

DISEÑO DE PLACA MODELO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA PIEZA  
UTILIZADA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL

KAROL DAYANNE QUINTERO CASTELLANOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
BUCARAMANGA  
2019

DISEÑO DE PLACA MODELO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA PIEZA  
UTILIZADA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL

KAROL DAYANNE QUINTERO CASTELLANOS

Trabajo de grado: Proyecto de investigación para optar al título de  
ingeniera metalúrgica

Director

ANDRES GIOVANNI GONZALEZ HERNANDEZ

Doctor en Ingeniería

Codirector

CRISTIAN CAMILO VIAFARA ARANGO

Doctor en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
BUCARAMANGA

2019

## DEDICATORIA

*A mis padres, Edgar Quintero y Stella Castellanos, por su apoyo incondicional y por todo lo que hacen diariamente por nosotros. Nunca me cansaré de agradecerles.*

*A mis hermanitos Karen y Fabián por su cariño y paciencia, por alegrarme y siempre estar ahí para reírse conmigo.*

*Mis logros serán siempre por y para ustedes...*

*A mis nonos Alcira, Sara, Hernando y Luis, por sus oraciones y por creer siempre en mí.*

*A mis tíos, tías, primas y demás familia, que de una u otra forma siempre han estado a mi lado apoyándome.*

*A Charris por su increíble apoyo en esta etapa, gracias por tanto.*

*A Brayan, Leyner, Lucho, Pedri, Paco y Camila porque sé que cuento y contaré siempre con ustedes.*

*Karol Dayanne Quintero Castellanos*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander por abrirme sus puertas, porque mi paso por ella ha sido una de las mejores etapas de mi vida y por permitirme realizar un intercambio académico, una experiencia inigualable y enriquecedora.

A los docentes de la escuela de Ingeniería Metalúrgica porque con cada uno de ellos aprendí cosas importantes que me permitieron llegar hoy a este punto.

A los profesores Andrés Gonzales y Cristian Viáfara, por su acompañamiento y ayuda durante la realización de este proyecto.

Al profesor Rubén Niño por su disposición en todo momento y los conocimientos compartidos y al ingeniero Jesús Rangel por su cordialidad y recibimiento en la empresa.

A cada uno de los técnicos y laboratoristas de la escuela, que siempre tienen una actitud alegre y acogedora y están dispuestos a brindar su ayuda y apoyo cuando más los necesitamos.

A mis compañeros de estudio, por tantas risas y diversiones, haciendo de la vida en la universidad una etapa más llevadera a pesar de todo.

## CONTENIDO

	<b>pág</b>
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. ANTECEDENTES	16
2.1. PROCESO DE MOLDEO	16
2.1.1. Moldeo en arena	17
2.1.2. Moldeo por medio de placas modelo	18
2.2. DEFECTOLOGÍA EN PIEZAS FUNDIDAS	19
2.2.1. Rechupes	20
2.2.2. Porosidades	20
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	21
3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS	22
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE COLADA Y MAZAROTAS	22
3.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICION MEDIANTE SOLIDCAST®	23
3.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PLACA MODELO	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS	26
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	27
4.3. SIMULACIONES	28
4.3.1. Sin mazarotas.	28
4.3.2. Con tres mazarotas.	29
4.3.3. Con cuatro mazarotas.	30

4.4. PLANOS DE LA PLACA MODELO	31
4.5. ELABORACIÓN DE LA PLACA MODELO	31
5. CONCLUSIONES	33
6. RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos del sistema de colada.....	18
Figura 2. Partes de una placa modelo de dos caras. ....	19
Figura 3. Mazarota efectiva y defecto originado.....	20
Figura 4. Diagrama de flujo para la metodología experimental seguida en la presente investigación.....	21
Figura 5. Características del material de fundición.....	23
Figura 6. Características del molde. ....	24
Figura 7. Esquema caja de moldeo. ....	25
Figura 8. Zonas críticas de la pieza. ....	26
Figura 9. Sistema de alimentación diseñado.....	27
Figura 10. Representación de la pieza con su sistema de alimentación. ....	28
Figura 11. Resultados simulación para la pieza sin mazarotas .....	29
Figura 12. Resultados simulación para la pieza con tres mazarotas .....	30
Figura 13. Resultados simulación para la pieza con cuatro mazarotas .....	31
Figura 14. Placa modelo superior .....	32
Figura 15. Placa modelo superior e inferior. ....	32

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

**ANEXO A.** Planos bastidor DX-4 19AL entregados por la empresa PENAGOS HERMANOS & CIA S.A.S.

**ANEXO B.** Modelo del bastidor DX-4 19AL recreado en Solidworks®

**ANEXO C.** Plano placa modelo superior

**ANEXO D.** Plano placa modelo inferior

**ANEXO E.** Simulación de llenado y solidificación de la pieza sin mazarotas

**ANEXO F.** Simulación de llenado y solidificación de la pieza con tres mazarotas

**ANEXO G.** Simulación de llenado y solidificación de la pieza con cuatro mazarotas

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO DE PLACA MODELO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA PIEZA UTILIZADA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL\*

**AUTOR:** QUINTERO CASTELLANOS, KAROL DAYANNE\*\*

**PALABRAS CLAVE:** PLACA MODELO, MAZAROTAS, MOLDEO EN ARENA

### DESCRIPCIÓN:

En el presente proyecto de investigación se pretende realizar el diseño de una placa modelo utilizada en la elaboración de una pieza usada en el sector agroindustrial y fabricada por medio de los procesos de moldeo en arena y fundición. El diseño será soportado por medio de simulaciones realizadas en el software SolidCast® donde se evidencia la colada del metal fundido dentro del molde, el llenado del mismo y la solidificación del metal dando forma a la pieza. Se trabajó en compañía de las empresas PENAGOS HERMANOS & CIA S.A.S. y RANI S.A.S. esto últimos son los encargados de la elaboración de la pieza en aluminio y quieren disminuir los defectos presentes en las piezas fundidas y agilizar la producción en serie de este modelo. Una vez realizadas las simulaciones y escogido el sistema más beneficioso para la empresa se realizaron los planos correspondientes para la elaboración de una placa modelo de dos caras en el software Solidworks® y fueron entregados a la empresa RANI S.A.S. que es la encargada de elaborar la placa modelo. Tanto la placa, como el modelo y las mazarotas que hacen parte de la placa modelo son realizados en aluminio, y los canales de alimentación en madera.

---

\*Proyecto de grado: Proyecto de investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: PhD. Andrés Giovanni González Hernández. Director: PhD Cristian Camilo Viáfara Arango

## ABSTRACT

**TITLE:** DISEÑO DE PLACA MODELO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA PIEZA UTILIZADA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL\*

**AUTHOR:** QUINTERO CASTELLANOS, KAROL DAYANNE\*\*

**KEYWORDS:** PATTERN PLATE, RISERS, SAND CASTING

### **DESCRIPTION:**

In the present research project, the design of a pattern plate used in the elaboration of a piece used in the agro-industrial sector and manufactured by means of sand and casting molding processes is intended. The design will be supported by means of simulations carried out in the SolidCast® software, where the casting of the molten metal inside the mold is evidenced, the filling thereof and the solidification of the metal giving shape to the piece. We worked in the company of PENAGOS HERMANOS & CIA S.A.S. and RANI S.A.S. The latter are responsible for the development of the piece in Aluminum and want reduce the defects present in castings and streamline the serial production of this model. Once the simulations were carried out and the most beneficial system was chosen for the company, the corresponding plans were drawn up for the creation of a two-sided pattern plate in the Solidworks® software and were delivered to the company RANI S.A.S. which is in charge of making the pattern plate. Both the plate and the risers and the model that are part of the model plate are made of aluminum, and the wood feeding channels.

---

\* Degree project: research project

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: PhD. Andrés Giovanni González Hernández. Director: PhD Cristian Camilo Viáfara Arango

## INTRODUCCIÓN

El moldeo y la fundición de piezas metálicas son procesos usados por el ser humano desde el principio de los tiempos. Actualmente el moldeo y la fundición se han convertido en procesos básicos indispensables en el desarrollo de la industria metalúrgica [1]. Estos procesos se encuentran ligados a la fabricación de piezas, maquinarias y herramientas requeridas tanto en la industria como en diferentes sectores de la economía. En el sector industrial, principalmente en la agroindustria, se trabaja con maquinaria como trapiches, trituradoras, molinos, entre otros. Estos se componen de bastidores, cabezotes y diferentes piezas que son elaboradas por medio del proceso de fundición en materiales como aluminio y bronce, como los más importantes.

En la elaboración de dichas piezas es posible encontrar defectos generados ya sea en las etapas de fusión, colada o solidificación. Los defectos generalmente tienen origen cuando alguna etapa del proceso no es debidamente controlada [10] y representan una pérdida de material, tiempo y dinero considerable. Los posibles defectos pueden ser evitados tanto con un sistema de alimentación y técnicas de enfriamiento adecuadas, como con la realización de un moldeo pulcro y apropiado de la pieza. Uno de los tipos de moldeo que garantiza las técnicas mencionadas anteriormente es el moldeo por medio de placas modelo.

El diseño de placas modelo para piezas fundidas representa un aumento en la producción, disminución de defectos y la obtención de mayor exactitud dimensional en las piezas [3]. Lo anterior se debe a la alta reproducibilidad del molde y durabilidad del modelo.

La empresa PENAGOS HERMANOS & COMPAÑÍA S.A.S. es una empresa colombiana con 125 años de experiencia en la fabricación de equipos para el procesamiento del café, caracterizada por proveer soluciones integrales para el sector industrial especialmente para la agroindustria [8]. Una de las piezas que

manejan en su maquinaria es el bastidor DX-4 19AL, que es moldeado en arena y fabricado en aluminio por la empresa RANI S.A.S. Sin embargo, esta última empresa quiere implementar el diseño de una placa modelo para el moldeo de la pieza, de tal forma que se disminuyan los defectos presentados al moldearla de forma manual, y reducir el tiempo de moldeo, por ende, el tiempo empleado para la fabricación del bastidor.

Por este motivo, en este proyecto se desea realizar el diseño de una placa modelo para el bastidor DX-4 19AL con el fin de facilitar su elaboración en el proceso de moldeo. El diseño de los componentes de la placa modelo (canales de alimentación, mazarotas, entre otros) será soportado por medio de la simulación de la colada y solidificación de la pieza en el software SolidCast®.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una placa modelo empleada en el moldeo por arena de un bastidor utilizado en el sector agroindustrial.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar los sistemas de colada y mazarotas requeridos para el diseño de la placa modelo.
2. Modelar en 3D el bastidor y su placa modelo correspondiente por medio del software CAD Solidworks.
3. Evaluar el comportamiento de la placa modelo diseñada por medio de simulación computacional.

## **2. ANTECEDENTES**

Los procesos de moldeo y fundición son ampliamente utilizados en la industria ya que permiten la obtención de piezas de diferentes tamaños y geometrías complejas, y su fabricación de forma rápida y repetitiva [5]. El principio del proceso de fundición de metales consiste básicamente en llevar al metal a una temperatura por encima de su temperatura de fusión, verterlo en un molde diseñado por medio del proceso de moldeo, y dejarlo enfriar. Para obtener una buena fundición final es indispensable contar con un molde apropiado que cumpla con los parámetros necesarios para la adecuada solidificación de la pieza. En el proceso de moldeo se definen, en su mayoría, las características con las que contará la pieza que se quiere obtener. Por esto es necesario realizar una breve revisión bibliográfica de los temas más importantes relacionados con el proceso de moldeo y las placas modelo. Como referencia principal se utilizó el libro texto de fundición del profesor Arlando Alonso Baquero [1].

### **2.1. PROCESO DE MOLDEO**

El proceso de moldeo hace referencia al procedimiento utilizado para elaborar el molde donde es vertida la fundición. La primera parte del proceso consta del diseño y preparación del molde. Esta etapa es de suma importancia ya que el molde es quien define las dimensiones y la geometría final de la pieza que se quiere obtener. El diseño del molde se debe realizar ligeramente sobredimensionado, pues al solidificarse el metal sufre cierto grado de contracción, este grado es determinado por el tipo de metal que va a ser fundido.

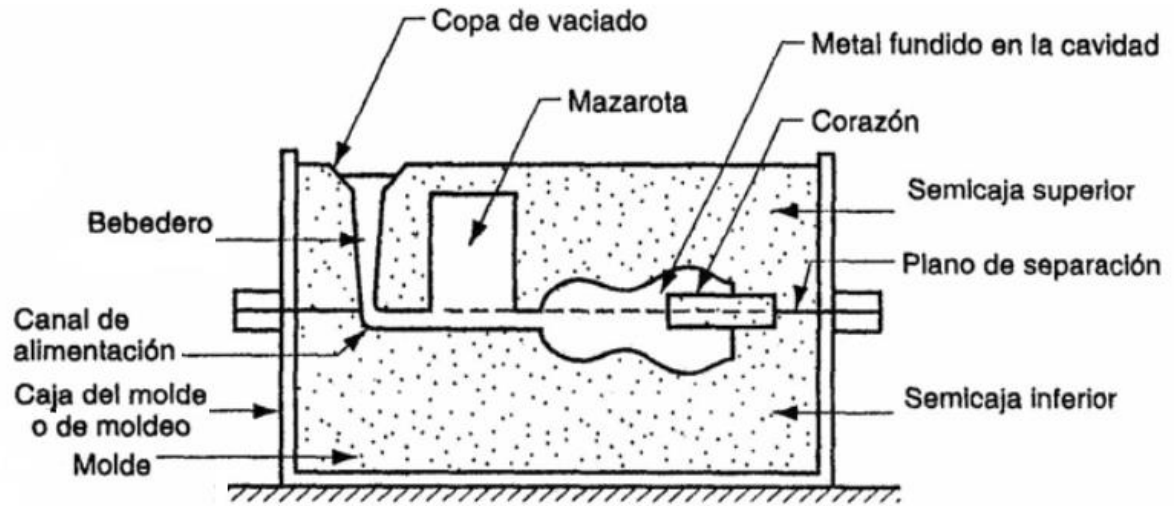
El tipo de molde y la forma en que se realice la colada determinan el tipo de moldeo y fundición utilizados.

**2.1.1. Moldeo en arena.** Se conoce como moldeo en arena a todos los procesos de moldeo donde la arena es usada como agregado para elaborar el molde y originar una fundición de alta calidad [4]. El proceso de moldeo en arena comienza con el diseño del modelo de la pieza que se quiere obtener y los sistemas de alimentación adecuados para el mismo. El modelo puede definirse como una réplica de la pieza con un sobredimensionamiento determinado debido a la contracción presente en las etapas de enfriamiento y solidificación del metal ya fundido [2]. Este modelo es colocado en la arena y apisonado de tal forma que se cree una cavidad negativa, donde posteriormente será vertido el metal fundido por medio del bebedero y los canales de alimentación. Una vez solidificado el metal se procede a destruir el molde de arena y a extraer la pieza obtenida que, por lo general, es sometida a procesos de acabado y de control e inspección necesarios después de retirar los canales de alimentación y mazarotas.

En la figura 1 se representa un sistema de colada tradicional para el moldeo en arena y sus elementos correspondientes. Entre ellos se encuentra la copa de vaciado y bebedero, por donde se introduce el metal fundido al molde pasando por los canales de alimentación, y las mazarotas, diseñadas de tal forma que compensen la contracción de la aleación del estado líquido al sólido. El objetivo principal de las mazarotas es asegurar el llenado completo del molde y permitir la evacuación de gases de su interior [6] de esta manera, los defectos se ubican sobre ellas y no sobre la pieza que se quiere obtener.

Ya que el modelo es el encargado de generar la cavidad en la arena para verter el metal fundido, su geometría y dimensiones deben ser diseñadas contemplando los valores de contracción del metal y los excesos que deben presentar si la pieza va a ser sometida a maquinados posteriores.

Figura 1. Elementos del sistema de colada. Fuente: tomado y adaptado de [7].

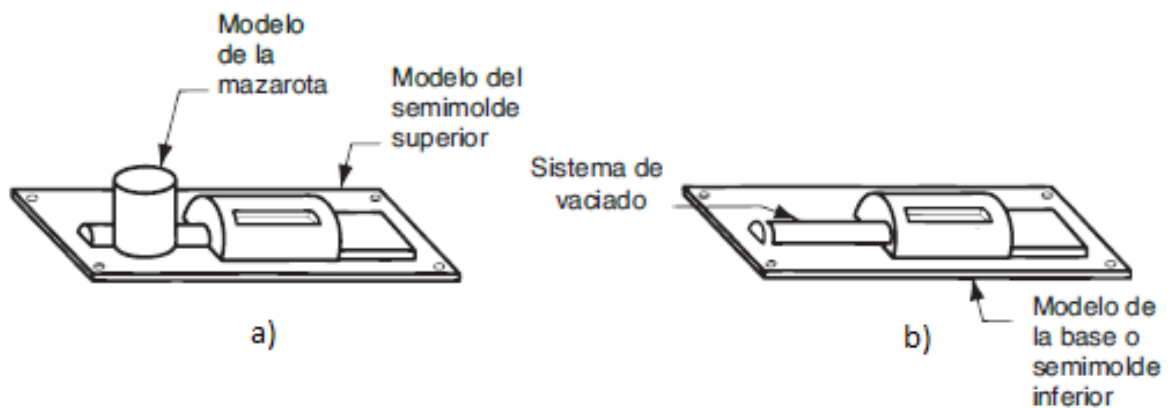


**2.1.2. Moldeo por medio de placas modelo.** La placa modelo consiste básicamente en una placa en donde se encuentran incluidos tanto el modelo, como el sistema de colada, de alimentación y las mazarotas y/o enfriadores, en caso de que la pieza necesite uno de ellos. En un proceso de moldeo sin placa modelo cada uno de estos elementos es realizado manualmente, es decir, el moldeador debe realizar los canales de alimentación con las herramientas que disponga en la planta y trabajar con una pieza a la vez, por lo que lo más probable es que no todos los canales queden con la misma dimensión y requiera más tiempo para el moldeo de cada pieza. Por ende, al implementar la placa modelo se garantiza que todos los moldes necesarios para la producción en serie de una pieza cuenten con canales de alimentación de igual dimensión y ubicación, lo que disminuye considerablemente la probabilidad de un error debido a un moldeo inadecuado de la pieza.

En la figura 2 se esquematizan las partes de una placa modelos de dos caras, constituida por la placa superior (a), donde se ubican generalmente los canales de alimentación y mazarotas, y la placa inferior (b), donde se ubica el sistema de vaciado, cuya función es reducir la turbulencia del metal líquido al pasar del

bebedero al canal de alimentación, y la segunda parte de la pieza que depende exclusivamente de la ubicación de la línea de partición.

Figura 2. Partes de una placa modelo de dos caras. Fuente: tomado y adaptado de [7]



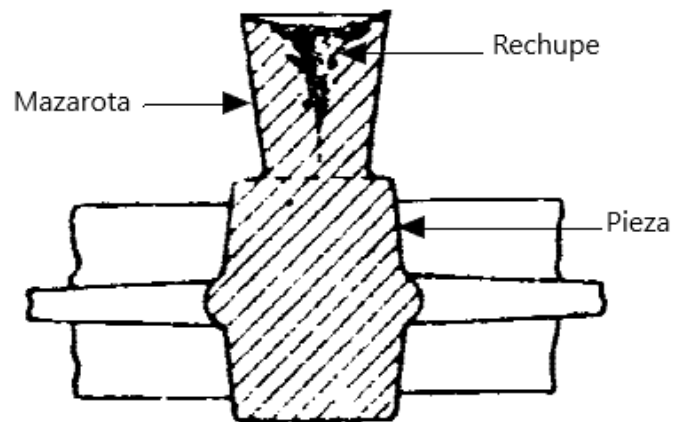
Las placas modelo son utilizadas cuando se requiere una mayor exactitud dimensional en las piezas y cuando el volumen de producción es abundante, ya que representan una disminución del tiempo utilizado para elaborar el molde y facilita de forma considerable el proceso de moldeo de la pieza.

## 2.2. DEFECTOLOGÍA EN PIEZAS FUNDIDAS

Los defectos que aparecen en las piezas realizadas por el proceso de fundición suceden, generalmente, porque alguna parte del proceso no ha sido apropiadamente controlada. Desde la fusión del metal hasta la solidificación del mismo existen una gran cantidad de variables que deben ser estudiadas para poder obtener una pieza libre de defectos. Entre las más importantes se encuentran el diseño del sistema de alimentación y los mecanismos de enfriamiento dirigido ya que de esta forma se puede evitar y/o desplazar los defectos de la pieza hacia, por ejemplo, las mazarotas con las que el sistema cuente y de esta forma obtener una pieza libre de defectos.

**2.2.1.Rechupes.** Los rechupes son cavidades que se producen debido a la disminución de volumen o contracción del metal durante la solidificación. Estos defectos se presentan en las zonas de mayor espesor o puntos calientes de las piezas ya que son las zonas que solidifican en último lugar [11]. Las causas principales de formación de rechupe son el diseño inapropiado del molde de la pieza, los métodos de colada inadecuados y/o el diseño incorrecto de las mazarotas. El uso de mazarotas es indispensable para evitar la formación de rechupes sobre la pieza. En la figura 3 se puede observar como el rechupe se desplaza y es originado en la mazarota, dejando a la pieza libre de este defecto.

Figura 3. Mazarota efectiva y defecto originado. Fuente: [11]

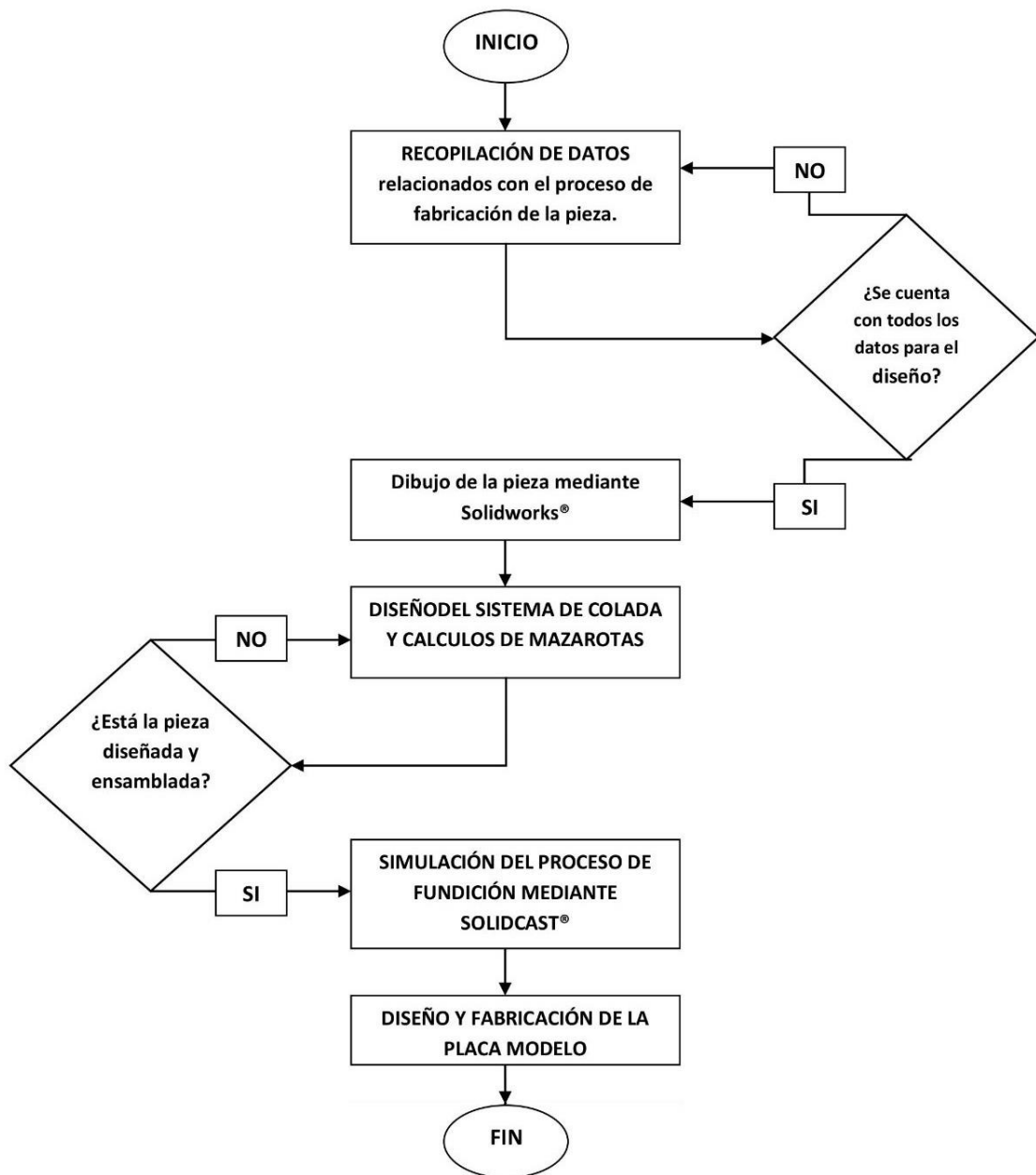


**2.2.2.Porosidades.** Las porosidades consisten en pequeños agujeros esféricos, generalmente provocados por gases disueltos en el metal que escapan al momento de solidificarse, o gases presentes en el molde, que al entrar en contacto con el metal y debido a la escasa permeabilidad del molde, tratan de encontrar paso a través del metal líquido y quedan aprisionados cuando este solidifica. Para evitar la presencia de porosidades es indispensable crear en el molde respiraderos, por donde los gases puedan escapar, emplear arena bien preparada, permeable, seca y de buena calidad. También se debe realizar la colada de forma apropiada, así como contar con el diseño adecuado del sistema de alimentación [11].

### 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la figura 4 se muestra un diagrama de flujo que corresponde a la metodología utilizada en el desarrollo de la presente investigación y más adelante se explica con detalle cada etapa del proceso.

Figura 4. Diagrama de flujo para la metodología experimental seguida en la presente investigación.



### **3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS**

Para realizar el diseño de la placa modelo se tuvieron en cuenta las dimensiones originales de la pieza mediante los planos del bastidor DX-4 19AL (Anexo A) entregados por la empresa PENAGOS HERMANOS & CIA S.A.S. y una toma de medidas realizada directamente al modelo utilizado en la empresa RANI S.A.S. ya que al analizar las dimensiones en los planos suministrados se encontró que eran insuficientes para recrear la pieza en el software Solidworks®. Se realizaron visitas a la empresa RANI S.A.S. para revisar el proceso de moldeo utilizado y la calidad de las piezas fundidas. En la revisión se encontró que las piezas se estaban produciendo con defectos como porosidades, ubicadas en donde se encontraban los canales de alimentación, y rechupes en las zonas de mayor espesor de la pieza.

### **3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE COLADA Y MAZAROTAS**

Una vez recreada la pieza en Solidworks® (Anexo B) se realizó un estudio de los puntos críticos de la pieza por medio del programa E-Foundry® [9] (Figura 8). Posteriormente, se realizaron los cálculos respectivos para el diseño de mazarotas y el sistema de alimentación (bebedero, canal de colada, canales de alimentación) por medio de libros especializados en diseño y producción de sistemas de coladas y fundición. Las consultas fueron realizadas durante el desarrollo del presente trabajo usando la base de datos de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el libro texto de fundición del profesor Arlando Alonso Baquero [1] con el fin de obtener un sistema de distribución y mazarotas óptimas en el proceso para evitar los defectos en la pieza final. Una vez realizados los cálculos respectivos se procede a plasmar el diseño del sistema de colada y mazarotas por medio del software CAD Solidworks®.

### 3.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICION MEDIANTE SOLIDCAST®

Una vez diseñados el sistema de alimentación se procedió a importar el diseño en formato STL al Software SolidCast® y aquí agregar las mazarotas con las dimensiones ya calculadas y realizar la simulación del vertimiento del metal, llenado del molde y solidificación. De esta forma es posible observar la eficiencia del sistema de distribución diseñado en el numeral anterior y la solidificación del proceso para anticipar enfriamientos rápidos y defectos en zonas críticas de la pieza, y si dichos defectos pueden ser evitados con las mazarotas diseñadas.

Para trabajar en el software SolidCast® en primer lugar, se definieron las características del material que va a ser fundido, como se especifica en la figura 5, y del molde que se va a utilizar, como se muestra en la figura 6. Luego se procedió a insertar la pieza con su respectivo sistema de alimentación y las mazarotas con las dimensiones ya especificadas.

Figura 5. Características del material de fundición. Fuente: Software SolidCast®

The screenshot shows the 'Casting Material' tab in the SolidCast software. The material selected is 'Al 4104'. The following properties are displayed:

Property	Value	Unit
Conductividad térmica	121,245	W/m-K
Specific Heat	836,8	J/kg-k
Densidad	2795,141	kg/m <sup>3</sup>
Initial Temperature	800	°C
Solidification Temperature	570	°C
Freezing Range	80	°C
Calor latente de fusión	388174,8	J/kg

Figura 6. Características del molde. Fuente: Software SolidCast®

The screenshot displays the 'Mold Materials' tab in the SolidCast software. On the left, there is a list of materials with 'Silica Sand' selected. Above the list are 'Nuev' and 'Elimina' buttons. To the right, the properties for the selected material are shown in a form:

Material Name	Material Type
Silica Sand	Molde normal
InitialTemp	26,667 °C
Thrm Cond	0,59 W/m-K
Spc Ht	1075,288 J/kg-k
Densidad	1521,71 kg/m <sup>3</sup>

Se realizaron tres simulaciones de la colada y solidificación de la pieza, la primera sin mazarotas, y la segunda y tercera con tres y cuatro mazarotas respectivamente, para poder escoger el sistema más conveniente y que garantice la correcta solidificación de la pieza. Ejecutadas las simulaciones se procedió a realizar una edición de los videos obtenidos, ya que cada simulación resulta con una duración de aproximadamente 40 minutos, obteniendo de esta forma videos de 30 y 40 segundos, donde se puede apreciar mejor los procesos de colada y solidificación de la pieza.

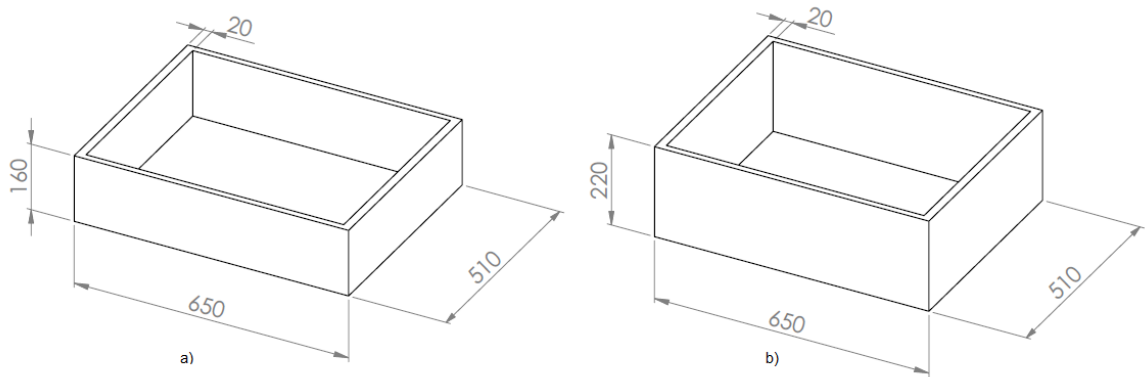
### 3.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PLACA MODELO

Realizadas las simulaciones se procedió a plasmar en el software CAD Solidworks® el sistema de alimentación y mazarotas escogido y aprobado por la empresa para, de este modo, obtener los planos de la placa modelo (Anexos C y D) que posteriormente fueron entregados a la empresa RANI S.A.S. para realizar la fabricación de la misma.

El tamaño de la placa se delimitó desde un principio por las cajas de moldeo con las que contaba la empresa, por lo que sus dimensiones no podían exceder los 650x510x160 mm para la placa inferior y 650x510x220 mm para la placa superior. En la figura 7 se ilustra un esquema de la caja de moldeo con sus medidas correspondientes.

La placa modelo fue fabricada mediante fundición de aluminio dadas especificaciones de la empresa.

Figura 7. Esquema caja de moldeo.

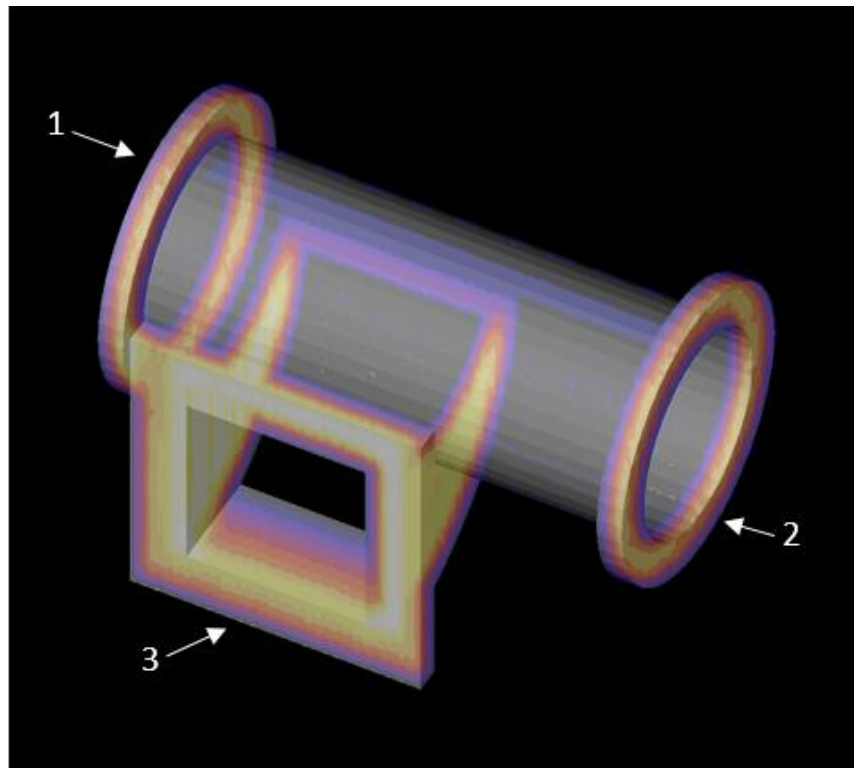


## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS

Por medio del programa E-Foundry® se realizó el estudio de los Hot Spots o puntos calientes de la pieza, que pueden ser considerados puntos críticos en el proceso de solidificación ya que en ellos es donde hay mayor probabilidad de encontrar defectos como poros o rechupes. A partir de los resultados obtenidos se determinan tres zonas críticas, que son las que se encuentran numeradas y en color amarillo, como se puede observar en la figura 8. Estas zonas críticas en la fundición se aíslan térmicamente y van a solidificar en último lugar por lo tanto, se puede identificar inmediatamente donde deben ser situadas las mazarotas, para asegurar el llenado completo y evitar la producción de defectos sobre la pieza.

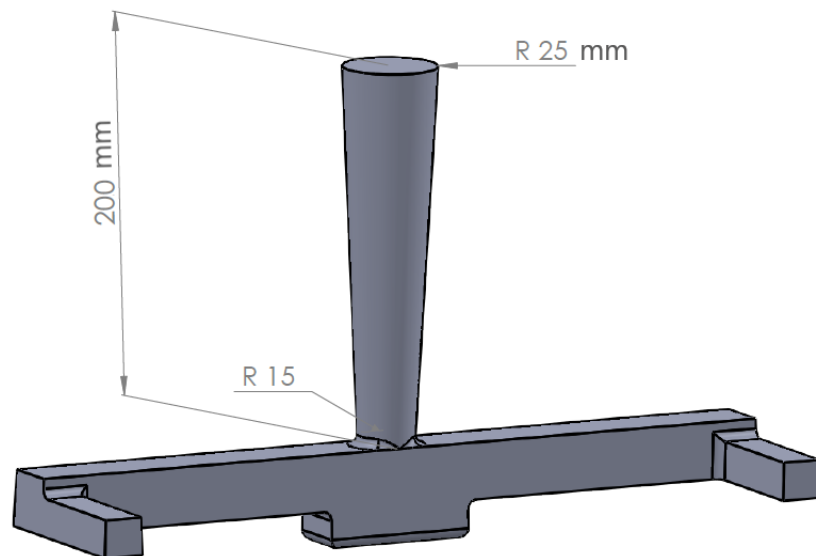
Figura 8. Zonas críticas de la pieza. Fuente: Autor, [9]



## 4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

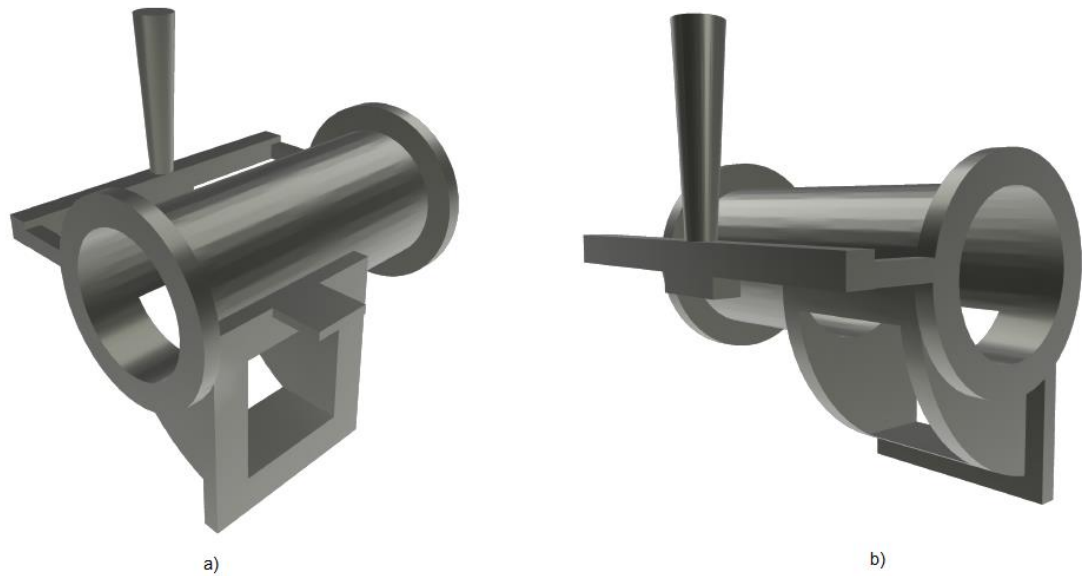
Realizados los cálculos correspondientes para las dimensiones del bebedero, canales de alimentación y ataques se obtuvo el diseño presentado en la figura 9, donde se esquematiza el sistema de alimentación adecuado para la pieza y las dimensiones óptimas del bebedero que fueron recomendadas a la empresa. Es importante resaltar que los bordes de los canales de alimentación y del pozo de colada se encuentran debidamente redondeados y con sus respectivos ángulos de salida para facilitar el proceso de desmoldeo.

Figura 9. Sistema de alimentación diseñado.



Se procede a ensamblar el sistema de alimentación diseñado con el modelo de la pieza, como se representa en la figura 10, donde se pueden observar la vista frontal (a) y la posterior (b). El sistema representado en esta figura es el que se va a utilizar en las simulaciones realizadas.

Figura 10. Representación de la pieza con su sistema de alimentación.



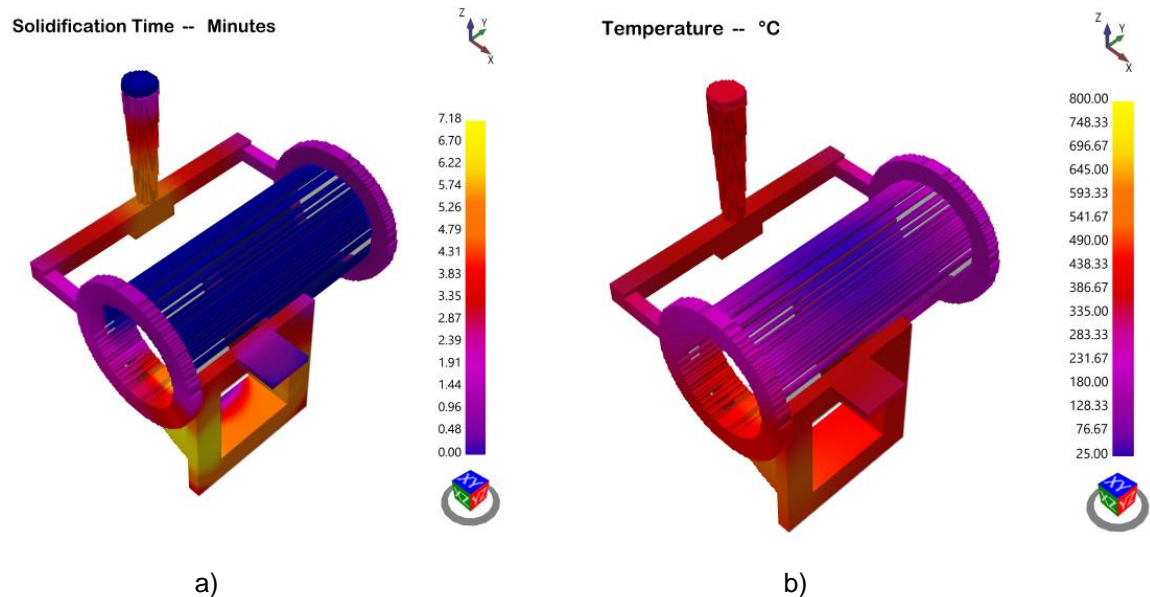
### 4.3. SIMULACIONES

Se realizaron las simulaciones en el software SolidCast® y se obtuvieron los resultados en imágenes donde se representa el tiempo de solidificación y la temperatura del metal fundido dentro del molde, con el fin de poder estimar zonas críticas y evaluar el comportamiento de las mazarotas diseñadas.

**4.3.1. Sin mazarotas.** Se realizó la simulación de la colada y solidificación de la pieza sin el uso de mazarotas (Anexo E) obteniendo los resultados mostrados en la figura 11, en donde se evidencia el comportamiento del metal fundido al momento de solidificar (a). Analizando esta parte se puede observar cuales son las zonas de la pieza que enfriaran en último lugar, por lo tanto, la necesidad de las mazarotas ya que estas zonas van a ser las más propensas a la formación de defectos. De la misma manera, en la parte (b) de la imagen se observa cuáles son las zonas de mayor

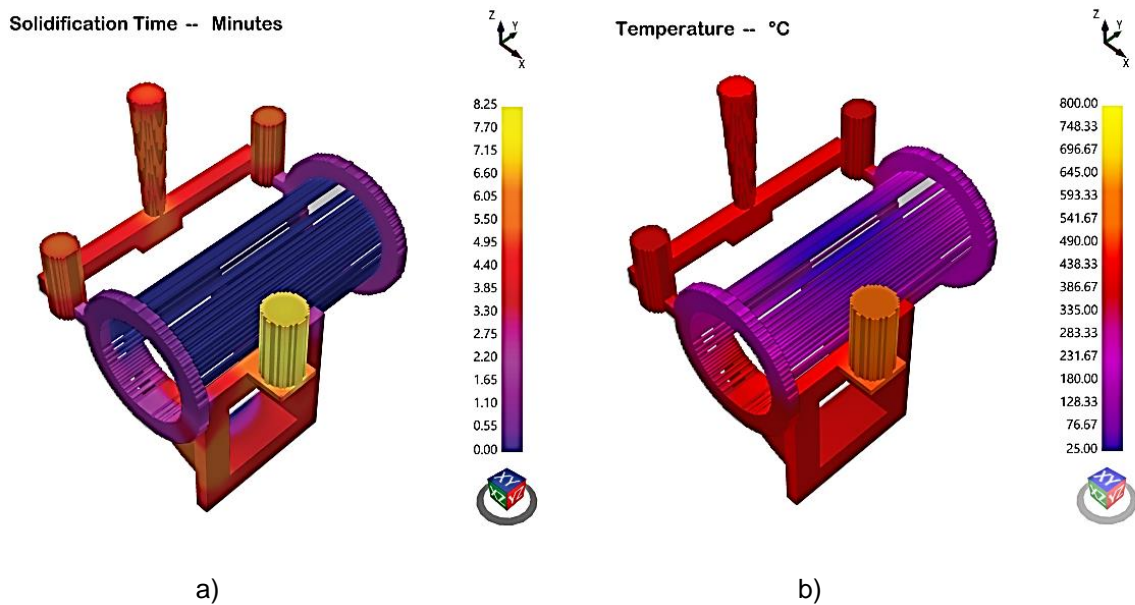
temperatura, coincidiendo con el estudio de Hot Spots realizado anteriormente.

Figura 11. Resultados simulación para la pieza sin mazarotas



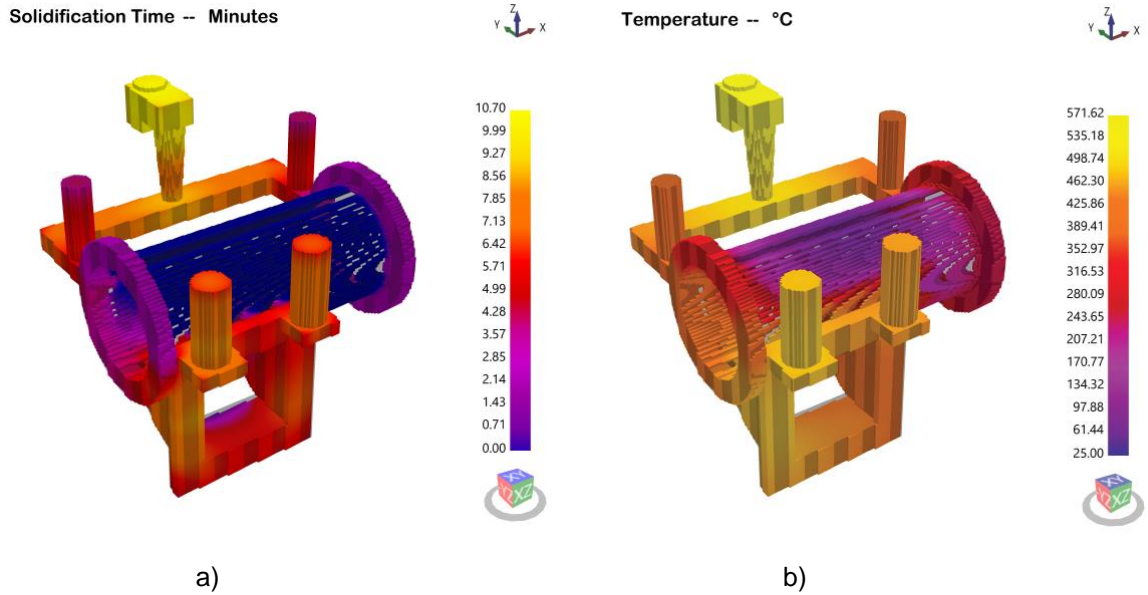
**4.3.2. Con tres mazarotas.** Los resultados presentados en la figura 12 se obtienen luego de realizar la simulación haciendo uso de tres mazarotas (Anexo F) en el sistema de enfriamiento de la pieza para evitar y/o disminuir la criticidad de las zonas identificadas al simular sin el uso de las mazarotas (Figura 11). En la parte de “Solidification time” (a) se puede observar cómo, con la presencia de las mazarotas, disminuye el tiempo de solidificación de la zona 3 de la pieza siendo la mazarota la que solidifica al final, lo que quiere decir que sí está cumpliendo con su función. De igual forma, en la parte de “Temperature” (b) se observa que las mazarotas se encuentran a mayor temperatura, lo que garantiza el llenado completo del molde.

Figura 12. Resultados simulación para la pieza con tres mazarotas



**4.3.3. Con cuatro mazarotas.** En la figura 13 se muestran los resultados obtenidos luego de realizar la simulación haciendo uso de cuatro mazarotas (Anexo G). Dada la complejidad de la geometría de la pieza y la criticidad de la zona 3 se consideró el uso de dos mazarotas para esta zona, con el fin de obtener un enfriamiento más uniforme en esta parte de la pieza. En la parte de "Solidification time" (a) se observa que las mazarotas solidifican en un tiempo muy cercano al tiempo de solidificación de la zona 3. Con la parte de "Temperature" (b) se puede confirmar que las mazarotas están cumpliendo con su función ya que se encuentran a una temperatura por encima de la temperatura que presentan las partes de la pieza.

Figura 13. Resultados simulación para la pieza con cuatro mazarotas



Terminadas las simulaciones y evaluados los resultados se presentaron a la empresa RANI S.A.S. para escoger, con su aprobación el sistema de alimentación más óptimo para la elaboración de la placa modelo y así proceder a elaborar los planos.

#### 4.4. PLANOS DE LA PLACA MODELO

Una vez escogido el diseño por la empresa RANI S.A.S. se trazaron los planos en el software Solidworks® para elaborar la placa modelo de dos caras. Se realizó un plano individual para cada cara de la placa, que corresponden a la placa superior (Anexo C) y a la placa inferior (Anexo D) y se entregaron para la elaboración de la misma.

#### 4.5. ELABORACIÓN DE LA PLACA MODELO

Entregados los planos a la empresa RANI S.A.S., se procedió a elaborar la placa modelo. Inicialmente se elaboró la placa y mazarotas con las dimensiones asignadas en los planos, y la empresa que contaba con el modelo de la pieza. Tanto

la placa como las mazarotas y el modelo se elaboraron en aluminio, y los canales de alimentación fueron elaborados en madera. En las figuras 14, 15 y 16 se puede observar el resultado de la placa modelo ya elaborada y lista para utilizarla en la fabricación del bastidor.

Figura 14. Placa modelo superior



Figura 15. Placa modelo superior e inferior.



## 5. CONCLUSIONES

Realizado el análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones y presentados y evaluados con la empresa RANI S.A.S. se concluye lo siguiente:

- Se identifican tres zonas críticas en el estudio de puntos calientes de la pieza, por lo que se consideran, mínimo tres mazarotas para el control de cada zona, al realizar la simulación de la pieza sin mazarotas se confirma la necesidad de ellas para garantizar la correcta solidificación, de lo contrario, lo más probable es que se presenten defectos en esta zona, como rechupes y/o porosidades principalmente.
- El sistema que cuenta con cuatro mazarotas es el que brinda mayor certeza de una correcta solidificación de la pieza, sin embargo, se decide realizar la placa modelo con tres mazarotas a conveniencia de la empresa, ya que se considera que una mazarota de más, representa un gasto considerable de material. Además, la zona tres de la pieza no se encontrará sometida a grandes esfuerzos ni a maquinado posterior por lo que se considera que el sistema con tres mazarotas brinda también una correcta solidificación de la pieza.
- Las mazarotas, el modelo y la placa fueron elaborados en aluminio y los canales de alimentación en madera por la empresa RANI S.A.S. de acuerdo a las medidas estipuladas en los planos entregados posteriormente.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, revisar las dimensiones y geometría de la pieza, ya que cuenta con zonas planas y angulares que pueden convertirse en concentradores de esfuerzos. También considerar el espesor del cilindro pues es muy pequeño, comparado con las demás partes de la pieza, generando un cambio brusco de sección lo que ocasiona que solidifique mucho más rápido que el resto de la pieza y se puedan generar fracturas en esa zona.
- Se recomienda el uso de una taza o copa de vaciado en la zona de alimentación del bebedero con una unión de  $45^\circ$ , para evitar la introducción de aire en la corriente del líquido, por ende, evitar el burbujeo y disminuir la turbulencia con la que llega el metal líquido al canal ya que puede producir defectos como porosidades en la pieza.
- Se recomienda realizar el moldeo y fundición del bastidor utilizando la placa modelo e inspeccionar la pieza resultante y de esta forma evaluar el correcto funcionamiento de la placa modelo diseñada.

## BIBLIOGRAFÍA

ALONSO BAQUERO, Arnaldo. Las propiedades de fundición. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga; 1998.

AVENDAÑO GARRIDO Héctor Miguel; DE LA LUZ HERNÁNDEZ Martín; LEÓN DOMINGUEZ Erika Saraí; RAMOS FLORES Ricardo. Diseño y fabricación de modelos para fundición. Instituto politécnico nacional México. 2008, p.21.

AVENDAÑO GARRIDO, Héctor; DE LA LUZ HERNÁNDEZ, Martín; LEÓN DOMÍNGUEZ, Erika; RAMOS FLORES, Ricardo. Diseño y fabricación de modelos para fundición. Ciudad de México: Unidad profesional Azcapotzalco. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.

GARAVITO, Julio. Fundición: PROTOCOLO Procesos de manufactura. 2ed. Escuela colombiana de ingeniería: Facultad de ingeniería industrial. Laboratorio de producción. 2008, p.5-7.

GEARA, Ketty. Defectos de fundición. V-MEC-2T. Instituto Universitario tecnológico del estado bolívar, 2014.

GONZÁLEZ AQUINO Leonel Miguel, *et al.* Elaboración e implementación de manuales de diseño y construcción de modelos y moldes de arena para fundición de aleaciones de aluminio. Universidad de el Salvador. 2015, p48.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3ed. Editado por Pablo E. Roig Vazquez. México D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

PENAGOS HERMANOS © 2017 [En línea]. (Recuperado en enero 2019) Disponible en: <http://www.penagos.com/quienes-somos/>

RAVI B Prof. E-Foundry Lab, IIT Bombay. [En línea] (Recuperado en diciembre 2018) Disponible en: <http://efoundry.iitb.ac.in/Academy/index.jsp?left=leftHome>

SERRANO LLEDÓ, Raquel. Conformado por moldeo. Málaga, España. Universidad de Málaga; 2015. Tema 9, p.1.

WOOD William G. Casting ASM Handbook Vol15. 9<sup>th</sup> Edition, 1988.