrar todos los volúmenes y asignarles materiales, por ejemplo los llamaremos chamber2\_004 al volumen que hemos extruido como volumen de entrada, Piston2\_003 al volumen que conecta el chamber2\_004 con lo que llamaremos gate2\_002 que serán los canales de conexión con el volumen casting2\_001. A todos ellos les asignaremos el mismo material que al volumen casting2\_001.



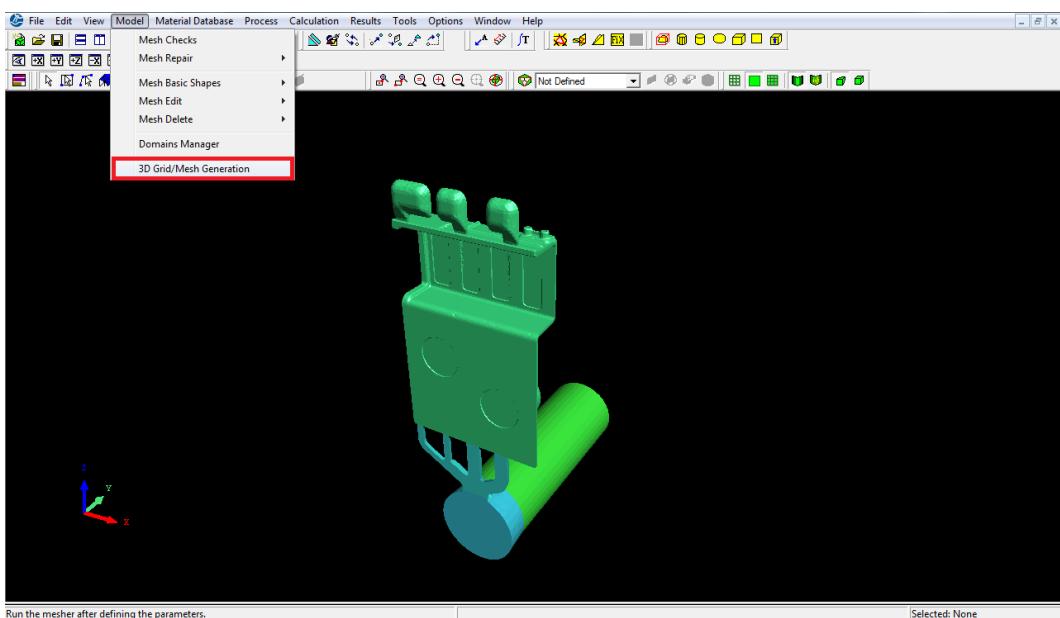
21. Pulsamos el botón **P** para activar el orden de prioridad.
22. Cambiaremos el orden de prioridad con las flechas. Este orden debe ser correspondiente al llenado, dejándolos en este orden.



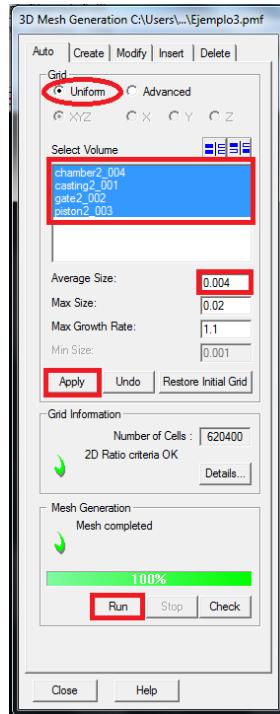
23. Por último pulsamos en la pestaña **Surface Domain**, para ver solo los dominios de superficie.
24. Y eliminamos, pulsando el botón **Remove**, las superficies que han sido creadas durante la importación y la secuencia de fijación automática.



Tras esto pulsaremos el botón **Close** para cerrar la ventana, y pasaremos a generar el mallado 3D, para posteriormente introducir los datos de inyección y realizar los cálculos. Para ello pulsaremos la opción **3D Grid/Mesh Generation** del menú **Model**.

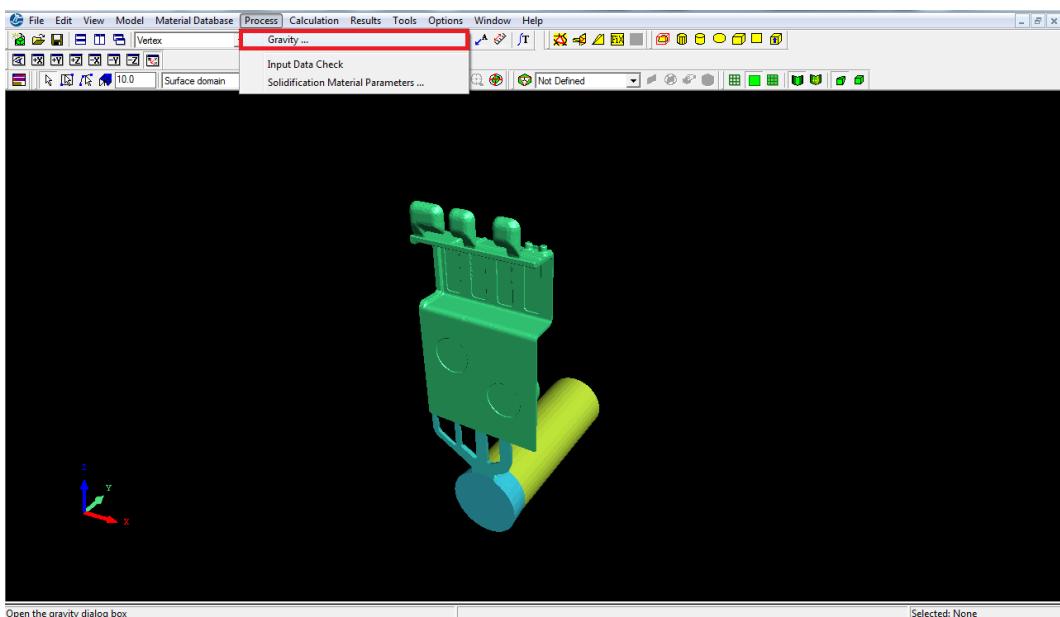


1. Activaremos el método simplificado marcando la opción **Uniform** (en otras versiones puede llamarse **Simplify**).
2. Seleccionamos todos los volúmenes.
3. Introducimos el valor del tamaño mínimo de las celdas en la opción **Min**, en este caso 0.004.
4. Pulsamos **Apply** para generar la red de la malla.
5. Pulsamos **Run** para generar la malla 3D.

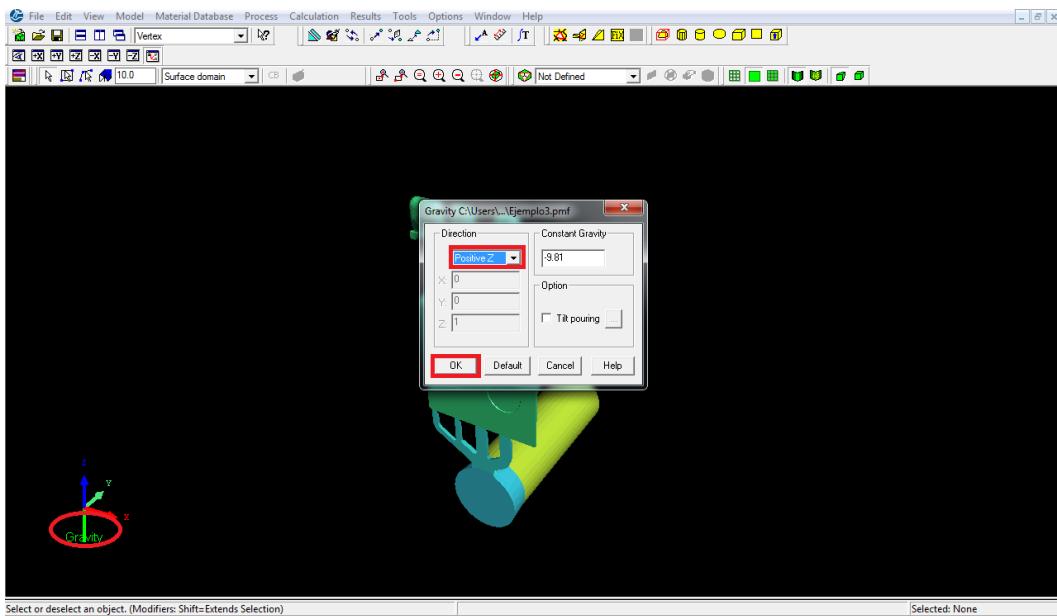


Tras generar la malla definiremos la dirección de la gravedad y comprobaremos que la hemos definido bien.

Para ello seleccionamos la opción **Gravity** en el menú **Process**.



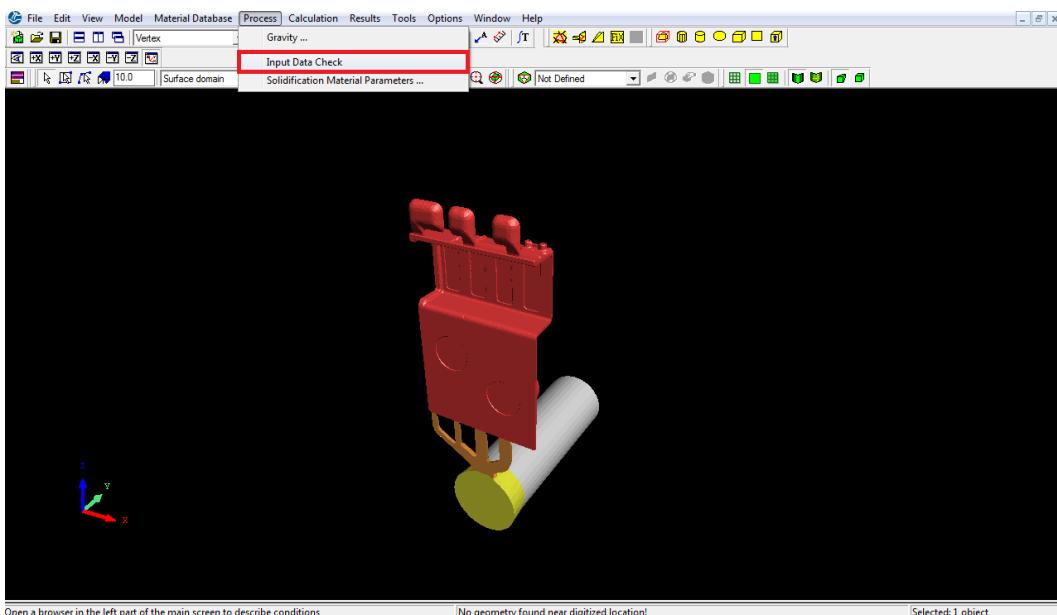
1. En la ventana que nos aparece seleccionaremos como dirección de la gravedad la opción **PositiveZ** del desplegable (veremos que la dirección de la gravedad se marca en verde en la ventana del modelo).
2. Pulsamos **Ok**.



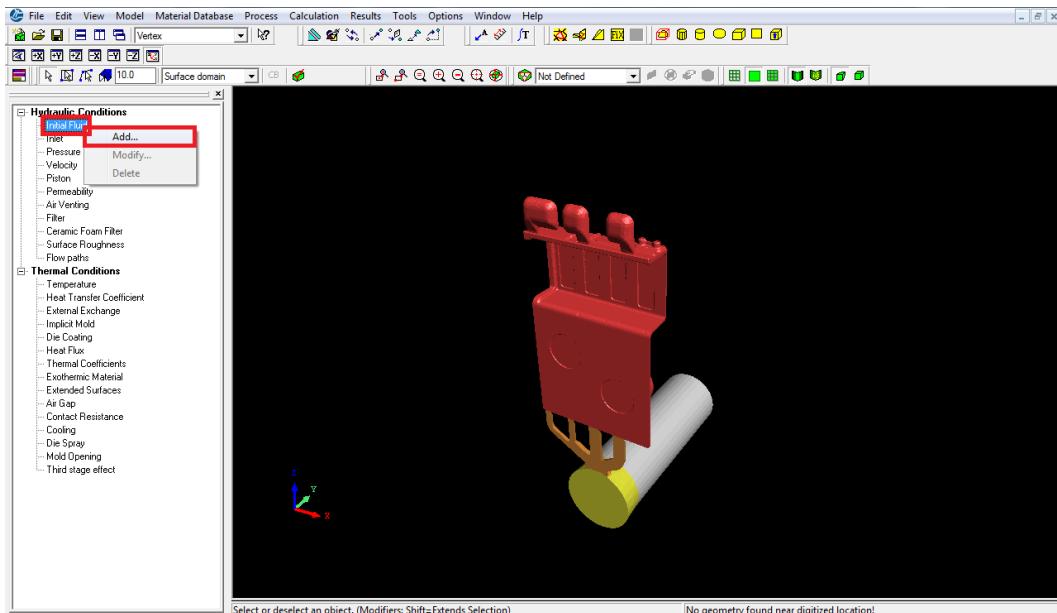
Una vez comprobada la dirección de la gravedad, pasaremos a empezar con la creación del modelo.

Para ello, en el menú **Process** seleccionaremos la opción **Input Data Check**, con lo que nos aparecerá la ventana de introducción de datos.

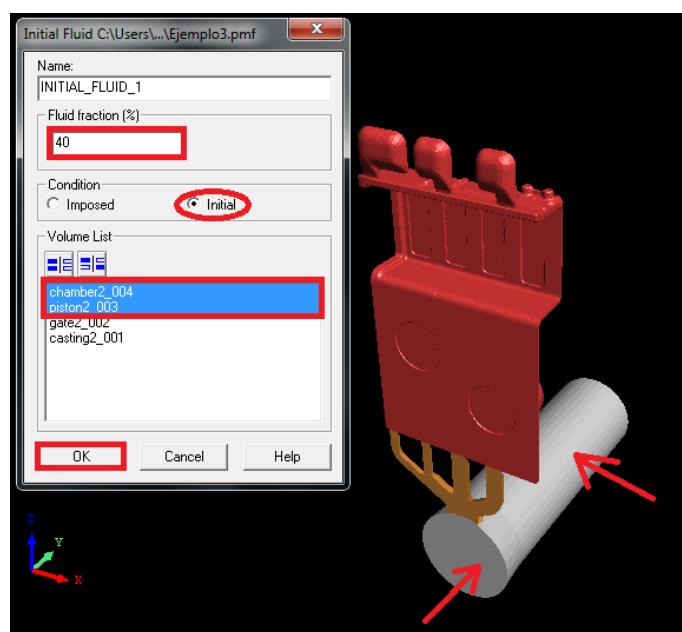
Esta ventana se utiliza para gestionar todas las condiciones de contorno que se aplican al modelo.



6. Lo primero será seleccionar la tasa inicial del fluido marcando la opción **Initial Fluid**.
7. Pulsaremos el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsaremos la opción **Add** para abrir el panel de definición.

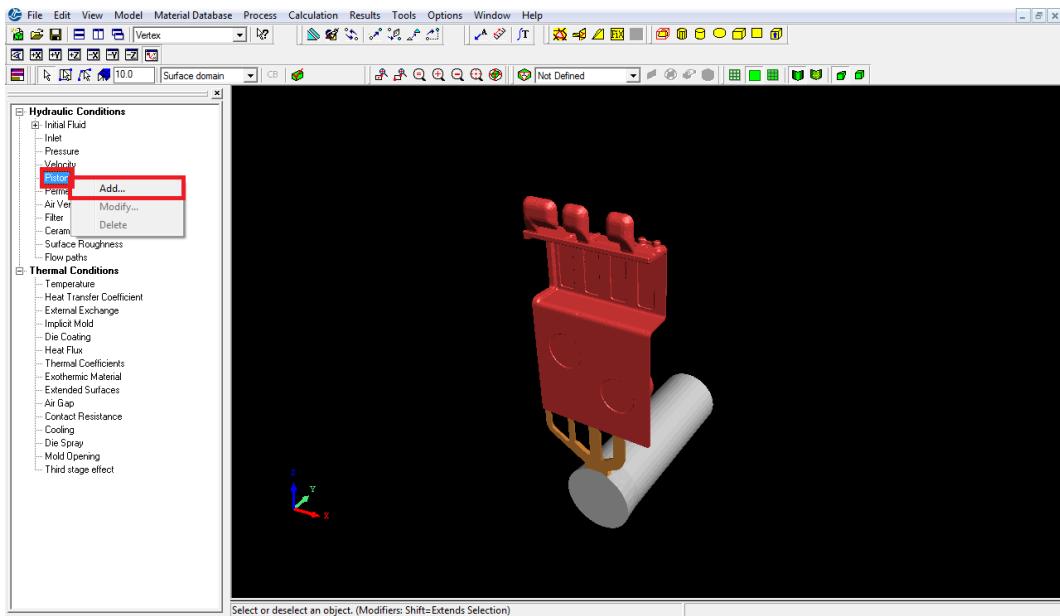


8. Ponemos el la opción **Fluid Fraction** un 40% y seleccionamos y marcamos la opción **Initial** de la zona de **Condition**.
9. En la lista de volúmenes seleccionamos los volúmenes **“Piston”** y **“Chamber”**, correspondientes con la dos primeras zonas por las que pasara el fluido (en la imagen se muestran en gris).
10. Pulsamos **Ok**.

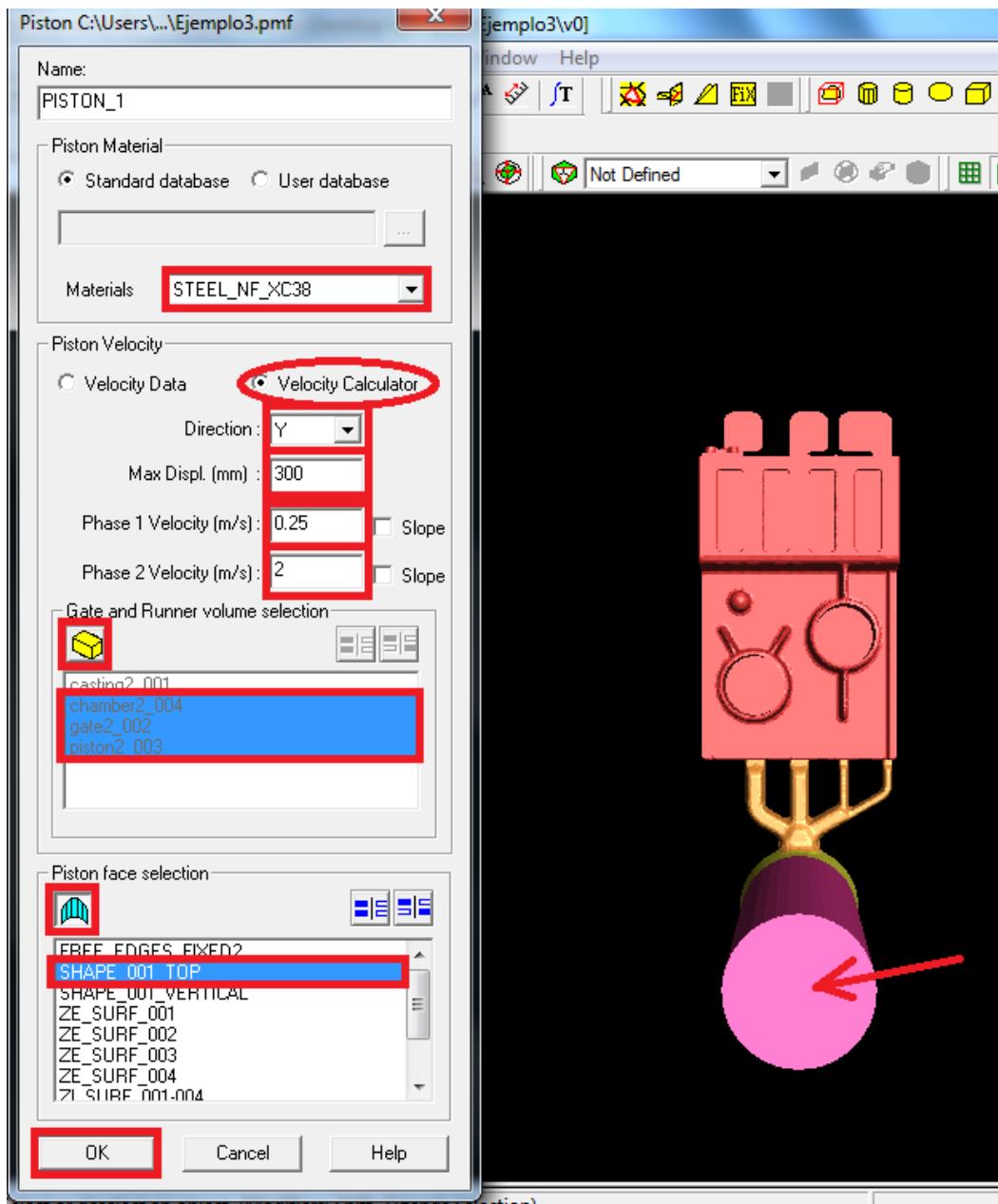


Después de establecer las condiciones del fluido, pasamos a establecer las condiciones del núcleo de arena.

1. Seleccionaremos y marcaremos haciendo click con el botón izquierdo del ratón la opción **Piston**.
2. Pulsaremos el botón derecho del ratón en la opción antes marcada y pulsaremos la opción **Add** para abrir el panel de definición.

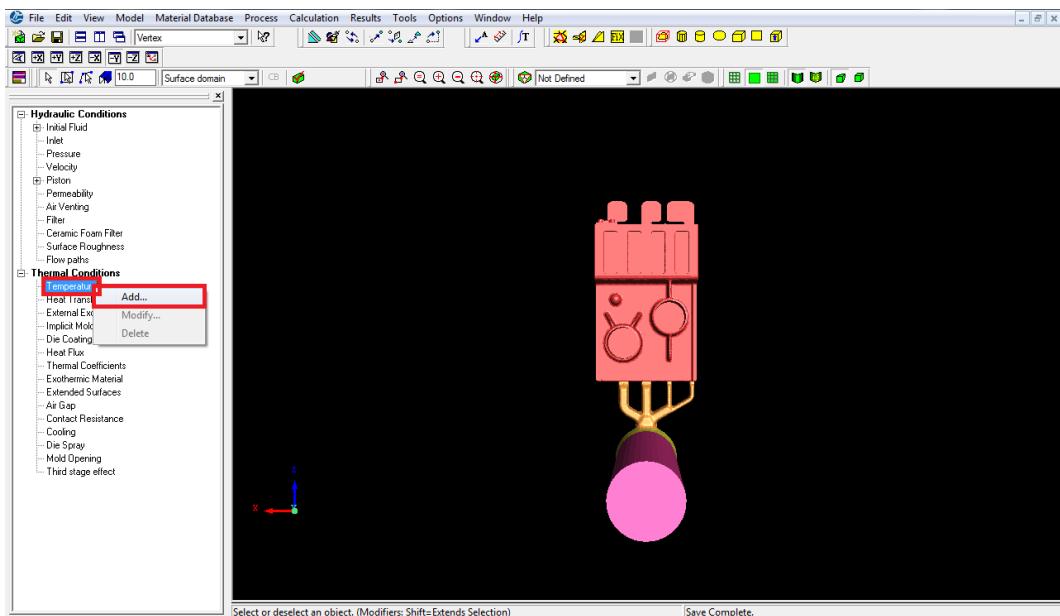


3. Seleccionamos el material para el molde que se va a realizar para el material del pistón en la opción **Material** de la ventana que nos ha aparecido. Pondremos un acero **STEEL\_NF\_XC38**.
4. En el cuadro de opciones **Piston Velocity** marcamos la opción **Velocity Calculator** para que nos calcule automáticamente la transición de la fase 1 a la fase 2.
5. Introducimos la dirección del vertido en **Direction** (dirección Y), el desplazamiento máximo en **Max Displacement** (300 mm) y la velocidad para la fase 1 y la fase 2 en **Velocity** (0.25 m/s en la fase 1 y 2 m/s en la fase 2).
6. Seleccionamos la superficie que corresponda con la superficie superior del pistón de entrada del fluido, en mi caso se llama **SHAPE\_001\_TOP** pero en otras versiones o si os sale de otra manera, puede llamarse **INLET/PRESSURE1** y seleccionamos todos los volúmenes excepto el volumen “casting”.
7. Pulsamos **Ok**.

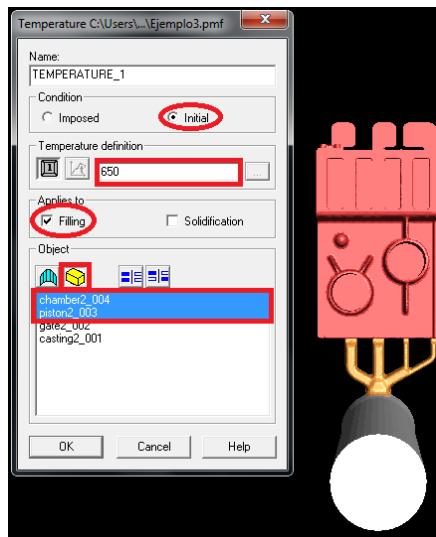


Tras estos ajustes de la condiciones del fluido, pasaremos ahora a definir las propiedades térmicas.

1. Seleccionamos y marcamos haciendo click con el botón izquierdo del ratón la opción **Temperature**, para establecer la temperatura del metal de inyección.
2. Pulsamos con el botón derecho del ratón la opción antes marcada y seleccionamos la opción **Add** de la lista para sacar la ventana de definición de parámetros.

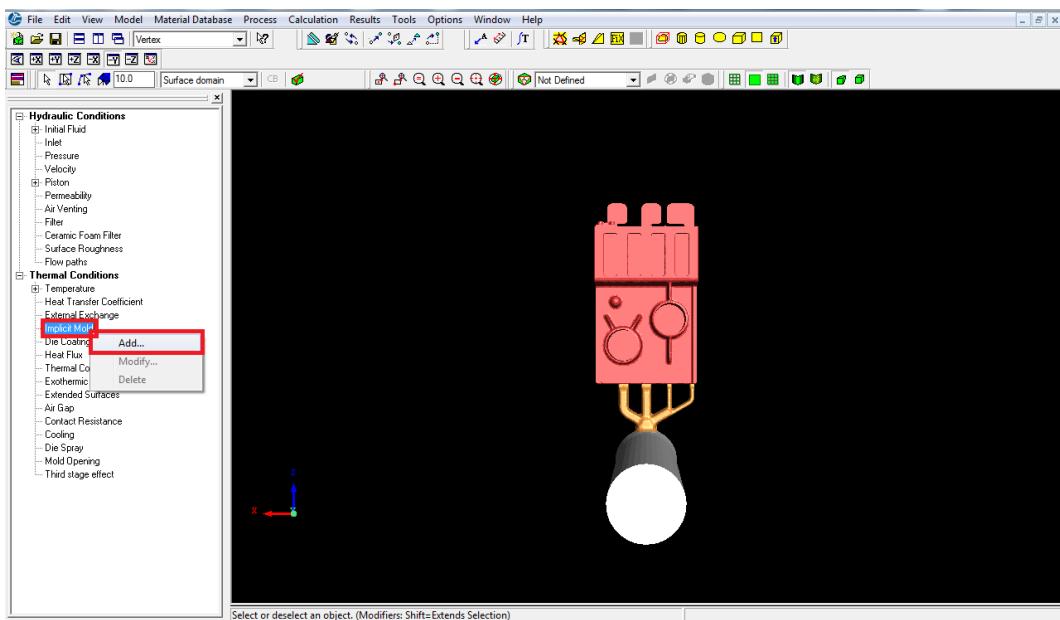


3. Seleccionamos y marcamos la opción **Initial**.
4. Introducimos la temperatura del material en la opción **Temperature definition**, 650 grados en este caso.
5. Seleccionamos y marcamos la opción **Filling** y desactivamos la opción **Solidification**.
6. Seleccionamos los volúmenes “**chamber**” y “**piston**” de la lista de volúmenes.
7. Pulsamos **Ok**.

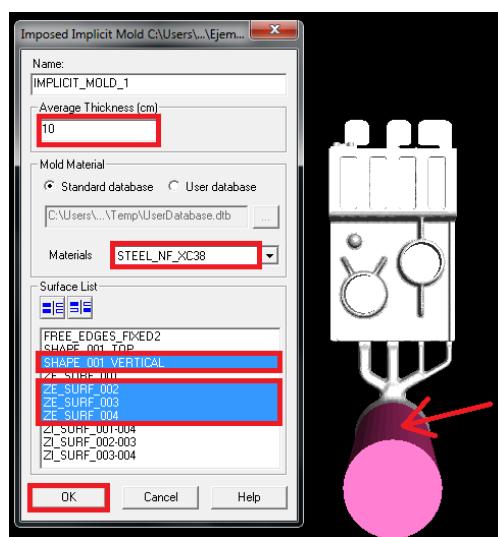


Tras esto pasaremos a establecer un molde virtual para la pieza.

1. Seleccionamos y marcamos haciendo click con el botón izquierdo del ratón la opción **Implicit Mold**, para establecer el molde virtual del material.
2. Pulsamos con el botón derecho del ratón la opción antes marcada y seleccionamos la opción **Add** de la lista para sacar la ventana de definición de parámetros.



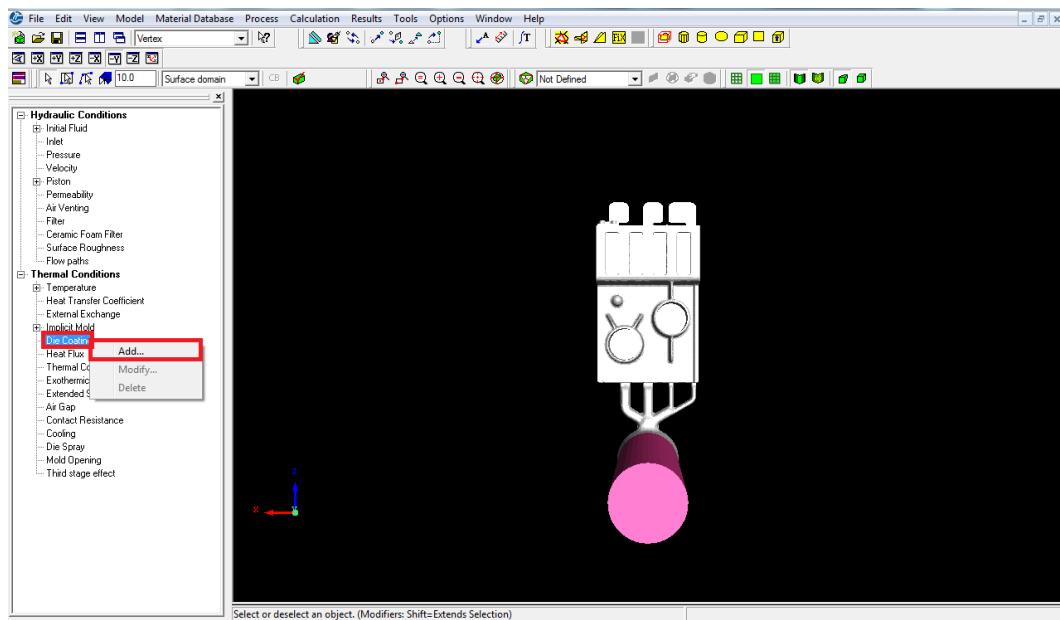
3. Introducimos la anchura del molde en centímetros en la opción **Average Thickness**, en este caso 10 cm.
4. Seleccionamos el material de la **Standard DB List**, en este caso usaremos el mismo material que hemos usado antes, el **STEEL\_NF\_XC38**.
5. Seleccionamos las superficies que tienen una interfaz con el troquel que serán las que se marquen en la figura en color gris, además de la que se marca con una flecha (todas menos la que ya hemos seleccionado en un apartado anterior).
6. Pulsamos **Ok**.



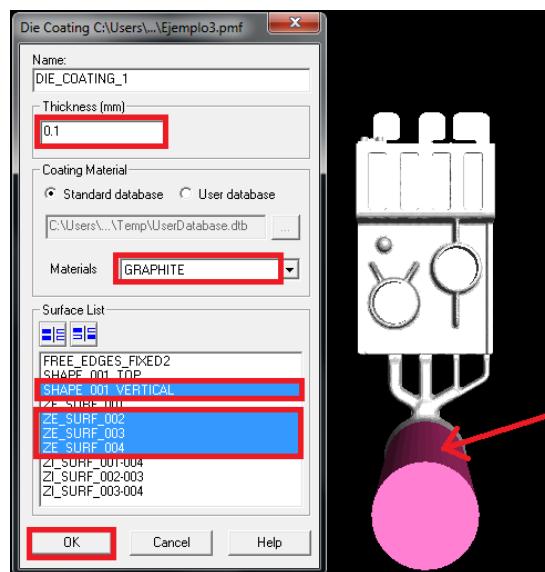
Seguiremos con la transferencia de calor de las paredes.

1. Seleccionamos y marcamos haciendo click con el botón izquierdo del ratón la opción **Die Coating**.

2. Pulsamos con el botón derecho del ratón la opción antes marcada y seleccionamos la opción **Add** de la lista para sacar la ventana de definición de parámetros.



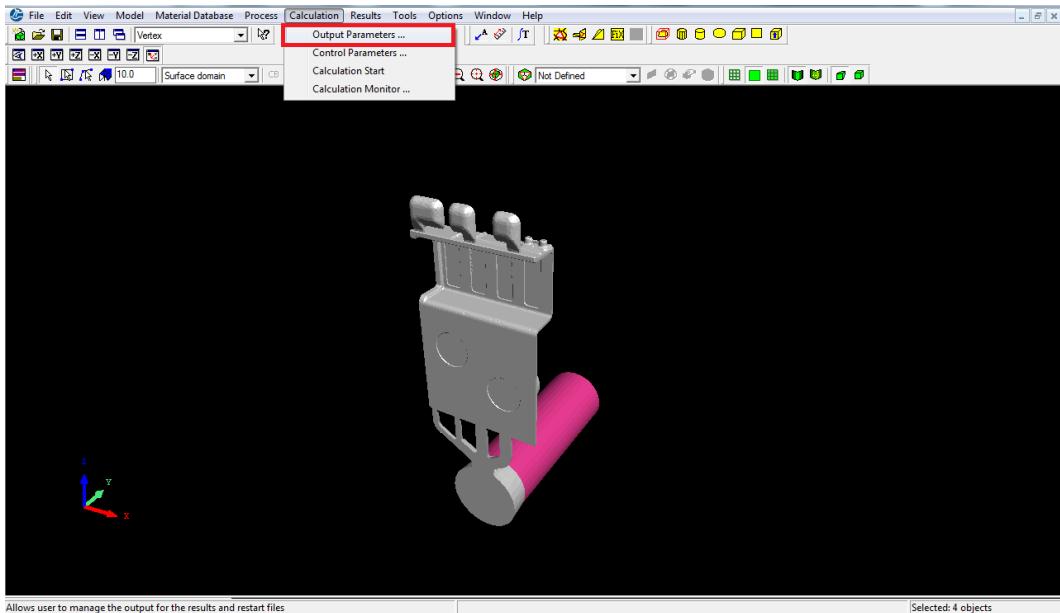
3. Seleccionamos la anchura del revestimiento en mm, en la opción **Thickness**, en este caso 0.1 mm.
4. Seleccionamos el material de revestimiento de la lista **Standard DB list**. Seleccionaremos el material **Graphite**.
5. Seleccionamos las superficies en las que se aplicara el revestimiento, que son las mismas superficies que para el caso anterior del molde virtual.
6. Pulsamos **Ok**.



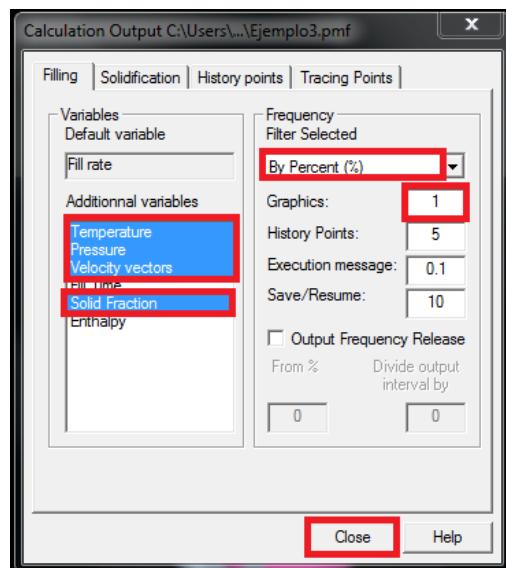
Después de esto ya quedan definidas todas las condiciones de contorno, tanto las del fluido como las de temperatura.

Por tanto ahora pasaremos a establecer los parámetros de salida del solucionador.

Para ello seleccionamos la opción **Output Parameter** del menú **Calculation**.

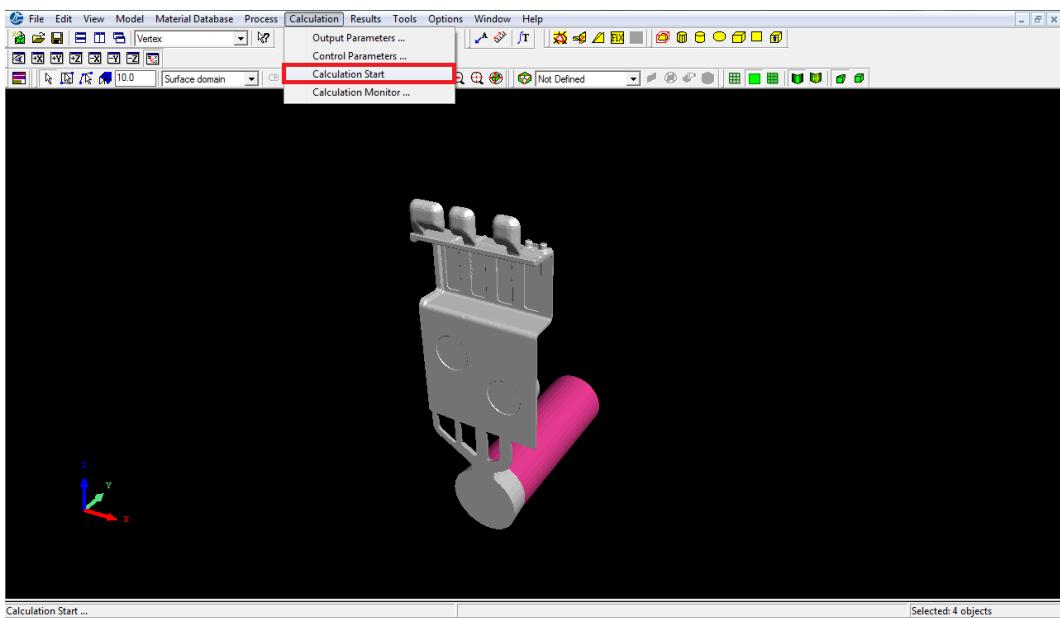


1. Activamos la pestaña **Filling**.
2. En la opción **Frequency Filter Selected**, en la lista desplegable seleccionamos la opción **By Percent**, e introducimos el valor en el campo **Graphics**, que en este caso será 1 (esto determinará el número de estados generados durante el cálculo).
3. Seleccionamos en la opción **Additional variables** las variables de contorno necesarias para el postprocesado, que serán: **Temperature, Pressure, Velocity vectors y Solid Fraction**.
4. Pulsamos **Close** y decimos que si en la siguiente ventana.

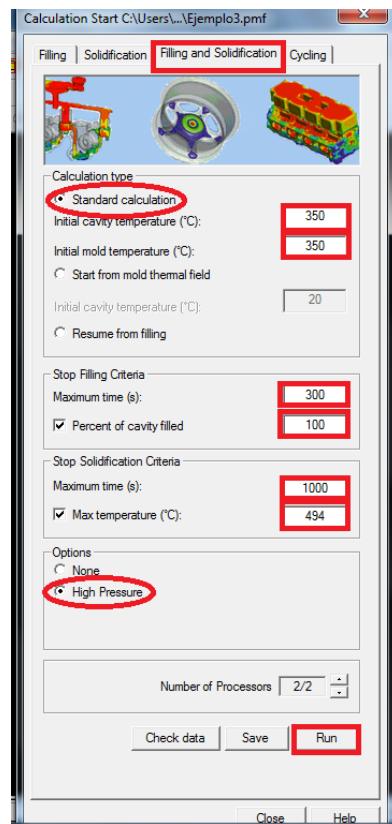


Tras esto, ya están insertados todos los datos, con lo que pasaremos a calcular los resultados de la práctica.

Para ello seleccionamos la opción **Calculation Start** del menú **Calculation**.



1. Activamos la pestaña **Filling and Solidification** y marcamos la opción **Standard Calculation** e introducimos los valores de temperatura, 350 grados tanto para **Initial cavity temperature** como para **Initial Mold Temperature**.
2. Introducimos los valores de paro del llenado y la solidificación. En **Stop Filling Criteria** ponemos los valores de 300 en **Maximum time** y 100 en **Percent of cavity filled**. Por otro lado en **Stop Solidification Criteria** ponemos 1000 en **Maximum time** y 494 en **Max Temperature**.
3. Activamos la opción **High Pressure**.
4. Pulsamos **Run** para empezar el proceso de cálculo. Esto abrirá automáticamente la ventana de monitor de cálculo.

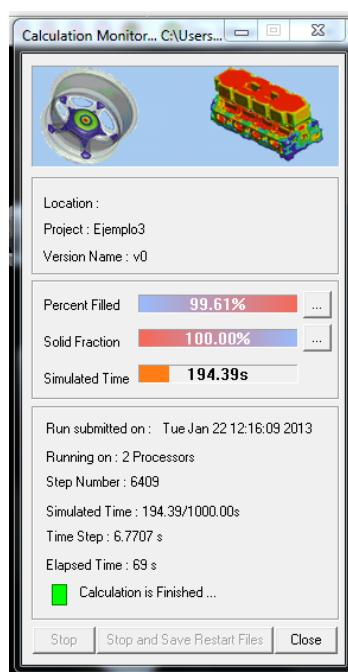


Tras esto nos aparecerá una ventana en la que se mostrara la progresión de los cálculos.

Estos cálculos pueden tardar bastante tiempo dependiendo del ordenador que se use.

Lo primero que hace es llenar el molde y posteriormente se solidificara la colada.

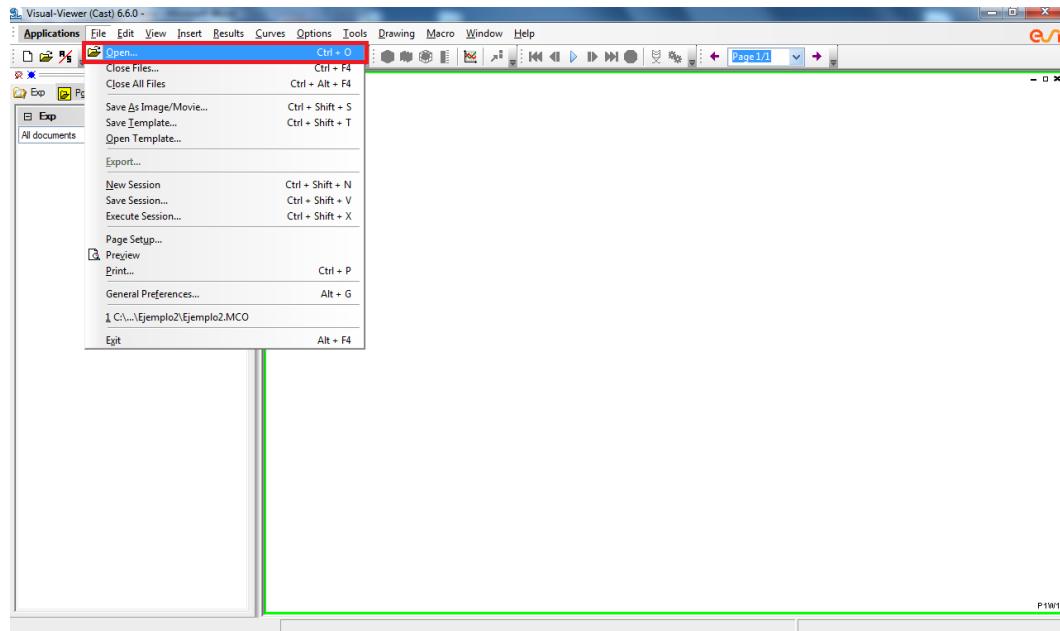
Estas dos fases vienen representadas por las dos primeras barras de proceso.



Por último, una vez se ha calculado todo, podremos utilizar un visor de moldeado para ver las zonas más críticas o y problemáticas, así como temperaturas y tensiones de colada.

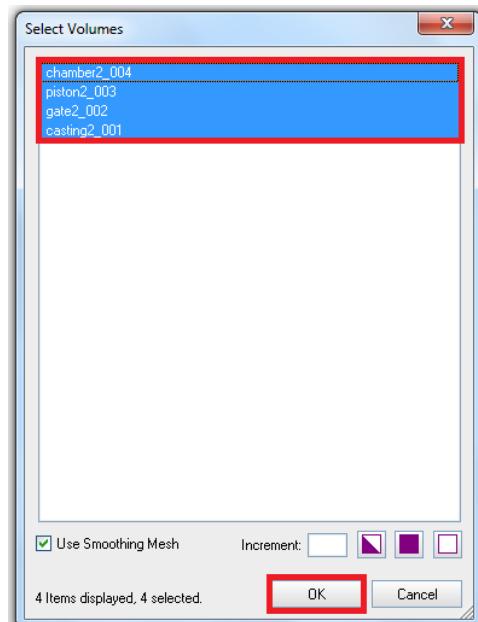
Para ello usaremos el programa **VisualCast** o **Visual ViewerCast** dependiendo de la versión que tengáis puede llamarse de varias maneras.

Empezaremos por darle a la opción **Open** en el menú **File** y seleccionaremos el trabajo/proyecto/práctica que queramos abrir.

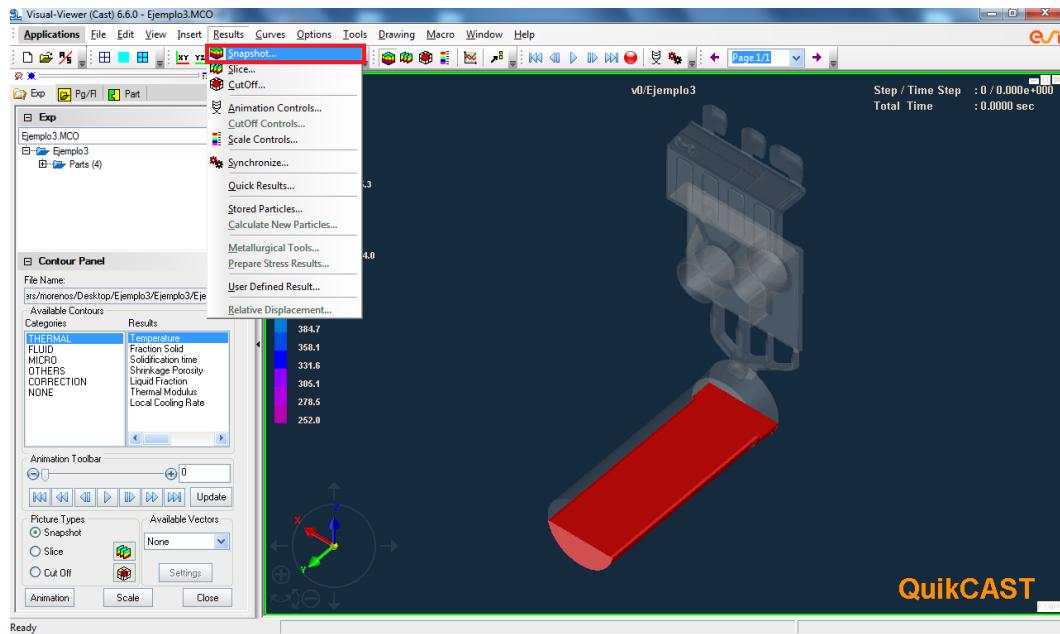


Al seleccionar el archivo deseado os habrá aparecido una lista con todos los volúmenes disponibles para cargarlos.

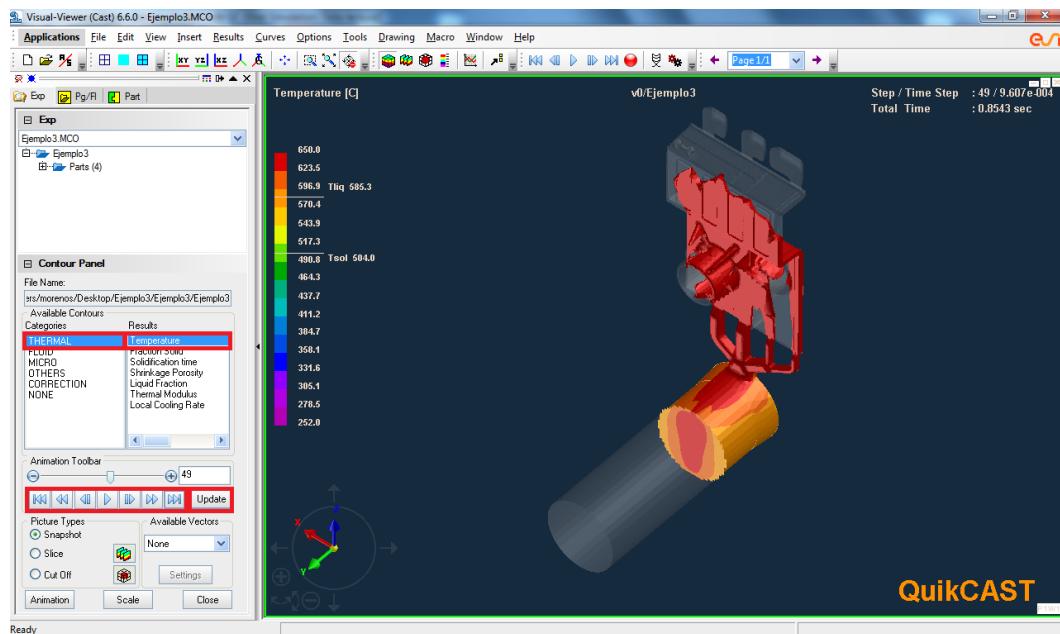
En este caso seleccionaremos todos los volúmenes, y pulsaremos **Ok**.



A continuación pulsaremos la opción **Snapshot** del menú **Results**, de esta manera podremos ver la temperatura en las diversas zonas de la pieza en el post-procesado.

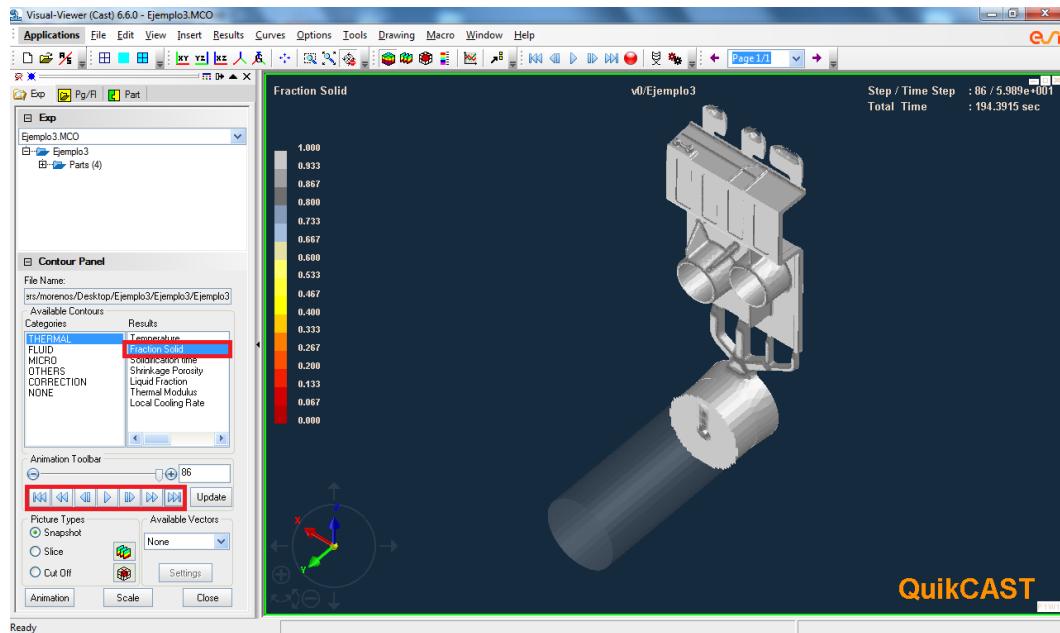


4. Seleccionamos la opción **THERMAL** en **Categories** y la opción **Temperature** en **Results** para mostrar la temperatura resultante durante el llenado y la solidificación.
5. Pulsamos el botón **Update** para actualizar los últimos resultados calculados.
6. Pulsando las flechas mostraremos los diferentes estados de temperatura.



Tras ver los resultados de temperaturas podremos ver otros resultados, como por ejemplo los resultados de la solidificación durante el proceso.

Para ello solo tendremos que pulsar la opción **Fraction Solid** en **Results**, y al igual que antes movernos por los diferentes estados de la pieza con las flechas.



De este modo VisualCast nos permitirá como antes he nombrado el conocer diferentes características durante el procesado y post-procesado de la pieza, con las que podremos mejorar el proceso o incluso el resultado final de manera informática, evitando todos los experimentos manuales que se realizaban antiguamente, pasando a realizarlos de una manera más cómoda y sencilla.

## Ejercicios

1. Indicar cual es la temperatura máxima y mínima del último estado y en que zonas encontramos dichas temperaturas.
2. Indicar cuales son las partes que tardan más tiempo en solidificar, al igual que las que tardan el menor tiempo.
3. Indicar en que estado empieza a solidificar la pieza y por que parte empieza esta solidificación.
4. Indica en que número de estado encontramos la última zona liquida y en que parte la encontramos.
5. Indicar en que número de estado la pieza deja de estar completamente a una temperatura comprendida entre 650 y 623,5 °C

## Anexo III: Trabajo Práctico

---



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza**

Realizado por:

Enrique José Moreno García



## Objetivos:

- Realizar una simulación de moldeo por arena siguiendo los tutoriales previamente realizados, con una pieza nueva y datos nuevos.
- Saber modificar datos de las condiciones límite, y realizar una nueva simulación para ver nuevos resultados y nuevas modificaciones.
- Saber interpretar los resultados obtenidos utilizando el software de visualización que en esta práctica se utiliza.

## Material a utilizar:

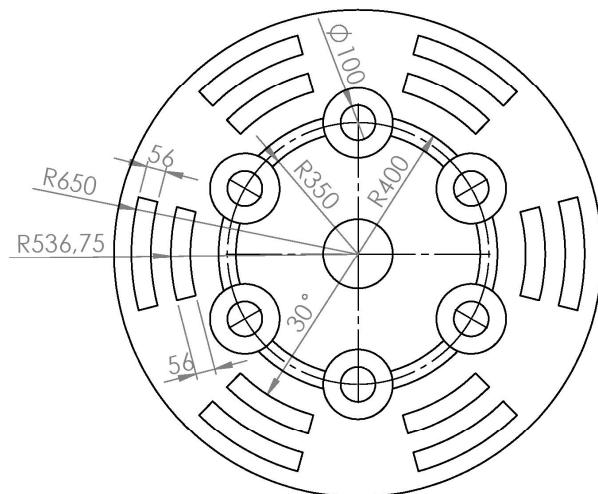
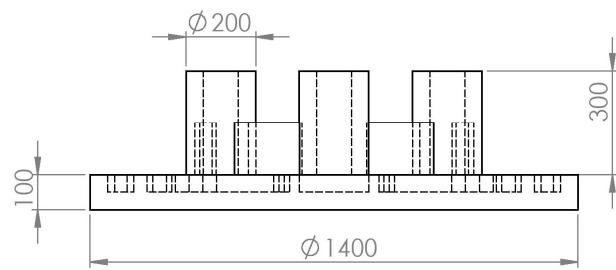
- Se van a utilizar varios software para el moldeo y visualizado de la pieza.
- Para la simulación del moldeo utilizaremos el software del grupo ESI, QuikCast, que nos permitirá realizar la simulación con los datos que hayamos introducido y las posteriores modificaciones que se podrán hacer.
- Para la visualización contaremos con el software, también del grupo ESI, VisualCast, que nos permitirá ver la simulación de la pieza por etapas, además de darnos los resultados de nuestra simulación.
- Contaremos con los archivos de datos de la pieza ya dibujada por el programa SolidWorks.
- Por último se contará con un plano de la pieza final de la cual se realizará la simulación

## Tiempo estimado:

- El tiempo estimado para esta práctica es de unas aproximadamente 3 horas, tiempo en el que se realizarán las simulaciones y el informe.
- En caso de que no sea suficiente con 3 horas, se podrá consultar con los profesores de prácticas la posibilidad de abrir la sala de ordenadores durante unas horas más otro día para terminar el trabajo práctico.



## Plano de la pieza



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					E.I.N.A.	
DIBUJ.	NOMBRE Enrique Moreno	FIRMA	FECHA 6/4/2013		TÍTULO: Práctica 1	
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
				PESO:	ESCALA:1:15	HOJA 1 DE 1



## Trabajo Práctico

**-. Una empresa de fabricación de piezas mediante moldes ha recibido un encargo de realizar la pieza que se muestra a continuación para un componente de una máquina industrial, como la pieza es de un tamaño considerable y sólo tienen que fabricar una de ellas para una sola máquina, se ha decidido fabricarla mediante molde no permanente de arena verde. Antes de fabricar la pieza se realizará una simulación mediante el software de moldeo QuikCast, para ello han enviado los datos necesarios para su simulación al ingeniero de la empresa. Estos datos son los que a continuación se muestran:**

**-Materiales:**

- Molde: Arena verde
- Pieza: Fundición de grafito esferoidal (GGG\_40)

**-Tamaño de las celdas de la malla: 0.1**

**-Condiciones hidráulicas:**

- Fluido inicial: 100
- Velocidad impuesta 2,8 m/s
- Permeabilidad: 120 para la permeabilidad y 10 cm para el grosor
- Rugosidad superficial: 0,002

**-Condiciones Térmicas:**

- Temperatura: 1420 °C
- Intercambio externo: Temperatura externa: 20 °C  
Emisividad del material: 0.9
- Resistencia al contacto: 0,003

**-Criterios de paro de llenado y solidificación**

- Llenado: Tiempo de paro: 30s  
Porcentaje de llenado: 100%
- Solidificación: Tiempo de paro: 40000  
Temperatura de paro: 1070 °C



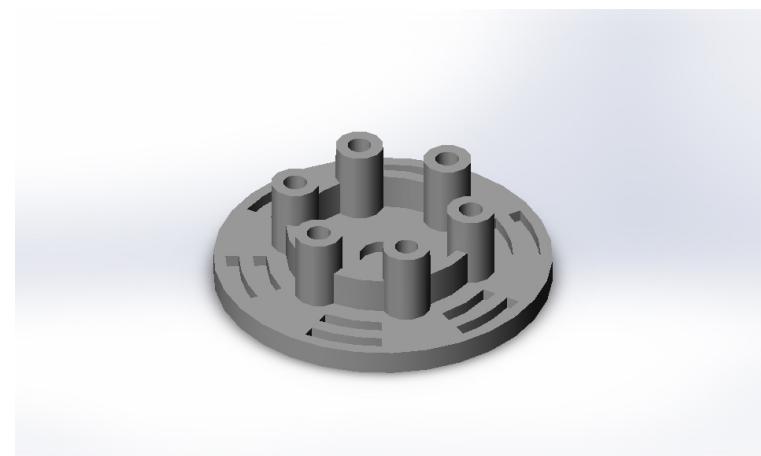
**Aquí se muestra el orden en que se realizara la pieza en tres imágenes.**



**A:** Modelo de pieza a moldear



**B:** Pieza sin bebederos ni mazarotas



**C:** Pieza final



Tu trabajo será el de realizar el papel del ingeniero que debe simular el moldeo de la pieza con el programa QuikCast, y realizar un informe respondiendo a las preguntas relacionadas con los resultados que a continuación se formulan:

1. En la etapa final (etapa 42) cuales son la máxima y mínimas temperaturas y donde las encontramos.
2. En la etapa 25 cuales son las zonas con mayor fracción líquida.
3. Cual es el tiempo aproximado de solidificación de las mazarotas.
4. En que etapa ha acabado por llenarse toda la pieza y cual es la zona que más tiempo ha tardado indicando este tiempo.
5. En la etapa 6 donde encontramos la máxima velocidad de llenado y cual es esta. ¿Corresponde esta velocidad y zona con la de todas las otras etapas?
6. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿qué le pasa al llenado?
7. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, en la etapa 6 donde encontramos la máxima velocidad de llenado y cual es esta. ¿Corresponde esta velocidad y zona con la de todas las otras etapas?
8. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿en que etapa es la última en la que sigue el llenado y qué parte es la última en llenarse y con qué tiempo?
9. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿cuál es el tiempo aproximado de solidificación de las mazarotas?
10. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, en la etapa final (etapa 42) cuales son la máxima y mínimas temperaturas y donde las encontramos.

## Anexo IV: Resultados Trabajo Práctico

---

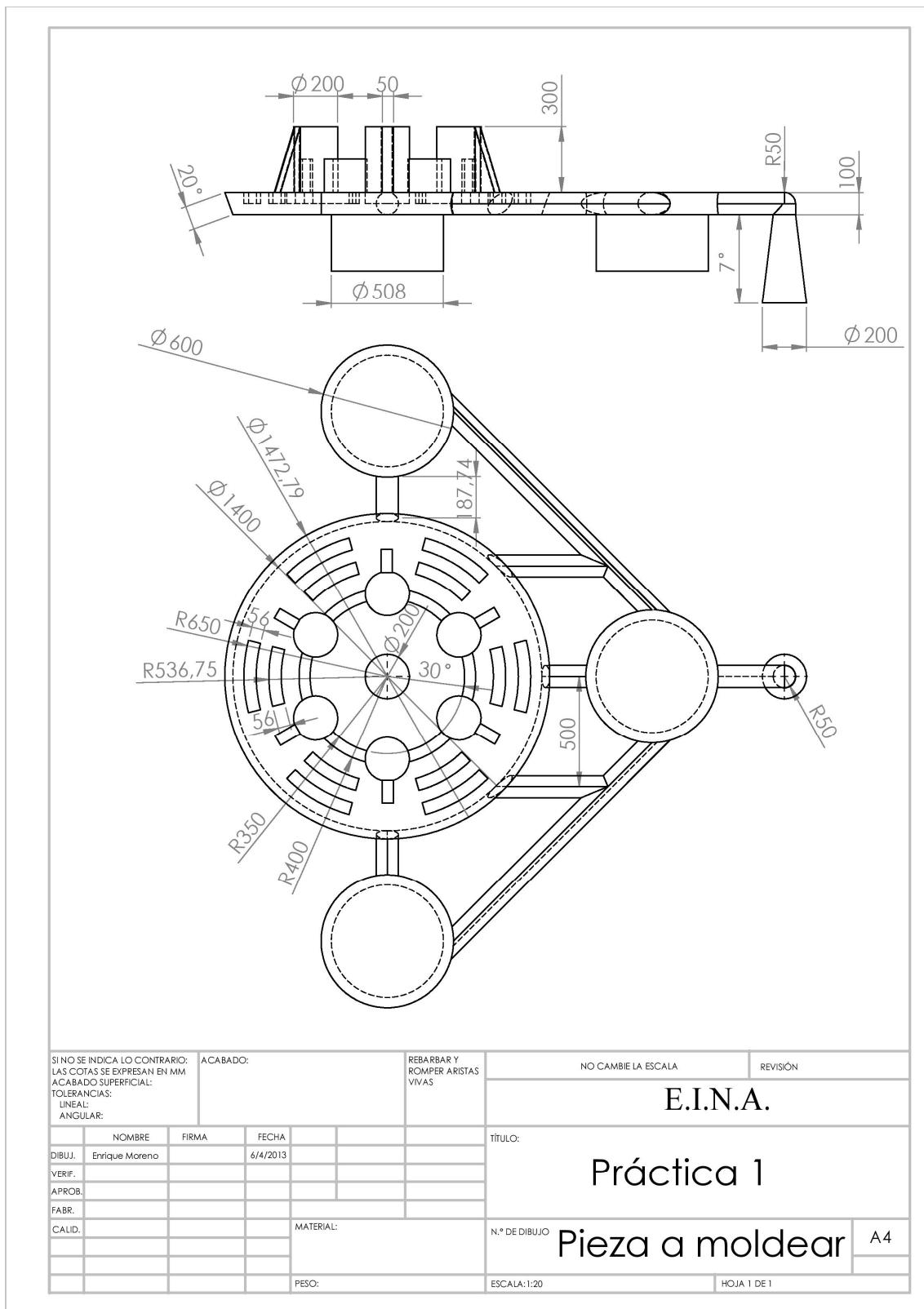


**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza**

Realizado por:

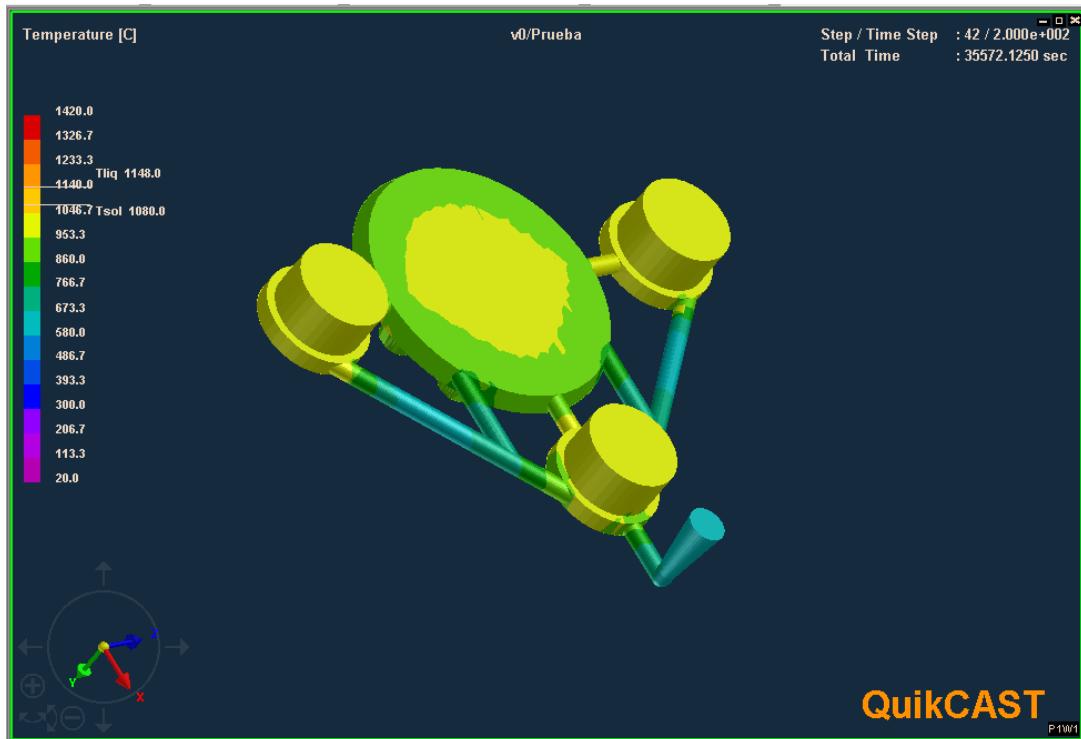
Enrique José Moreno García

## Plano de la pieza a simular

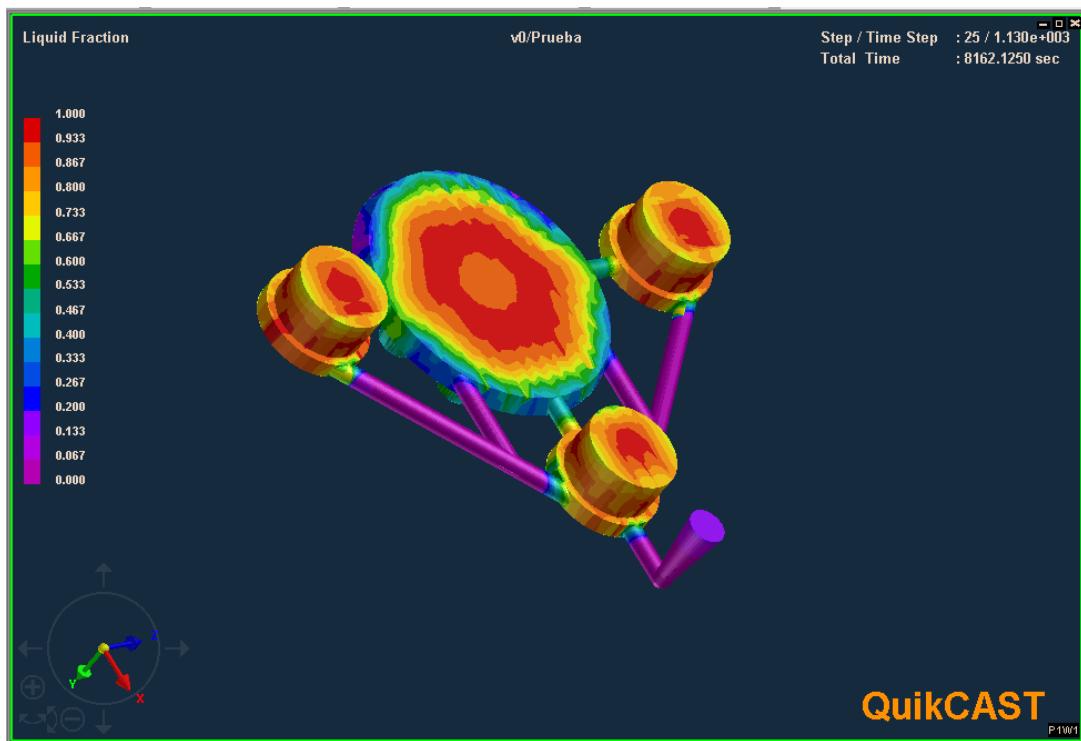


## Resultados Trabajo Práctico

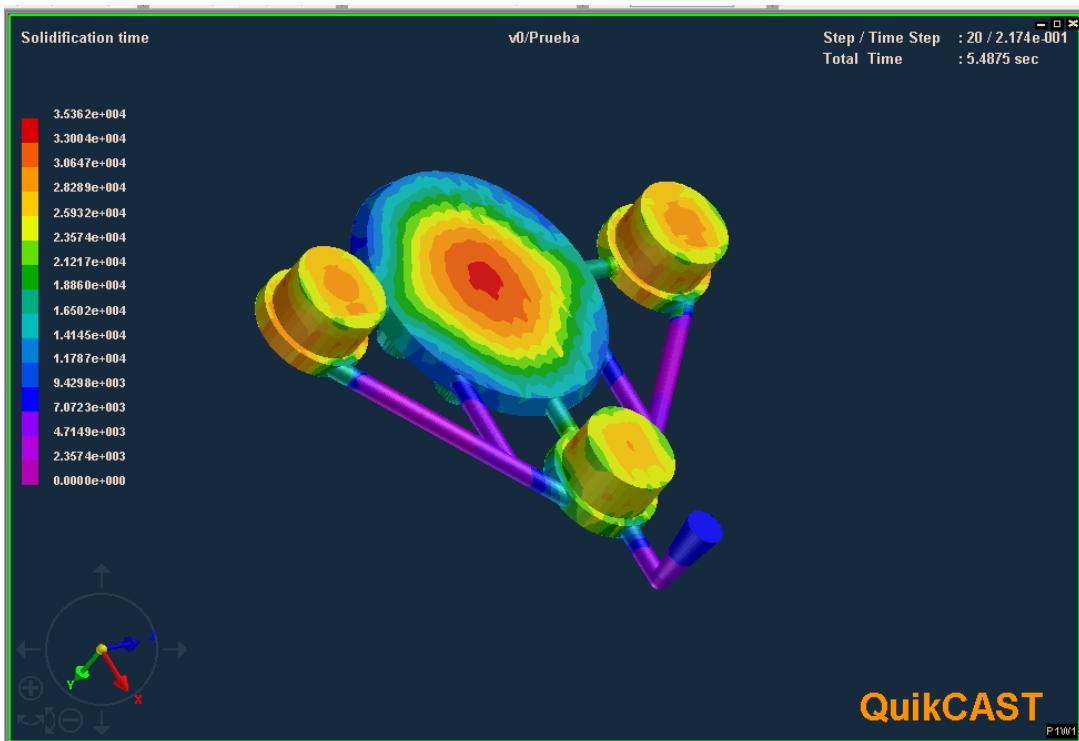
1. En la etapa final (etapa 42) cuales son la máxima y mínimas temperaturas y donde las encontramos.



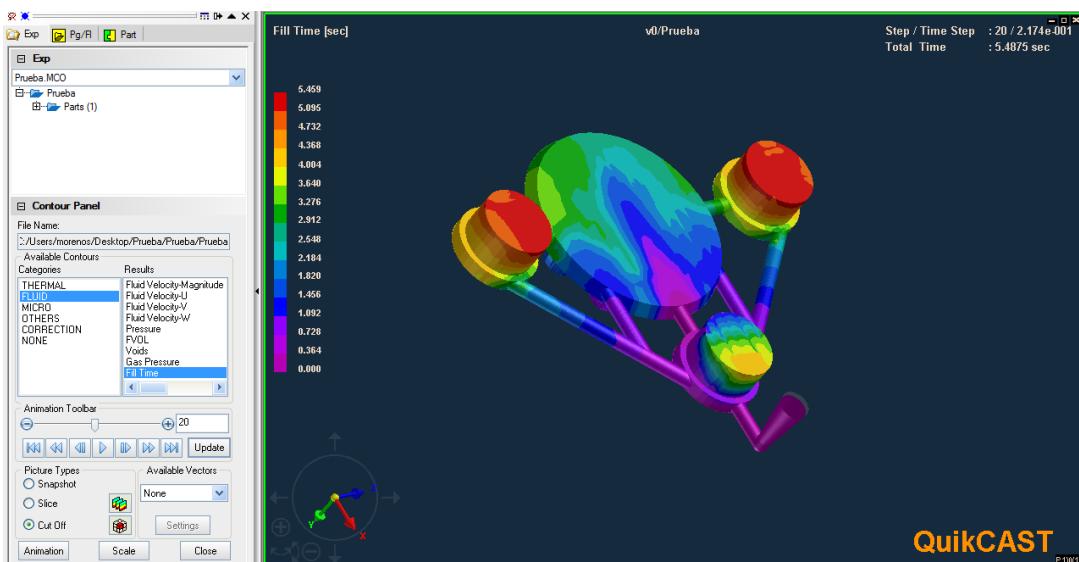
2. En la etapa 25 cuales son las zonas con mayor fracción líquida.



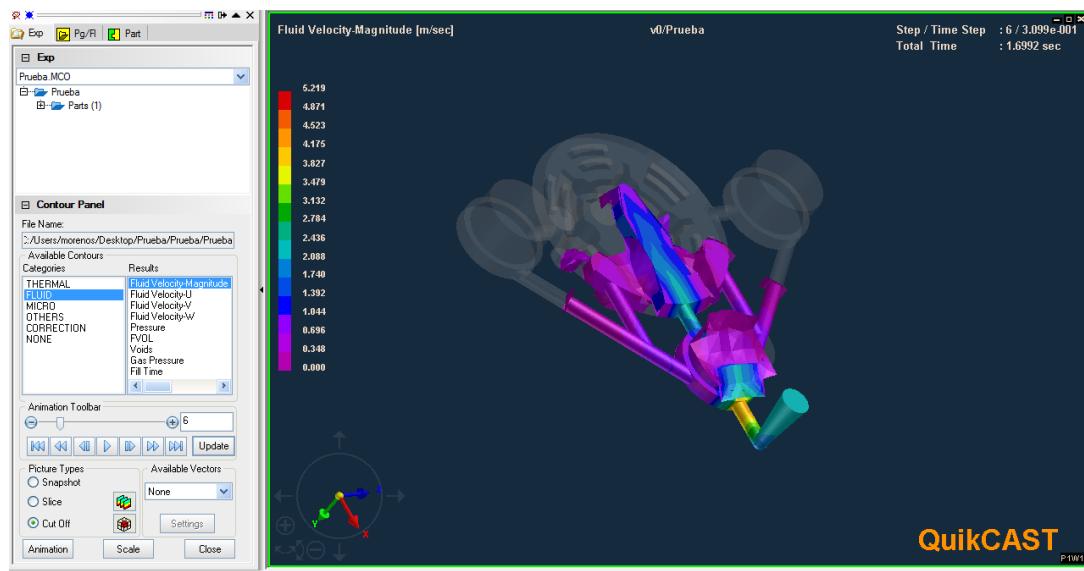
**3. Cual es el tiempo aproximado de solidificación de las mazarotas.**



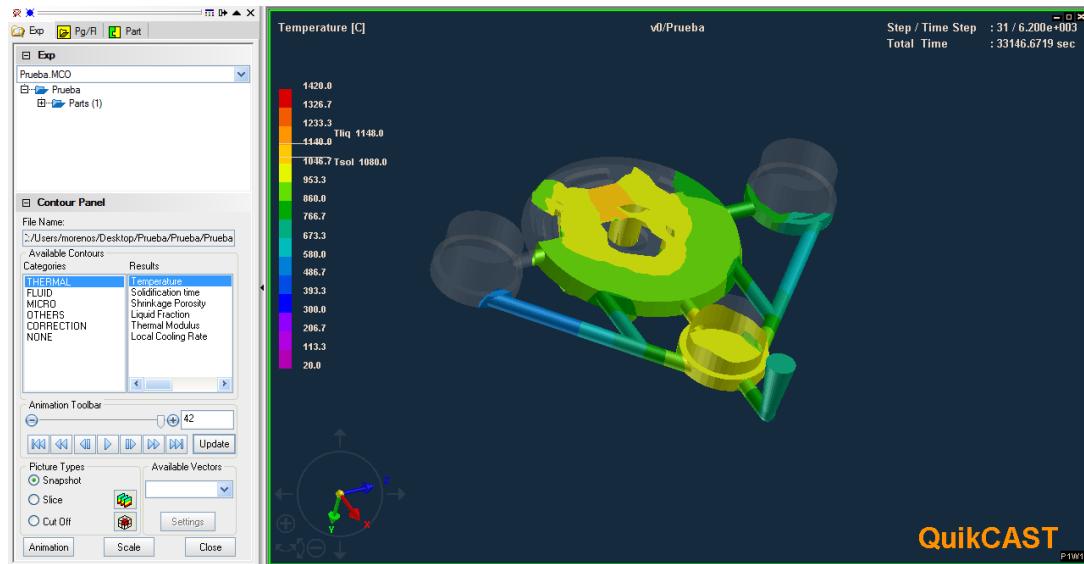
**4. En que etapa ha acabado por llenarse toda la pieza y cual es la zona que más tiempo ha tardado indicando este tiempo.**



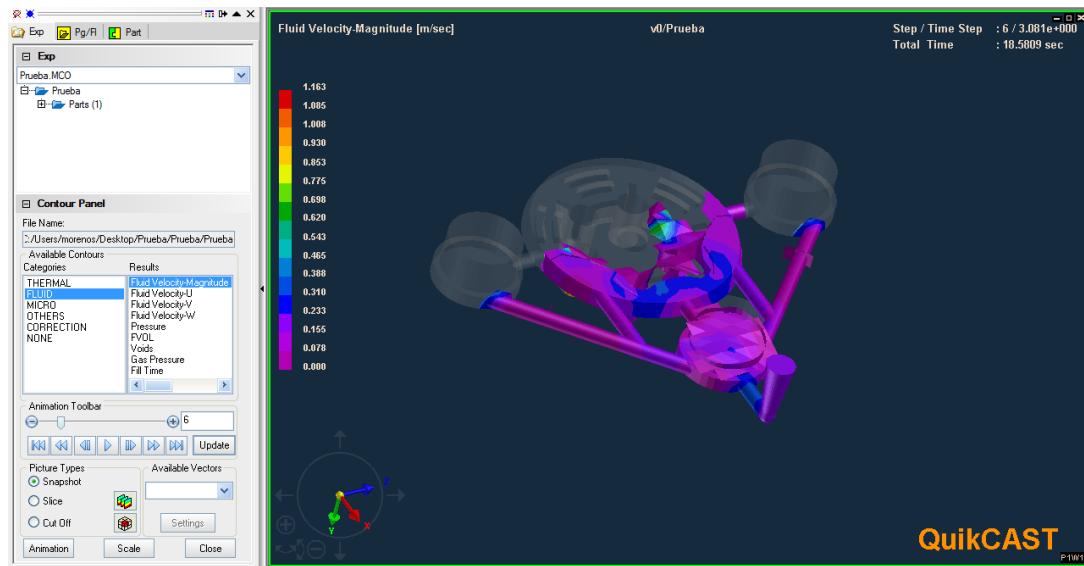
5. En la etapa 6 donde encontramos la máxima velocidad de llenado y cual es esta. ¿Corresponde esta velocidad y zona con la de todas las otras etapas?



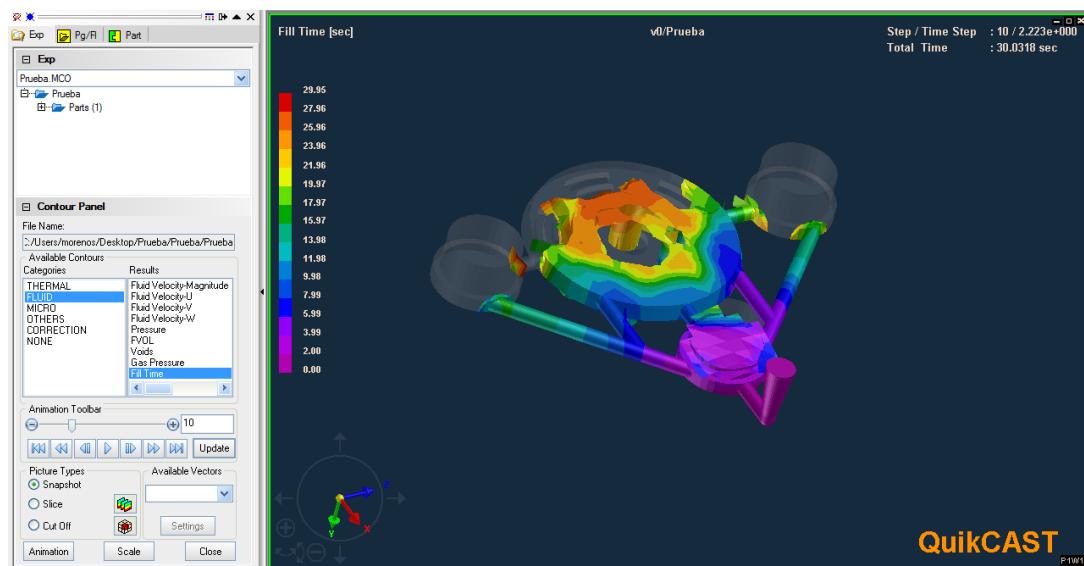
6. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿qué le pasa al llenado?



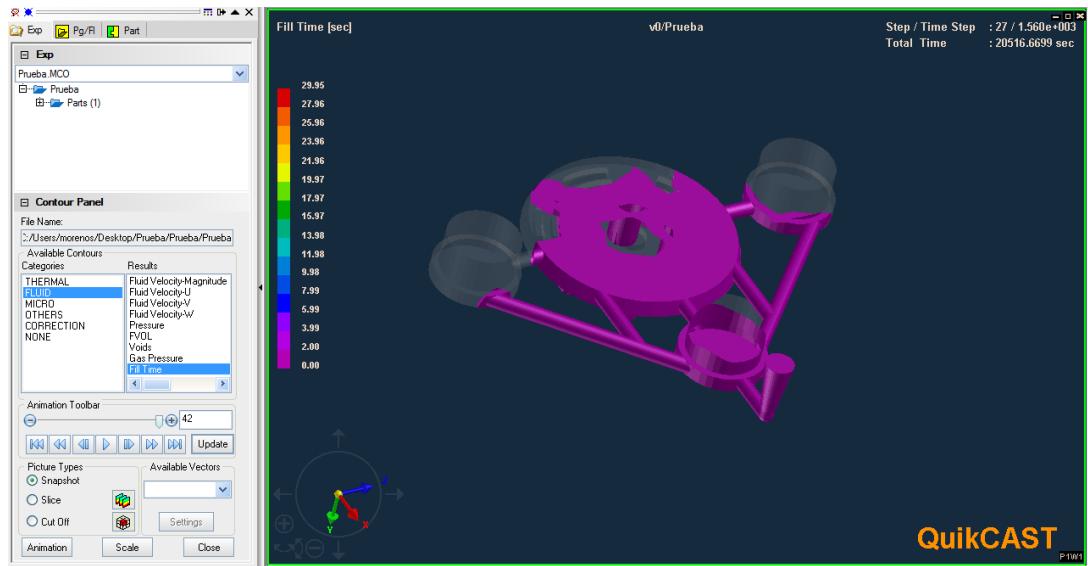
7. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, en la etapa 6 donde encontramos la máxima velocidad de llenado y cual es esta. ¿Corresponde esta velocidad y zona con la de todas las otras etapas?



8. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿en que etapa es la última en la que sigue el llenado y qué parte es la última en llenarse y con qué tiempo?



9. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, ¿cuál es el tiempo aproximado de solidificación de las mazarotas?



10. Si cambiamos la velocidad inicial y la bajamos a 0,25 m/s y dejamos los demás parámetros tal cual, en la etapa final (etapa 42) cuáles son la máxima y mínimas temperaturas y donde las encontramos.

