

# COMPUTER MODELING OF THE CASTING PROCESS TO PREVENT DEFECTS



**DAVID C. SCHMIDT**  
Vice President  
FINITE SOLUTIONS, INC.



**ARTICLE TAKEAWAYS:**

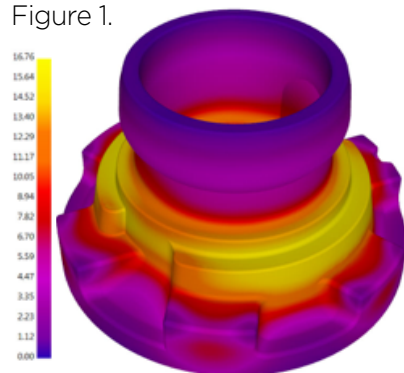
- Simulation of unrigged castings drives gating/risering design
- Flow simulation aids in process visualization
- Computational Fluid Dynamics (CFD) enhances simulation accuracy

**Introduction:** Computer modeling is the process of simulating what happens when a casting is poured into a mold and the metal cools and solidifies. By simulating this process, we hope to predict potential defects in the casting and redesign the process to eliminate these defects, before making actual castings.

**The Design Process:** Typically, the design process begins with receipt of part specifications from the customer. Traditionally this involved a paper drawing, however, nowadays most part geometries are contained in 3D CAD files, which facilitates the use of computer design and simulation.

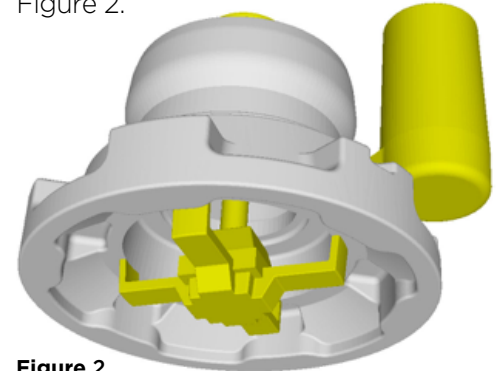
The first task of the foundry engineer is to decide on a basic process design for the casting, i.e., in what orientation the part will be cast, how it is to be gated, how it is to be risered and how many castings are to be produced in a single mold or tree. Computer simulation can

be helpful even at this early stage of design. Many foundry engineers have adopted the practice of running a “naked” simulation of the part as received from the customer, completely surrounded by mold material without gates or risers. This can often be accomplished in just a few minutes with the right software, and allows the part to be viewed from a thermal standpoint; showing the progression of “natural” solidification and the location of thermal centers in the casting, Figure 1.



**Figure 1**  
“Naked” simulation of casting plotting solidification time.

In many cases this analysis will determine the orientation of the casting in the mold; contact points for risers become obvious, and the best orientation of the casting in order to accommodate those contact points can be decided immediately. It is helpful if the simulation software has built-in design rules for feeding and gating the casting (such as a Gating Design Wizard and a Riser Design Wizard) so that location, number and size of risers and suggested size and shape of gating components can be calculated more or less automatically to establish an initial rigging design for the casting, Figure 2.



**Figure 2**  
Model of casting with initial rigging design.

Once the initial design is developed, it can be verified and fine-tuned by running complete flow and solidification analysis. This is required, due to the fact that design rules are general in nature and cannot take into account all of the dynamics that will occur within a complex casting/gating system. This means that it is necessary for the foundry to construct a 3D model of the casting with the complete proposed rigging system for computer modeling.

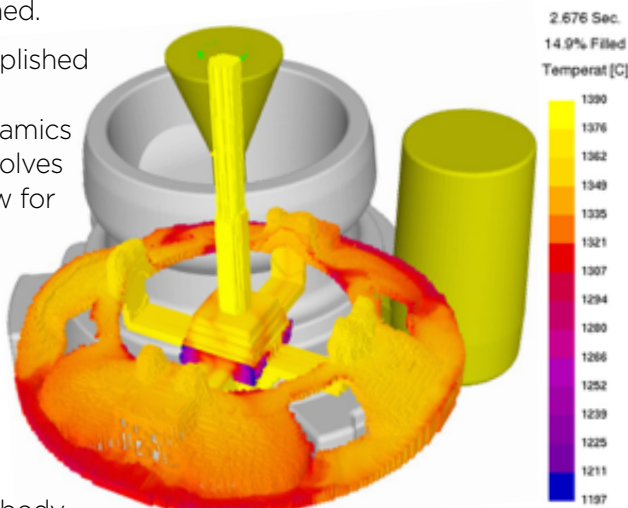
The simulation process occurs in two phases: Simulation of the flow of the liquid metal as it enters and fills the mold cavity, and simulation of the subsequent cooling and solidification of the metal along with formation of macro- and micro-porosity defects.

**Flow Modeling:** Flow modeling is an integral part of the simulation process. Flow modeling allows flow-related defects, such as misrun and oxide formation due to excessive velocity, to be predicted and reduced or eliminated through design changes prior to production of the casting. Flow modeling can be used for the evaluation of gating design to ensure the desired delivery of metal in the casting cavity. In addition, flow modeling provides a more accurate initial temperature field for modeling the subsequent cooling and solidification of the casting along with the gates and risers so that correct feeding of the casting can be obtained.

Flow simulation is accomplished through the use of Computational Fluid Dynamics (CFD), a technique that solves the equations of fluid flow for mold filling. The basic equations governing the flow of a liquid are the Navier-Stokes equations; these relate the flow of liquid to the principle of conservation of momentum as well as movement in reaction to body forces on the liquid, such as gravity, pressure and friction.

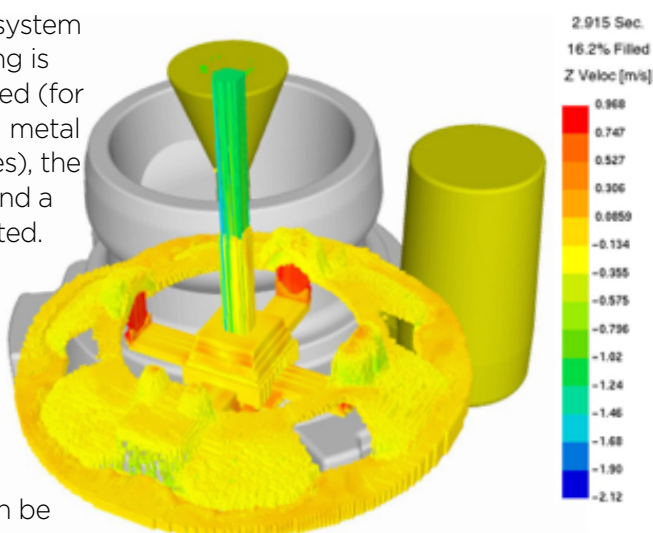
Filling simulation lets the foundry engineer visualise the flow of the liquid metal from the pouring point, through the gating system and into the mold cavity during the entire filling process. This allows

the design of the gating system to be verified. If the gating is not functioning as intended (for example, there is unequal metal flow through various gates), the design can be modified and a new design can be re-tested. In addition, the fluid flow calculations are coupled with thermal calculations so that the heat transfer from the liquid during filling and the resulting temperature distribution within the liquid metal can be viewed. This allows the prediction of areas within the casting where premature solidification may be occurring during filling, leading to defects such as misruns and folds. Accurate calculation of the temperature distribution of the liquid metal in the full mold results in highest accuracy of the subsequent modeling of cooling and solidification of the metal, Figure 3.



**Figure 3**  
*Plot of temperature distribution during mold filling.*

Another aspect of filling simulation which is quite useful in improvement of casting quality is prediction of the velocity of the liquid metal during filling, Figure 4. Areas of higher velocity tend to be areas



**Figure 4**  
*Plot of velocity distribution during mold filling.*

where excessive turbulence is likely, leading to formation of oxides as the turbulence entrains oxygen-containing gas into the metal stream.

Of course, the criticality of this effect does depend somewhat on the affinity of the particular alloy for oxygen (the tendency of the alloy to form oxides), so this is somewhat more important in alloys such as aluminium, which has a great tendency to oxidize as opposed to, say, carbon steel, which has a relatively lower affinity for oxygen. Almost all alloys, however, do have some tendency to form oxides and using flow simulation to design gating systems which minimize velocity and turbulence of the metal can be quite helpful in reducing flow-related defects in castings.



Contact:  
**DAVID C. SCHMIDT**  
dave@finitesolutions.com

# MODELADO COMPUTACIONAL DEL PROCESO DE COLADO PARA PREVENIR DEFECTOS



**DAVID C. SCHMIDT**  
Vice President  
FINITE SOLUTIONS, INC.



## PUNTOS SOBRESALIENTES DEL ARTÍCULO

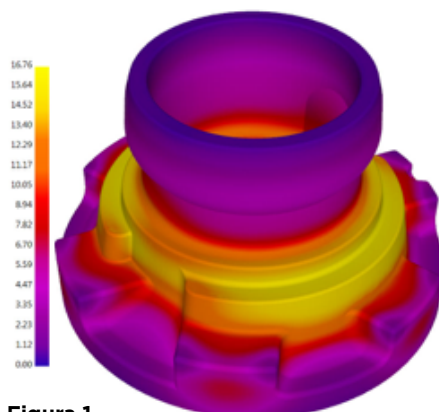
- Simulation of unrigged castings drives gating/risering design
- Flow simulation aids in process visualization
- Computational Fluid Dynamics (CFD) enhances simulation accuracy

**Introducción:** El modelado computacional es el proceso de simular lo que sucede cuando se cuela una pieza en un molde y el metal se enfría y solidifica. Al simular este proceso, esperamos predecir potenciales defectos en la pieza fundida y rediseñar el proceso para eliminar estos defectos, antes de colarlo en planta.

**El Proceso de Diseño:** Típicamente, el proceso de diseño comienza al recibir las especificaciones de la pieza de parte del cliente. Tradicionalmente esto incluía un plano en papel, sin embargo, ahora la mayoría de las especificaciones dimensionales están contenidas en archivos CAD en 3D, lo que facilita el uso de diseño computacional y simulación.

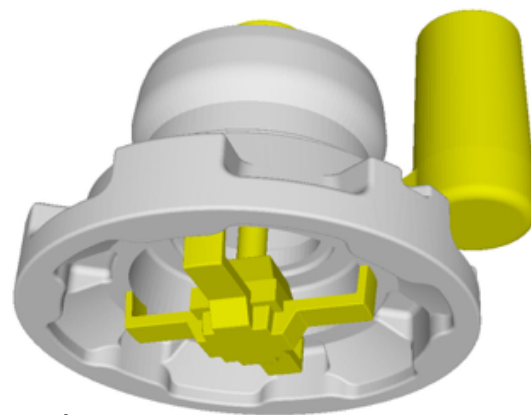
La primer tarea del ingeniero de la fundición es decidir un diseño de proceso básico de la pieza, por ej., con qué orientación se va a colar, cómo se la va a alimentar, si va a tener y cómo serán montantes o mazarotas y cuántas piezas se producirán por molde o árbol de piezas. La simulación puede ayudar incluso en esta etapa temprana

del diseño. Muchos ingenieros de procesos han adoptado la práctica de correr una simulación “desnuda” de la pieza, tal cual como la recibieron del cliente, completamente rodeadas por material del molde sin canales de alimentación ni mazarotas. Esto frecuentemente puede lograrse en unos minutos con el software adecuado, y permite observar el comportamiento de esta pieza con un enfoque térmico; mostrando la progresión “natural” de la solidificación y la ubicación de los puntos calientes de la pieza, Figura 1.



**Figura 1**  
simulación “desnuda” de la pieza grafica el tiempo de solidificación.

En muchos casos, este análisis determinará la orientación de la pieza en el molde; los puntos de contacto para los alimentadores se vuelven obvios y puede decidirse inmediatamente la mejor orientación de la pieza para acomodar estos puntos de contacto. Ayuda si el software de simulación incluye reglas de diseño para la alimentación y los canales (como Gating Design Wizard y Riser Design Wizard) de modo que la ubicación, número y tamaño de montantes y los componentes de tamaño y forma sugeridos pueden calcularse de manera más o menos automática para proponer una disposición inicial de diseño, Figura 2.



**Figura 2**  
Modelo inicial de colado.

Una vez desarrollado el diseño inicial, puede verificarse y ajustarse en detalle corriendo una simulación completa de análisis de llenado y solidificación. Esto es necesario, ya que las reglas de diseño son generales por naturaleza y no pueden tomar en cuenta todos los detalles dinámicos que ocurren en un sistema complejo de pieza / sistema de canales. Esto significa que la fundición necesita construir un modelo 3D de la pieza con el sistema propuesto completo para su modelado computacional.

El proceso de simulación ocurre en dos fases: Simulación del metal líquido mientras entra y llena la cavidad del molde, y la simulación del consiguiente enfriamiento y solidificación del metal junto con la formación de defectos de macro- y micro-porosidad.

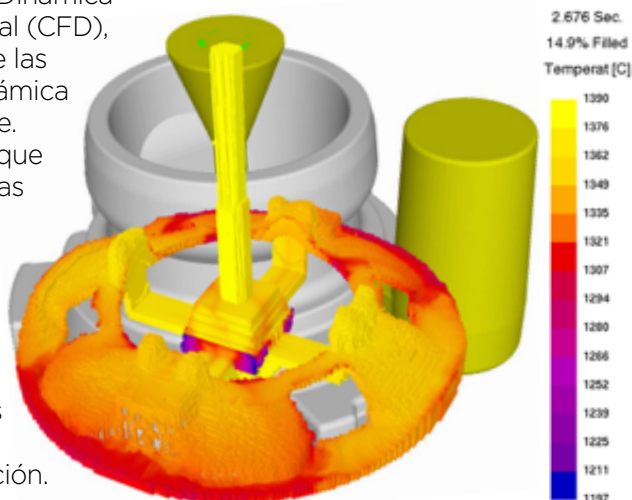
### Modelado Fluidodinámico:

El modelado del comportamiento fluidodinámico es parte integral del proceso de simulación. El modelado del llenado permite calcular defectos relacionados al mismo, como llenados incompletos (misrun) y formación de óxidos por velocidad excesiva, estos defectos pueden predecirse y reducirse o eliminarse mediante cambios en el diseño antes de que la pieza entre en producción. El modelado fluidodinámico puede usarse para evaluar el diseño de la alimentación para entregar el metal deseado en la cavidad. Adicionalmente, el modelado del flujo de metal nos brinda un mapa de temperaturas inicial más realista para modelar el enfriado y solidificación subsiguientes de la pieza junto a sus canales y mazarotas, de modo de obtener un llenado correcto de la pieza.

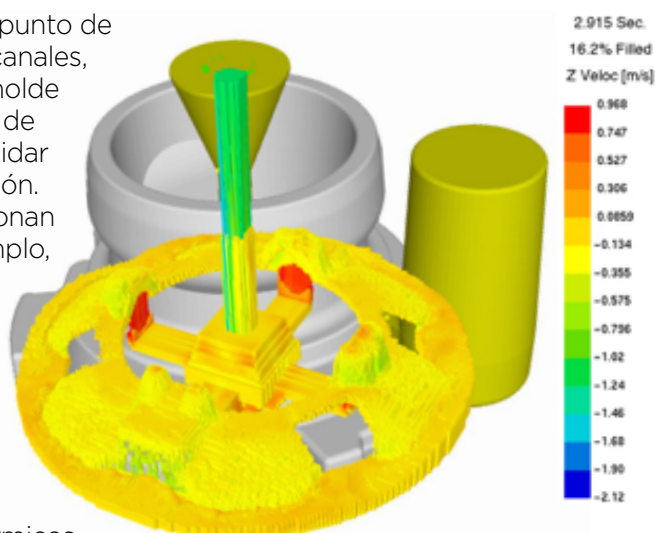
Se logra la simulación fluidodinámica usando Dinámica del Fluido Computacional (CFD), una técnica que resuelve las ecuaciones de fluidodinámica para el llenado del molde. Las ecuaciones básicas que gobiernan al fluido son las de Navier-Stokes; éstas correlacionan el flujo de líquido con el principio de conservación de momento así como también el movimiento en reacción a las fuerzas en el líquido, como gravedad, presión y fricción.

La simulación del llenado permite que el ingeniero de procesos de la fundición visualice cómo fluye

el metal líquido desde el punto de colado, atravesando los canales, hacia las cavidades del molde durante todo el proceso de llenado. Esto permite validar el diseño de la alimentación. Si estos canales no funcionan como se desea (por ejemplo, hay un flujo de metal desbalanceado entre los canales que atraviesan varias entradas), puede modificarse el diseño y volver a correrlo para verificarlo. Además, los cálculos hidráulicos se acoplan a los cálculos térmicos de modo que puede observarse la transferencia de calor del líquido durante el llenado y la distribución de temperaturas resultante dentro del metal. Esto permite la predicción de áreas dentro de la pieza donde podría ocurrir una solidificación prematura durante el llenado, dando lugar a defectos como pliegues o piezas no terminadas de llenar. Un cálculo preciso de la distribución de temperatura en el metal líquido en el molde completo se traduce en la mayor precisión para el posterior modelado del enfriamiento y solidificación del metal, Figura 3.



**Figura 3**  
Gráfica de distribución de temperatura durante el llenado del molde



**Figura 4**  
Gráfica de distribución de velocidades durante el llenado.

Otro aspecto muy útil para la mejora de la calidad de la pieza en la simulación del llenado, es la predicción de la velocidad del metal líquido durante el llenado, Figura 4. Las áreas de velocidades más altas tienden a ser zonas donde aparece turbulencia, llevando a la formación de óxidos ya que la turbulencia permite que entre gas conteniendo oxígeno al flujo de metal. Por supuesto, la criticidad de este efecto depende en la afinidad que la aleación tenga por el oxígeno (su tendencia a formar óxidos), de modo que esto es más importante en aleaciones de aluminio, que posee gran tendencia a oxidarse, que por ejemplo, en aceros al carbono, que tienen una afinidad relativamente menor por el oxígeno. Casi todas las aleaciones, sin embargo, tienen alguna tendencia a formar óxidos y usar una herramienta de simulación para diseñar los canales de alimentación que minimicen la turbulencia del metal puede ser de gran ayuda para reducir los defectos relacionados con el llenado en las piezas coladas.



Contact:  
**DAVID C. SCHMIDT**  
dave@finitesolutions.com