

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO METÁLICO Y DE MOLDE  
EN LA FUNDICIÓN DE HIERRO NODULAR Y MOLDEO CON  
RESINAS FURÁNICAS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**JUAN FERNANDO LÓPEZ SÁNCHEZ (Componente A)**

**juan.lopez06@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR GALVES**

**oscar.sotomayor@epn.edu.ec**

**DMQ, Marzo 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, JUAN FERNANDO LÓPEZ SÁNCHEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**JUAN FERNANDO LOPEZ SANCHEZ**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por NOMBRE\_ESTUDIANTE, bajo mi supervisión.

OSCAR  
EFRAIN  
SOTOMAY  
OR GALVEZ

Firmado digitalmente por OSCAR  
EFRAIN SOTOMAYOR GALVEZ  
Nombre de reconocimiento (DN):  
cn=OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR  
GALVEZ,  
serialNumber=190421184236,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION  
DE INFORMACION, o=SECURITY  
DATA S.A. 2, c=EC  
Fecha: 2022.03.02 15:39:00 -05'00'

---

**OSCAR SOTOMAYOR  
DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Juan Fernando López

Oscar Sotomayor

## DEDICATORIA

Dedicado a mis padres María y Juan, por siempre haberme hecho la vida más fácil y permitirme enfocarme 100% en mis estudios.

A mi padre por todas las veces que me ayudo, me llevo a la universidad y colaboro siempre que requería cualquier material que me hiciera falta, y por brindarme fortaleza y animo en las noches de desvelo, y que desde el cielo estará conforme y feliz que cada uno de los objetivos cumplidos.

A mami por siempre estar presente cada día y darme cariño en todo momento, además por todas las veces me ha ayudado en el día a día en la casa, la comida la ropa y entre muchas cosas más.

A mi hermana por siempre acolitar y ser más que toda una amiga en todos estos años donde pasamos de ser adolescentes a personas ya con responsabilidades mucho más grandes.

*Juan Fernando López Sánchez*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mama, mi papa y mi hermana por siempre estar presente en todos estos años de estudio.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la facultad de ingeniería mecánica por todo lo vivido, lugares conocidos, y el conocimiento adquirido.

A mis amigos que siempre han estado desde todos estos años en la FIM y que siempre serán recordados como una de las mejores etapas de la vida. Viva el equipo Morphing

Al coro de la escuela politécnica nacional por todos los años, viajes, experiencias, conocimiento, amigos y sentimientos que forman parte de mí, y en especial al Profe Ramiro por bríndame la oportunidad de pertenecer a este increíble grupo y por todas las enseñanzas.

*Juan Fernando López Sánchez*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	10
1.1 Objetivo general .....	10
1.2 Objetivos específicos .....	10
1.3 Alcance .....	10
1.4 Marco teórico .....	11
1.4.1 Sistema de alimentación.....	11
1.4.2 Dimensionamiento del sistema de alimentacion .....	12
1.4.3 Relaciones de proporción para los componentes del sistema de alimentacion .....	12
1.4.4 Bebedero.....	12
1.4.5 Area de alimentación .....	13
1.4.6 Distribuidor .....	15
1.4.7 Alimentadores.....	16
1.4.8 Ley de la continuidad.....	17
1.4.9 Rendimiento metálico .....	19
1.4.10 Rendimiento de molde.....	19
2. METODOLOGÍA .....	19
2.1 Dimensionamiento del sistema de alimentación .....	21
2.2 Relación de proporción entre áreas .....	21
2.3. Área de alimentación.....	21
2.4. Medidas distruibuidor .....	22
2.5. Medidas alimentadores .....	22
2.6. Medidas bebedero.....	23
2.7. Datos para el rendimiento metalico .....	24
2.8. Datos para el rendimiento de molde.....	25
2.9. Llenado y solidificación mediante simulación.....	26
2.10. Reformulación del sistema de alimentación.....	27
2.11. Sistema de alimentación para la configuración: Sist-Alim.T.V.B.1.....	29
2.12. Datos para el rendimiento de metálico.....	30
2.13. Sistema de alimentación para la configuración: T.V.A.1.2 .....	31
2.14. Valores para el rendimiento de metálico .....	32
2.15. Valores para el rendimiento de molde. ....	33

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
3.3. Resultados .....	33
3.3.1 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.A.1.....	33
3.3.2 Resultados de la simulación del modelo Sist-Alim.T.V.A.1 .....	34
3.3.3 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.B.1.....	35
3.3.4 Resultados de la simulación .....	36
3.3.5 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.B.1.....	36
3.3.6 Análisis de resultados.....	38
3.4. Conclusiones.....	39
3.5. Recomendaciones.....	39
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

## RESUMEN

El dimensionamiento del sistema de alimentación conlleva varias etapas, empezando con la determinación del área de alimentación de la pieza a fundir, una vez calculado este valor crítico los demás componentes que conforman el sistema de alimentación están en relación de proporción, que puede ser establecida por el diseñador o basarse en la experiencia de otros autores. Una vez realizado el dimensionamiento través de modelamiento CAD se pueden calcular los rendimientos metálico y de molde teóricos. También, resultado de mucho beneficio el emplear un análisis por elementos finitos para observar el comportamiento del fluido durante y la solidificación, determinando si existe inconvenientes o problemas que provoquen, posteriormente defectos de fundición, con lo cual se debe volver a considerar las variables que inciden en estos problemas. Por tanto, se reformulo el sistema de alimentación con el objetivo de obtener modelos óptimos, sin defectos los cuales se puedan observar mediante simulación, proponiendo 3 modelos teniendo en cuenta el modelo con el dimensionamiento preliminar, que fue empleado para determinar posibles defectos. Realizando una evaluación de cada uno se llega a un diseño recomendado considerando los rendimientos de metálico y molde para proporcionar finalmente un molde para su fundición.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de alimentación, área de alimentación, rendimiento metálico, rendimiento de molde



## **ABSTRACT**

The design of gating system involves several stages, beginning with the determination of the choke area of casting, once this critical value has been calculated, the other components that make up the gating system are in a proportional relationship, which can be established by the designer or based on the experience of other authors. Once the dimensioning has been carried out through CAD modeling, the theoretical metallic and mold yields can be calculated. Also, it was very beneficial to use a finite element analysis to observe the behavior of the fluid during the filling of the casting mold and solidification, determining if there are inconveniences or problems that later cause casting defects, with which it should be returned. to consider the variables that affect these problems. Therefore, the gating system was reformulated with the objective of obtaining optimal models, without defects which can be observed through simulation, proposing 3 models considering the model with the preliminary dimensioning, which was used to determine possible defects. Carrying out an evaluation of each one, a recommended design is reached, considering the yields of metallic and mold to finally provide a mold for casting.

**KEYWORDS:** Design gating system, choke area, metallic yields, mold yield

# 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Para el dimensionamiento del sistema de alimentación, se tuvieron en cuenta varias referencias, donde establecían relaciones de proporción entre el área de alimentación, los distribuidores y el bebedero. Siendo el área de alimentación el punto de partida para el dimensionamiento ya que se tiene en cuenta parámetros, como el peso de la pieza a fundir, volumen y entre otros. Por tanto, se realiza el modelamiento CAD del sistema de alimentación preliminar, así como también de su molde, el cual facilita el cálculo de los rendimientos metálico y de molde teórico. Con el modelo CAD se facilitó el proceso de análisis por elementos finitos donde se pudo observar el comportamiento del fluido y poder determinar si existe inconvenientes ya sea en el llenado o la solidificación, para posteriormente establecer las variables a modificar con el objetivo de presentar un modelo óptimo, por tanto se procedió a realizar dos modelos con diferente relación de áreas. Con lo cual se tiene 3 modelos, con diferentes características en su sistema de alimentación. Ejecutado simulaciones de llenado y solidificación para cada uno y verificar su comportamiento para seleccionar el modelo final a realizar el molde, cumpliendo con la metodología planteada que es que no se tenga mínimos defectos o sean controlables durante la fundición como es el uso de respiraderos en el caso de que exista aire atrapado

## 1.1 Objetivo general

Mejorar el rendimiento metálico y de molde en la fundición de hierro nodular y molde con resinas furánicas

## 1.2 Objetivos específicos

1. Determinar y calcular forma y tamaños de bebedero, alimentadores distribuidores
2. Simular numéricamente la solidificación del elemento y molde propuesto
3. Actualizar iterativamente nuevos diseños hasta arribar heurísticamente a un modelo superior

## 1.3 Alcance

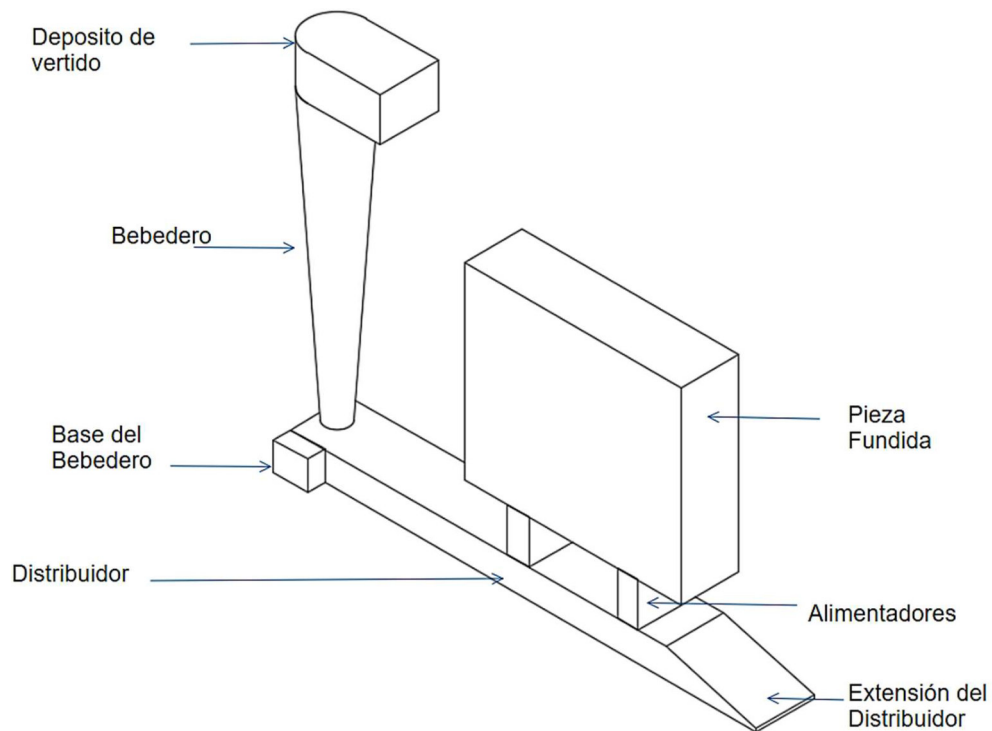
Proponer un nuevo diseño de sistema de alimentación y sistema de moldeo para la tapa D600C producido por la empresa Fundireciclar desde un enfoque numérico-analítico.

## 1.4 Marco teórico

El proceso de fundición de piezas metálicas en el campo de la industria ha sido de gran beneficio y las técnicas empleadas han ido mejorando a través de los años. El desarrollo de la tecnología en el uso de las computadoras ha permitido que estos procesos realicen todo tipo de pruebas para pronosticar los fenómenos físicos involucrados, y de esta manera reducir los costos de producción.

### 1.4.1 Sistema de alimentación

Resulta esencial para un proceso de fundición el correcto dimensionamiento del sistema de alimentación, ya que de esa manera se evitará que exista defectos de fundición que provoquen que la pieza fundida no apruebe los estándares de calidad. Entre los problemas que puede presentar la pieza es una solidificación no uniforme por presentar turbulencia en el metal fundido, lo cual conlleva a que la velocidad del fluido en los canales del molde sea dispersa. El evitar la acumulación de escoria en la pieza final, así como también el aire atrapado pueden ser solucionado con el correcto dimensionamiento. A continuación, se presentan los componentes de un sistema de alimentación.



**Figura 1.1.** Ilustración de las partes del sistema de alimentación.

### 1.4.2 Dimensionamiento del sistema de alimentacion

De acuerdo con la bibliografía revisada se establecen relaciones de proporción en las dimensiones de todos los componentes del sistema de alimentación, que para cumplir los objetivos se requiere que sean de la menor longitud posible pero que estén acordes a los requerimientos y para ello se toma en cuenta varios criterios de la dinámica de fluidos.

### 1.4.3 Relaciones de proporción para los componentes del sistema de alimentacion

Las áreas transversales tanto del bebedero como de los distribuidores están relacionadas con el area de alimentacion, ya sea esta por el tipo de material o la experiencia con lo que los diferentes autores han trabajado, a continuación, se presenta una tabla con relaciones de áreas de diferentes autores.

**Tabla 1.1.** Relaciones de area de diversos autores

<b>Autor</b>	<b>Alimentadores</b>	<b>Distribuidor</b>	<b>Bebedero</b>
(Madan & Singh, 2013)	1	1,2	-
(Jadhav, Hujare, & Hujare, 2020)	1	2	-
(Niyas, Akshay, Rahman, Pranav, & Jibi, 2020)	1	4	4
(Nandagopal, Sivakumar, Senthilkumar, & Sengottuvelan, 2017)	1	2	1
(Seo, Jin, & Kang, 2018)	0.6	0.9	1
(Rao, 2018)	1	1,1	1,15
	1	1,13	1,12
(Sorelmetal)	1	3	-

### 1.4.4 Bebedero

Las dimensiones del bebedero tienen recomendaciones para tu altura si se toma en cuenta una sección circular, los cuales los expone Rao en su capítulo 4th (Rao, 2018), teniendo en consideración que para este caso de estudio donde el desmoldeo es un parámetro importante en el proceso, se presenta un bebedero cónico como el de la figura 1.2.



**Figura 1.2.** Longitudes del bebedero

#### 1.4.5 Área de alimentación

El área de alimentación es el primer parámetro para considerar en el dimensionamiento del sistema de alimentación ya que, de acuerdo con el tipo de pieza, y entre otras consideraciones como un factor de fricción, el posicionamiento de la pieza a fundir en el molde, así como también su volumen y velocidad que esta indirectamente involucrada al considerar altura y gravedad. Y para este caso, de acuerdo con lo que establece (Sorelmetal) se tiene la siguiente relación para una pieza colocada en la parte inferior del molde:

$$A_a = \frac{V_p}{t_v * f_r * \sqrt{2G * h_b}}$$

Donde:

$A_a$ : Área de alimentación

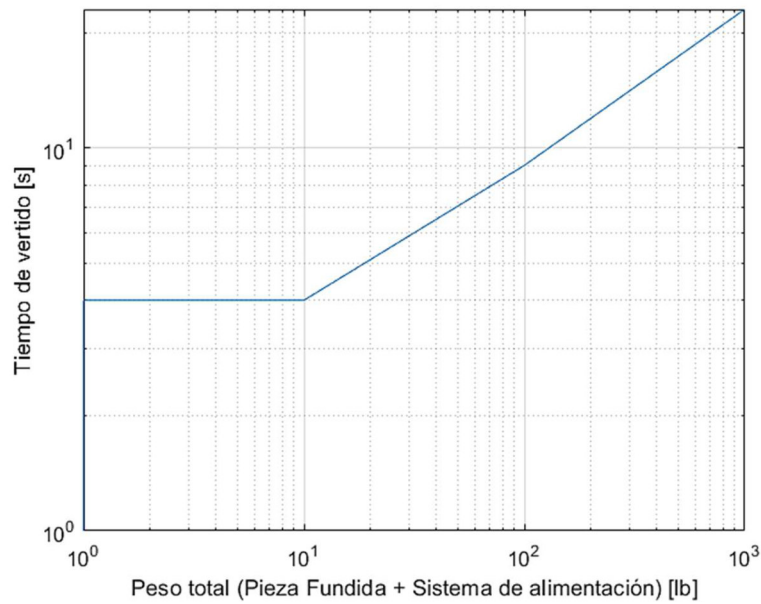
$V_p$ : Volumen de la pieza a fundir

$t_v$ : tiempo de vertido

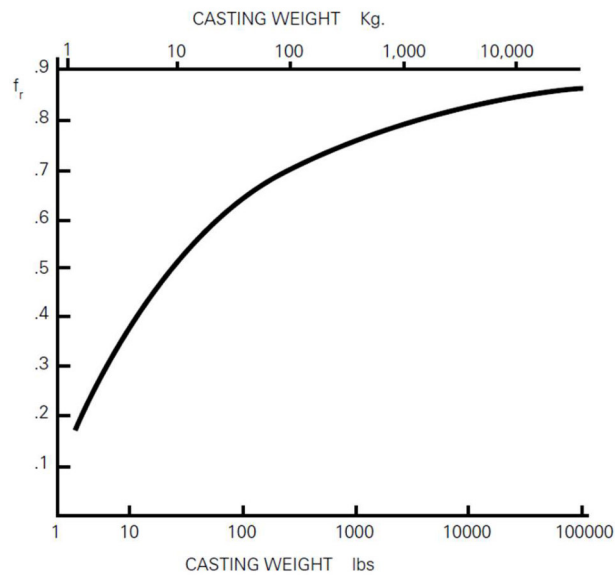
$f_r$ : factor de fricción

$h_b$ : altura del bebedero

Para determinar tanto el tiempo de vertido como el factor de fricción, se emplean curvas que están en función del valor del peso de la pieza a fundir en libras. También otros autores emplean otras relaciones donde se considera un factor de fluides que es función de cada material y el espesor de la pieza fundida (Seo, Jin, & Kang, 2018), (Nandagopal, Sivakumar, Senthilkumar, & Sengottuvelan, 2017), pero para este caso como no se tiene un espesor que sea homogéneo, de preferencia se emplea las curvas donde únicamente se considera el peso. A continuación, se presenta las curvas para relacionar el tiempo de vertido y el factor de fricción.



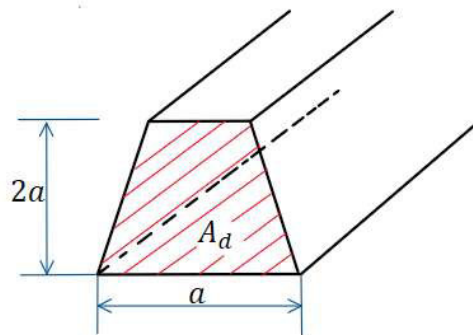
**Figura 1.3.** Tiempo de vertido en función del peso de la pieza fundida (Sorelmetal)



**Figura 1.4.** Factor de fricción en función del peso de la pieza fundida (Sorelmetal)

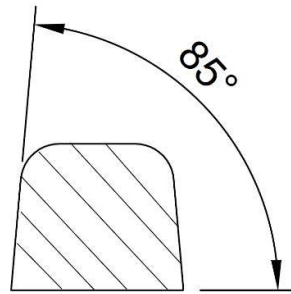
#### 1.4.6 Distribuidor

El distribuidor cumple la función de abastecer de caudal fundido hacia la pieza a través del molde, cabe recalcar que la sección transversal óptima para el dimensionamiento del distribuidor resulta ser circular, pero por diferentes inconvenientes que podría presentar como es el desmoldeo se toman otras recomendaciones (Madan & Singh, Computer aided design of gating system for a die-casting die, 2013) . Como se las presenta a continuación



**Figura 1.5.** Proporciones de la sección transversal del distribuidor (Sorelmetal)

De igual manera resulta conveniente realizar empalmes en las aristas, suavizando la forma trapezoidal de la sección transversal, además de establecer un ángulo de  $85^\circ$  ya que de esta manera se está evitando que exista flujo turbulento y que se tenga mayor facilidad en el desmoldeo (Seo, Jin, & Kang, 2018).



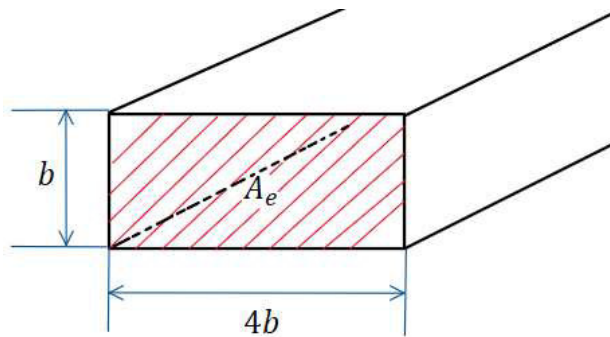
**Figura 1.6.** Sección transversal recomendada para el distribuidor.

Una aproximación del area del distribuidor considerando la figura 1.5 y 1.6 con una sección transversal trapezoidal.

$$A_d = \left[ a - \frac{2a}{\tan 85^\circ} \right] * 2a$$

### 1.4.7 Alimentadores

El area transversal de los alimentadores debe ser preferiblemente menor que la parte con menos espesor de la pieza evitando así que exista aire atrapado en la fundición (Rao, 2018), de igual manera si la pieza a fundir es de alta complejidad y son grandes en tamaño es preferible tener varios alimentadores y como recomendación el area transversal del alimentador tiene las siguientes longitudes:



**Figura 1.7.** Dimensiones del alimentador (Sorelmetal)

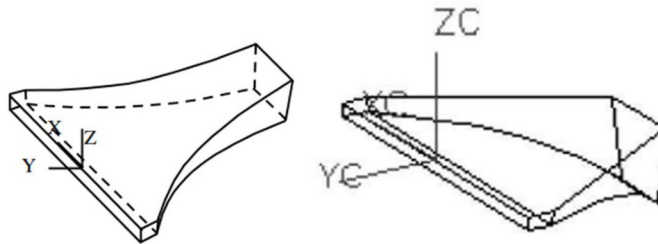
Con lo que los valores de b quedan de la siguiente manera:

$$A_e = b * 4b$$

$$b = \frac{\sqrt{A_e}}{2}$$



Los alimentadores de igual manera pueden establecer geometrías variadas y no convencionales, que pueden ser consideraras en el diseño (Fuh & S.H. Wu, 2007), con el objetivo de mejorar la alimentación de la pieza como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 1.8.** Representaciones geométricas para los alimentadores (Fuh & S.H. Wu, 2007), (Fuh, Wu, & Lee, 2002).

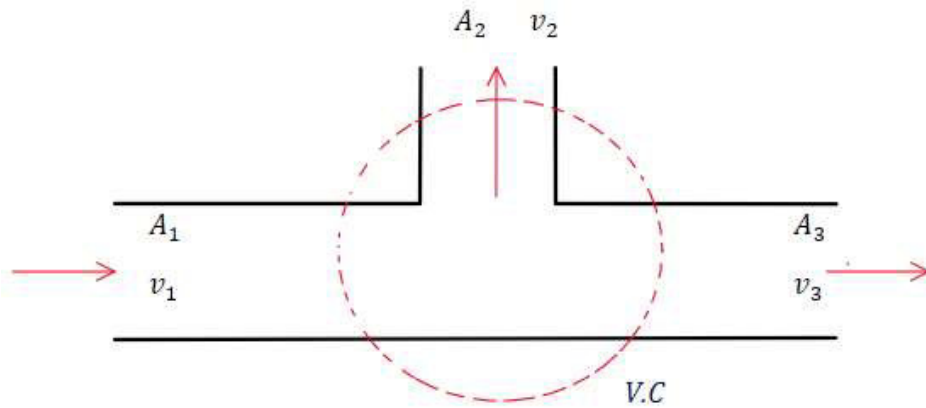
#### 1.4.8 Ley de la continuidad

Resulta de mucho beneficio mantener una velocidad lo más constante que se pueda considerando que en cada cambio brusco de sección o simplemente por la fricción ocasionada entre las paredes este parámetro puede verse modificado de tal forma que exista velocidades muy variadas en el sistema de alimentación. Por lo que resulta conveniente de acuerdo con (AFS Cast Iron Divisio-5G Committe, Gating and Risering, 2011) que se tenga una sección transversal variable en los distribuidores con lo cual se emplea la ley de la continuidad, para lo cual se presenta la siguiente imagen donde se toma en consideración la tanto la velocidad y el valor de área. El tomar en cuenta un área transversal variable a lo largo del distribuidor ayuda que el fluido mantenga una condición lo más estable posible lo cual es de beneficio para la fundición. Teniendo la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + \dot{V}_3$$

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 + A_3 * v_3$$

Siento tanto  $A_1, A_2, A_3$  las áreas de la sección transversal de cada entrada de fluido y  $v_1, v_2, v_3$  sus velocidades.

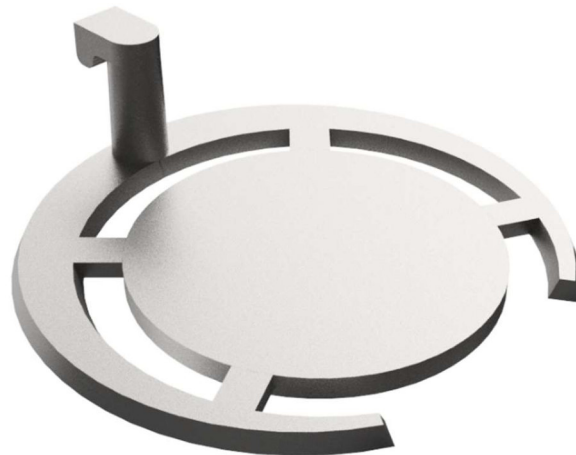


**Figura 1.9.** Relaciones de caudal y áreas

Como se mencionó la velocidad se debe mantener constante por lo tanto  $v_1, v_2, v_3$  tienen un mismo valor por lo que la ecuación de la continuidad queda de la siguiente manera para determinar  $A_3$  que viene siendo el valor con el que se cambia la sección transversal del distribuidor.

$$A_3 = A_1 - A_2$$

Y este proceso se debe tomar en cuenta de acuerdo con el número de alimentadores que se tiene, es decir que el área del distribuidor tiene que variar por cada alimentador. Teniendo en cuenta cada una de las recomendaciones de los componentes se representa un sistema de alimentación de sección variable trapezoidal en el distribuidor con una pieza a fundir circular.



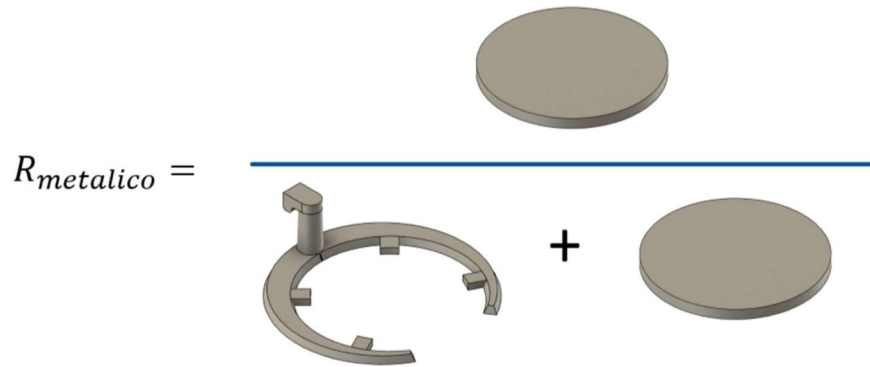
**Figura 1.10.** Ilustración de un sistema de alimentación con las recomendaciones dadas

### 1.4.9 Rendimiento metálico

El factor de rendimiento metálico es un indicador de fundición que expresa la relación entre la pieza fundida con el sistema de alimentación, dando un resultado entre 0 y 1, por lo que si el sistema de alimentación emplea el menor material posible se tendrá un resultado favorable cercano a 1. A continuación, se muestra la expresión del rendimiento metálico.

$$R_{metalico} = \frac{m_{pieza\ fundida}}{m_{Sist\ Alim} + m_{pieza\ fundida}}$$

Una expresión gráfica de la relación del rendimiento metálico se presenta a continuación:



**Figura 1.13.** Ilustración del rendimiento de metálico

Este rendimiento de igual manera se lo puede expresar con el volumen de cada componente como lo expresa (Nandagopal, Sivakumar, Senthilkumar, & Sengottuvelan, 2017) ya que al tratarse de la misma pieza su densidad es constante.

### 1.4.10 Rendimiento de molde

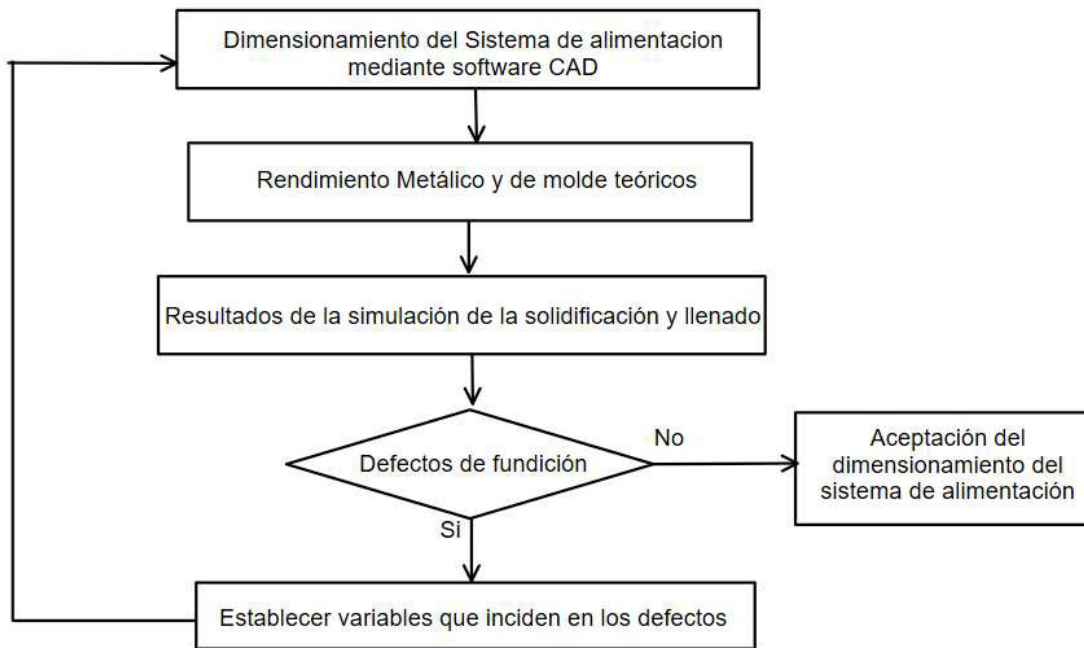
Por otro lado, el rendimiento de molde representa la masa del sistema de alimentación de con relación a la masa de la arena empleada para la fundición como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_{molde} = \frac{m_{Sist\ Alim} + m_{pieza\ fundida}}{m_{arena}}$$

## 2. METODOLOGÍA

Para establecer una metodología que resulte ilustrativo, para determinar un producto eficiente sin defectos y que cumpla las diferentes normativas que el mercado dispone, se

tiene en cuenta parámetros primordiales como son los defectos de fundición y el rendimiento metálico y de molde. Para ello se tiene lo siguiente:



**Figura 2.1** Metodología

A primera instancia resulta de beneficio obtener un modelo CAD preliminar con el cual se puede observar los beneficios e inconvenientes que podría presentar la fundición a través del análisis por elementos finitos, el cual brindará información necesaria para realizar una reformulación del sistema de alimentación teniendo en cuenta las variables que inciden en posibles inconvenientes. De esta manera se podrá presentar un modelo óptimo.

La elección de la geometría del sistema de alimentación será de acuerdo con las características del producto que en este caso es la tapa D600-C de FUNDIRECILAR que emplea hierro nodular ASTM A536 clase 80-55-06, para lo cual se requiere una temperatura de vertido superior a los 1500°C, además de tener una geometría circular. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta la geometría para establecer la forma la trayectoria del distribuidor que para este se toman cuenta 2 distribuidores que rodeen la tapa.



**Figura 2.2.** Tapa D600-C

## 2.1 Dimensionamiento del sistema de alimentación

Para determinar el primer parámetro en el dimensionamiento del sistema de alimentación, se requiere establecer una longitud del bebedero, que a consideración se toma las medidas expuesta en la tabla 4.1 de (Rao, 2018)

**Tabla 2.1** Datos para el bebedeo (Rao, 2018)

Altura bebedero, $h_b$	120 cm
Altura depósito de vertido, $h_{dv}$	50 cm

## 2.2 Relación de proporción entre áreas

Para empezar con el dimensionamiento se toman relaciones que garantice que no se tenga áreas de sección transversal con demasiado pequeña. Por lo cual se toma la siguiente relación.

Alimentacion, Distribuidor, bebedero: 1:1.5:4

## 2.3. Área de alimentación

De acuerdo a lo expuesto en el marco teórico el área de alimentación es el siguiente paso a seguir, para ello se toma en cuenta que los siguientes datos que pertenecen a la tapa D600-C.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen tapa, $V_p$	$cm^2$	4478,037
Factor de fricción, $fr$	$u$	0,585
Tiempo solidificación, $t_v$	$s$	8
Gravedad, $g$	$cm/s^2$	981
Altura bebedero, $h_b$	$cm$	20

Empleando la ecuación se tiene el siguiente valor.

$$A_e = \frac{V_P}{t_v * f_r * \sqrt{2G * h_b}}$$

$$A_e = \frac{4478.037}{8 * 0.585 * \sqrt{2 * 981 * 20}}$$

$$A_e = 4.83 \text{ cm}^2 \approx 5 \text{ cm}^2$$

A continuacion se presenta las diferentes medidas de los componentes que conforman el sistema de alimentaci3n.

## 2.4. Medidas distribuidor

Por tanto el area del distribuidor y sus dimeciones tienen los siguientes valores.

$$A_d = A_e * 1.5$$

$$A_d = 7.5 \text{ cm}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A_d}{2(1 - \frac{2}{\tan 85^\circ})}}$$

$$a = 21.3 \text{ mm}$$

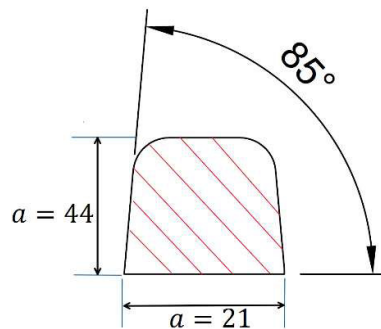


Figura 2.3. Medidas distribuidor

## 2.5. Medidas alimentadores

De igual manera se tiene las dimeciones y el area de la seccion transversal de los alimentadores.

$$b = \frac{\sqrt{A_a}}{2}$$

$$b = \frac{\sqrt{4.83}}{2}$$

$$b = 11.2 \text{ mm}$$

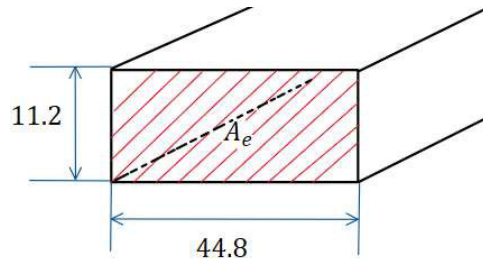


Figura 2.4. Medidas del alimentador

## 2.6. Medidas bebedero

$$A_b = 4 * A_e$$

$$A_b = 20 \text{ cm}^2$$

$$d = \sqrt{4 * \frac{A_b}{\pi}}$$

$$d = 50.5 \text{ mm}$$

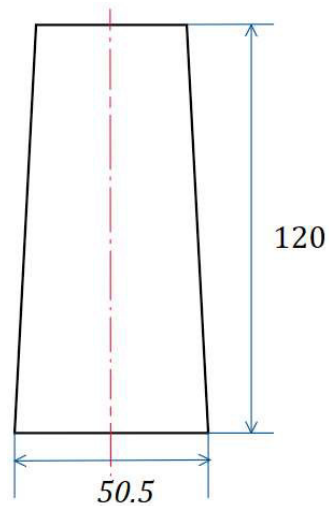


Figura 2.5. Dimensiones bebedero

Como se había establecido con anterioridad, resulta beneficioso que la sección transversal del distribuidor varíe a lo largo de su longitud, teniendo en cuenta la ley de la continuidad, se tiene las siguientes relaciones.

$$A_3 = A_1 - A_2$$

$$A_3 = 8 \text{ cm}^2 - 5 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 2.5 \text{ cm}$$

Una vez determinado el area se tiene las siguientes medidas de la sección transversal de  $A_3$

$$a = \sqrt{\frac{A_3}{2(1 - \frac{2}{\tan 85^\circ})}}$$

$$a = 12.3 \text{ mm}$$

A continuación, se presenta un resumen de las dimensiones y proporciones del sistema de alimentación.

**Tabla 2.2.** Relaciones de area y dimensiones

Elemento	Relación	Área [ $cm^2$ ]		Longitud sección [ $mm$ ]
Alimentación	1	5	b	11,2
Distribuidor	1,5	7,5	a	21,3
bebedero	4	20	d	50,5

A partir del dimensionamiento se procedió a realizar el modelo CAD donde se puede, la forma del sistema de alimentación, y el cambio de sección en los distribuidores hasta llegar a un area pequeña.



**Figura 2.6.** Modelo CAD del sistema de alimentación de la tapa D600-C preliminar

## 2.7. Datos para el rendimiento metalico

Par determinar las variables para el cálculo del rendimiento metálico teórico se toma en cuenta datos que proporciona el modelo CAD, tales como el volumen o masa que pueden



ser empleados para este rendimiento. Que es esta ocasión se consideró volumen tanto de la tapa como del sistema de alimentación.

**Tabla 2.3.** Datos tapa D600C del modelo CAD

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen Tapa	$4,47 \times 10^6$	$mm^3$
Volumen Tapa + Volumen sistema de alimentación	$6,21 \times 10^6$	$mm^3$

## 2.8. Datos para el rendimiento de molde

Se toma un espesor de 30 mm para generar el molde, teniendo en cuenta el trabajo anterior de (Saada & Mansori, 2021), que emplea ese valor para sus experimentos, ya que si, se disminuye ese espesor, se va a tener inconvenientes con la solidificación. El valor de la densidad de la arena se lo toma de (Motoyamaa, Yoshida, & Saitoa, 2013), que especifica que, para una arena furánica se tiene un valor densidad de  $1361 \text{ kg/m}^3$

Para el cálculo del rendimiento de molde se toman en cuenta los valores obtenidos en el modelo CAD, pero esta ocasión se considera el valor volumen del molde, masa del sistema de alimentación y de la tapa D600C, de esta forma con ayuda de la densidad se puede obtener el valor del rendimiento. A continuación, se presenta una tabla con los valores obtenidos mediante software CAD.

**Tabla 2.4.** Datos del molde de la tapa D600C del moldeo CAD

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen Arena	$2,98 \times 10^{-1}$	$m^3$
Masa tapa + Sistema de Alimentación	43,008	$kg$

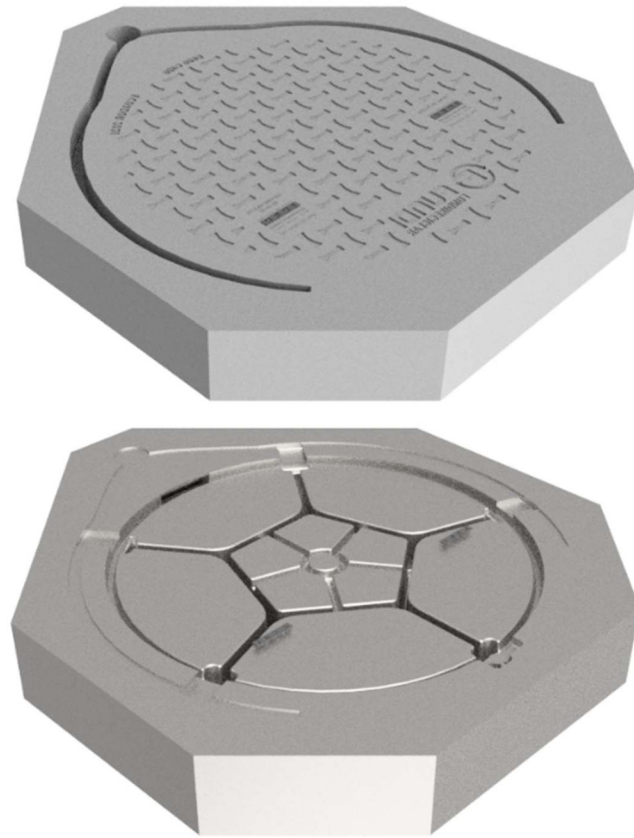


Figura 2.7. Molde de la tapa D600-C preliminar, molde superior e inferior.

## 2.9. Llenado y solidificación mediante simulación.

Para realizar las siguientes pruebas mediante simulación es necesario tener en cuenta parámetros tales como la temperatura, tiempo de solidificación y entre otros, para tratar de obtener resultados que se asemejen a realizar una prueba experimental.

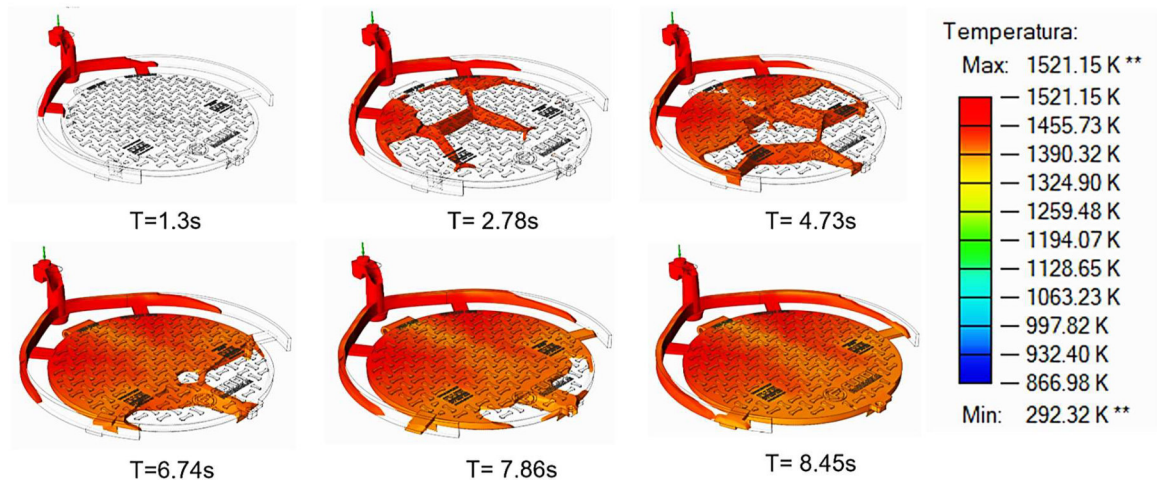


Figura 2.8. Tiempo de solidificación

Una vez observado el comportamiento de este sistema de alimentación preliminar se puede establecer que no todos los alimentadores están realizando su función por lo que puede ocasionar que exista defectos posteriores a la solidificación, siendo el principal problema que presenta este sistema, ya que no se puede observar rechupes en la tapa, ni mucho menos porosidades. Por otra parte, se tiene aire atrapado en los distribuidores lo cual contribuye a que la pieza no presente zonas donde no se complete la fundición por el aire acumulado.

## **2.10. Reformulación del sistema de alimentación**

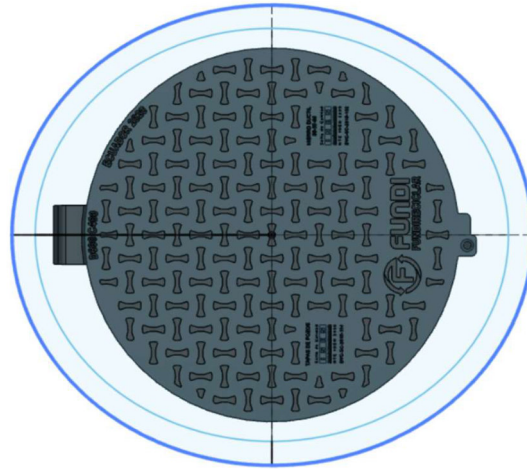
Como se puede observar en las gráficas de llenado el sistema de alimentación preliminar, la distribución del fluido presenta inconvenientes, y esto se debe principalmente a dos causas. La primera, por la trayectoria del distribuidor donde, por dificultades con la bisagra se no logra tener una forma circular uniforme a lo largo de la tapa, teniendo una forma triangular conectando al bebedero, como se muestra en la siguiente figura.

El segundo problema que se puede observar es la proporción de las áreas que se consideró inicialmente, ya que el fluido únicamente emplea el primer alimentador correspondiente a cada distribuidor. Entendido el problema del actual sistema de alimentación se reformulan las áreas establecidas para cada componente de acuerdo con lo que establece Rao [2] para este tipo de material.

$$A_d = 1.15A_a$$

$$A_b = 1.1A_a$$




Además, en esta ocasión se tendrá en cuenta la trayectoria de los distribuidores ya que, la parte de la bisagra dificulta que se siga una trayectoria circular en su totalidad, por esta razón se considera una elipse como se presenta en la siguiente figura. siendo esta la solución al primer inconveniente.



**Figura 2.9.** Bosquejo del sistema de alimentación con trayectoria elíptica.

De igual manera para tener en consideración otro parámetro como lo es la presión, se realizará el un modelo CAD con la tapa en sentido contrario teniendo en cuenta la misma relación de áreas para el dimensionamiento del sistema de alimentación. Para ello se tendrá una denominación para las siguientes dos configuraciones del sistema de alimentación teniendo en cuenta sus características.

**Tabla 2.5.** Denominación de los modelos ejecutados

Denominación	Significado	Modelo CAD
Sist-Alim.T.V.A.1	Sistema de alimentación de sección con distribuidor trapezoidal variable de tipo A, modelo 1	
Sist-Alim.T.V.B.1	Sistema de alimentación de sección con distribuidor trapezoidal variable de tipo B, modelo 1	
Sist-Alim.T.V.A.2	Sistema de alimentación de sección con distribuidor trapezoidal variable de tipo A, modelo 2	

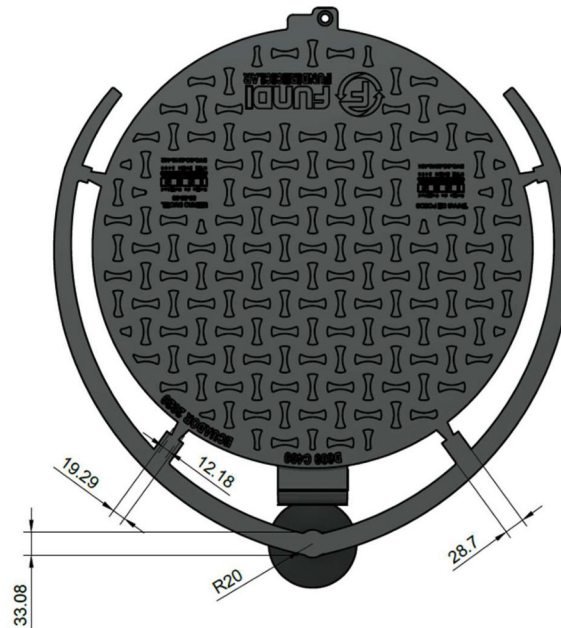
Los sistemas de alimentación de tipo A, o B se refiere a si los nervios de la tapa se encuentran en la parte superior del molde o en la parte inferior. Siendo el Sist-Alim.T.V.A.1, el modelo preliminar empleado para la detección defectos.

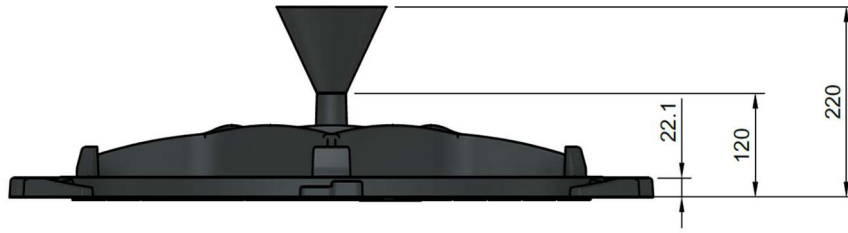
## 2.11. Sistema de alimentación para la configuración: Sist-Alim.T.V.B.1.

Se toma en cuenta la relación de áreas ya establecidas para el dimensionamiento. Para propone una geometría diferente al modelo Sist-Alim.T.V.A.1 en base a [2]. A continuación, se presenta el modelo CAD correspondiente y las dimensiones de los de los componentes



Figura 2.10. Modelo CAD de Sist-Alim.T.V.B.1.





**Figura 2.11.** dimensiones para sistema de alimentación Sist-Alim.T.V.B.1.

## 2.12. Datos para el rendimiento de metálico

De igual manera que para el anterior modelo se presentan a continuación, la siguiente tabla con el resumen de los datos para el rendimiento metálico.

**Tabla 2.6.** Datos rendimiento de metálico

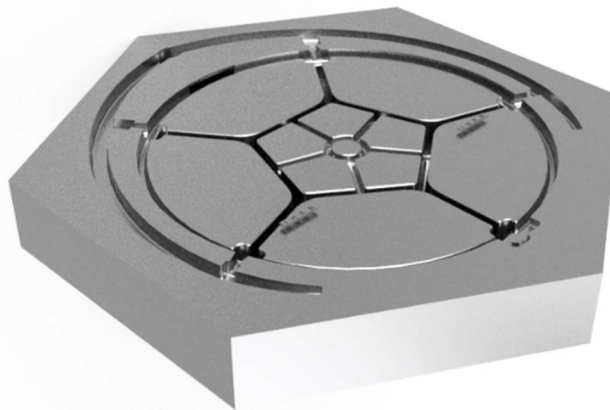
Parámetro	Valor	Unidad
Volumen Tapa	$4,47 \times 10^6$	$mm^3$
Volumen Tapa + sistema de alimentación	$6,115 \times 10^6$	$mm^3$

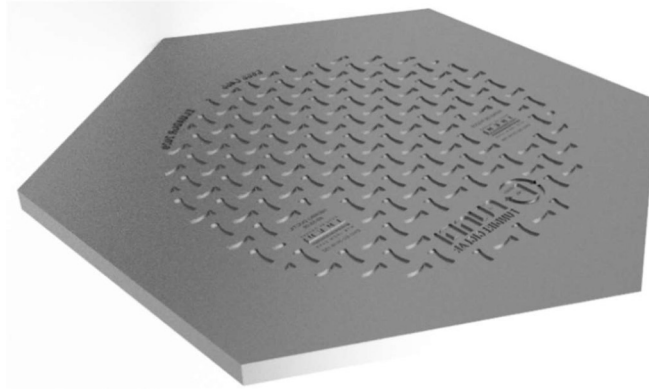
## Datos para el rendimiento de molde

A continuación, se presenta la tabla los valores obtenidos a través del modelo CAD

**Tabla 2.7.** Datos rendimiento de molde

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen Arena	0,189	$m^3$
Masa tapa + Sistema de Alimentación	43,723	$kg$





**Figura 2.12.** Modelo CAD del molde para el sistema de alimentación Sist-Alim.T.A.B.1

### **2.13. Sistema de alimentación para la configuración: T.V.A.1.2**

Aplicando estas recomendaciones se pretende solucionar los inconvenientes planteados anteriormente. A continuación, se presenta el modelo CAD del nuevo sistema de alimentación, así como también las medidas de sus componentes.

Para el cálculo del rendimiento de molde se toman en cuenta los valores obtenidos en el modelo CAD, pero esta ocasión se considera el valor volumen del molde, masa del sistema de alimentación y de la tapa D600C, de esta forma con ayuda de la densidad se puede obtener el valor del rendimiento. A continuación, se presenta una tabla con los valores obtenidos mediante software CAD.



**Figura 2.13.** Sistema de alimentación Sist-Alim.T.V.A.2

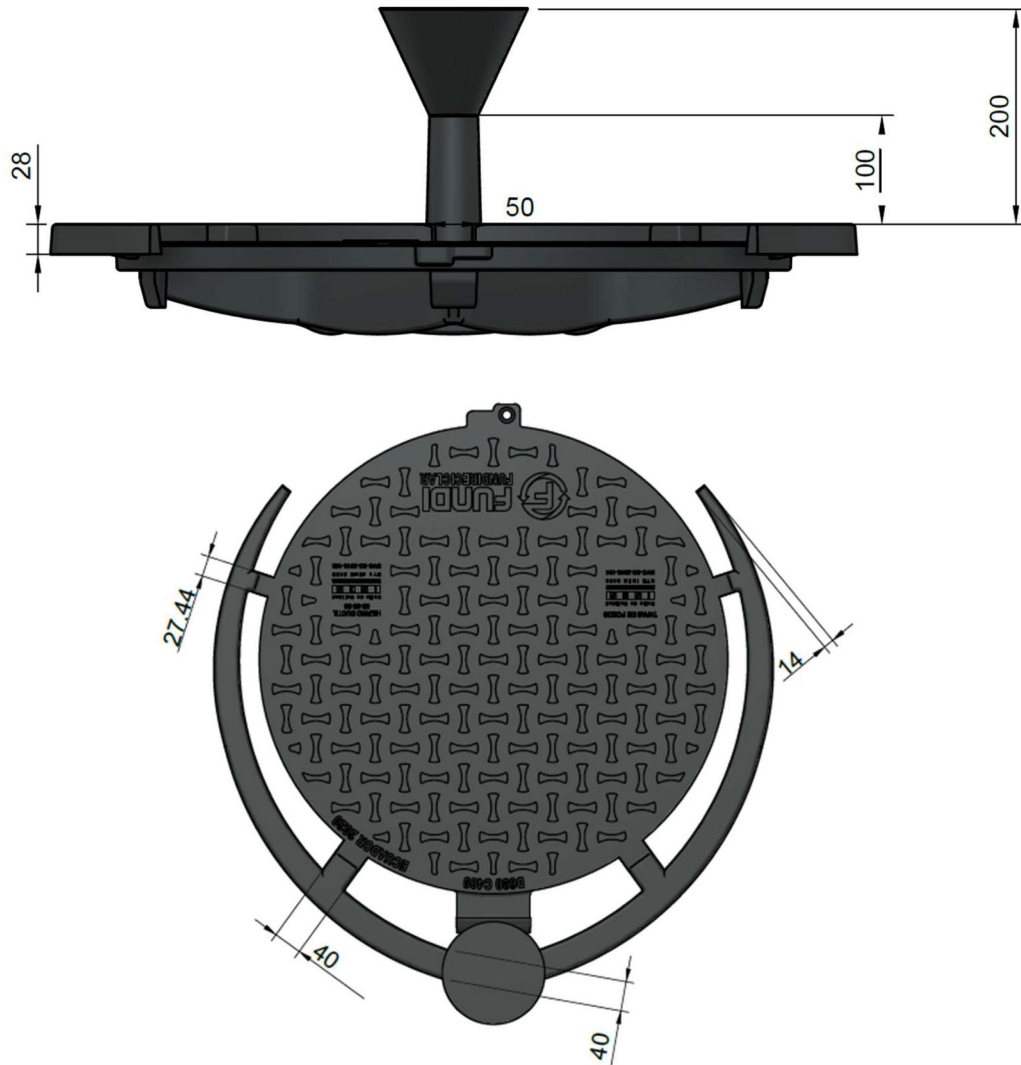


Figura 2.14. Medidas del sistema de alimentación

## 2.14. Valores para el rendimiento de metálico

De igual manera que para el anterior modelo se presentan a continuación, la siguiente tabla con el resumen de los datos para el rendimiento metálico.

Tabla. 2.8. Datos para el rendimiento Metálico

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen Tapa	$4,47 \times 10^6$	$mm^3$
Volumen Tapa + sistema de alimentación	$6,34 \times 10^6$	$mm^3$



## 2.15. Valores para el rendimiento de molde.

Como en los puntos anteriores se toma en cuenta los valores obtenidos con el modelo CAD.

**Tabla. 2.9.** Datos para el rendimiento de molde

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen Arena	0,2885	$m^3$
Masa tapa + Sistema de Alimentación	50.503	$kg$



**Figura 2.15.** Modelo CAD del molde del sistema de alimentación Sist-Alim.T.V.A.2

## 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.3. Resultados

Se presentan los resultados de cada modelo ejecutado

#### 3.3.1 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.A.1

Se presenta el ejemplo de cálculo del rendimiento de metálico del sistema de alimentación Sist-Alim.T.V.A.1, empleando los datos obtenidos preliminarmente.

$$R_{metalico} = \frac{V_{pieza\ fundida}}{V_{Sist\ Alim} + V_{pieza\ fundida}}$$

$$R_{metalico} = \frac{4.47 \times 10^6}{6.21 \times 10^6} \times 100\%$$

$$R_{metalico} = 71.98\%$$

De igual manera se calcula el rendimiento de molde para este sistema de alimentación, para ello se debe determinar el valor de la masa de arena del molde.

$$m_{molde} = 1361 \frac{kg}{m^3} * 2.98 \times 10^{-1} m^3$$

$$m_{molde} = 405.578\ kg$$

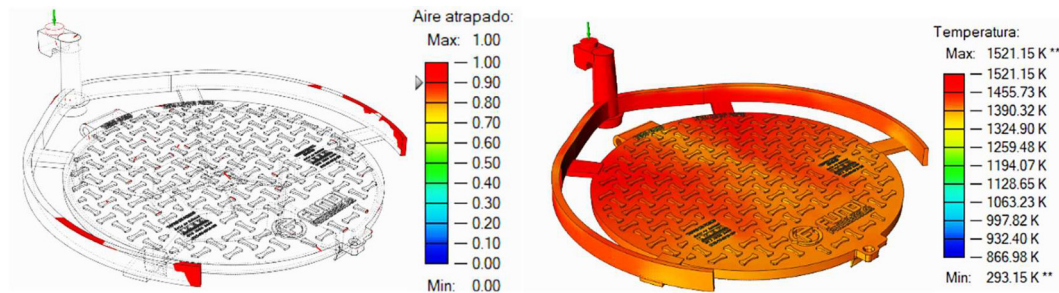
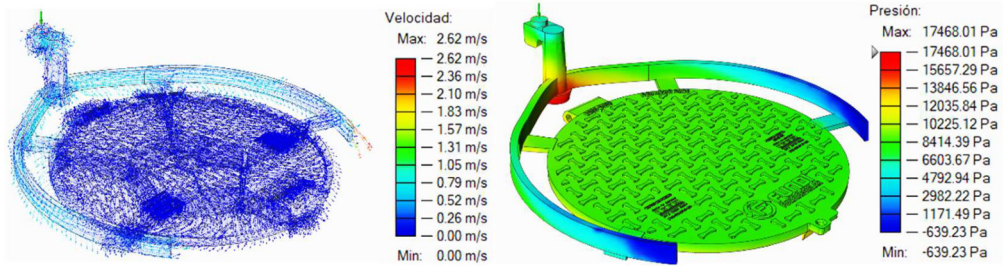
Entonces.

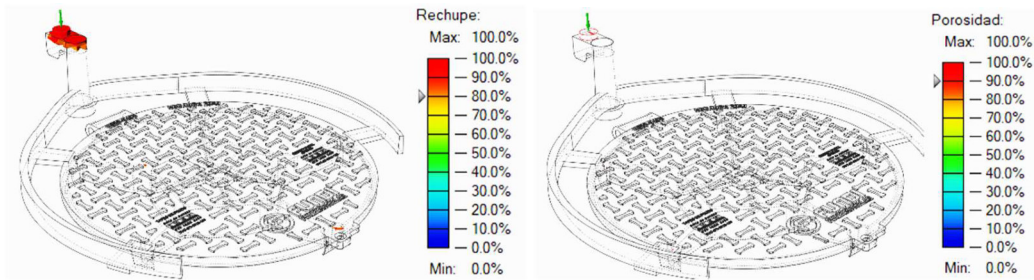
$$R_{molde} = \frac{m_{Sist\ Alim} + m_{pieza\ fundida}}{m_{arena}}$$

$$R_{molde} = \frac{43,008}{405.578} * 100\%$$

$$R_{molde} = 10.604\%$$

### 3.3.2 Resultados de la simulación del modelo Sist-Alim.T.V.A.1





**Figura 3.1.** Resultados de la simulación

Como se puede observar en las diferentes figuras, no se presentan problemas importantes como lo es la aparición de porosidad o rechupes. La presión y la velocidad permanecen constante en la tapa lo cual refleja una buena distribución del fluido impidiendo que se presenten inconvenientes como es el llenado incompleto, que es uno de los principales problemas presentes en fundición por molde. De acuerdo con lo observado previamente en la metodología este modelo no hace uso de los 4 alimentadores previstos en los distribuidores lo cual conlleva que se tengo una solidificación no uniforme.

### 3.3.3 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.B.1

Se presenta el rendimiento metálico del Sist-Alim.T.V.B.1

$$R_{metalico} = \frac{4.47 \times 10^6}{6,115 \times 10^6} \times 100\%$$

$$R_{metalico} = 73.098\%$$

Y el rendimiento de molde.

$$m_{molde} = 1361 \frac{kg}{m^3} * 0.189 m^3$$

$$m_{molde} = 257.229 kg$$

Entonces.

$$R_{molde} = \frac{m_{Sist Alim} + m_{pieza fundida}}{m_{arena}}$$

$$R_{molde} = \frac{43,723}{257.229} * 100\%$$

$$R_{molde} = 16.997\%$$

### 3.3.4 Resultados de la simulación

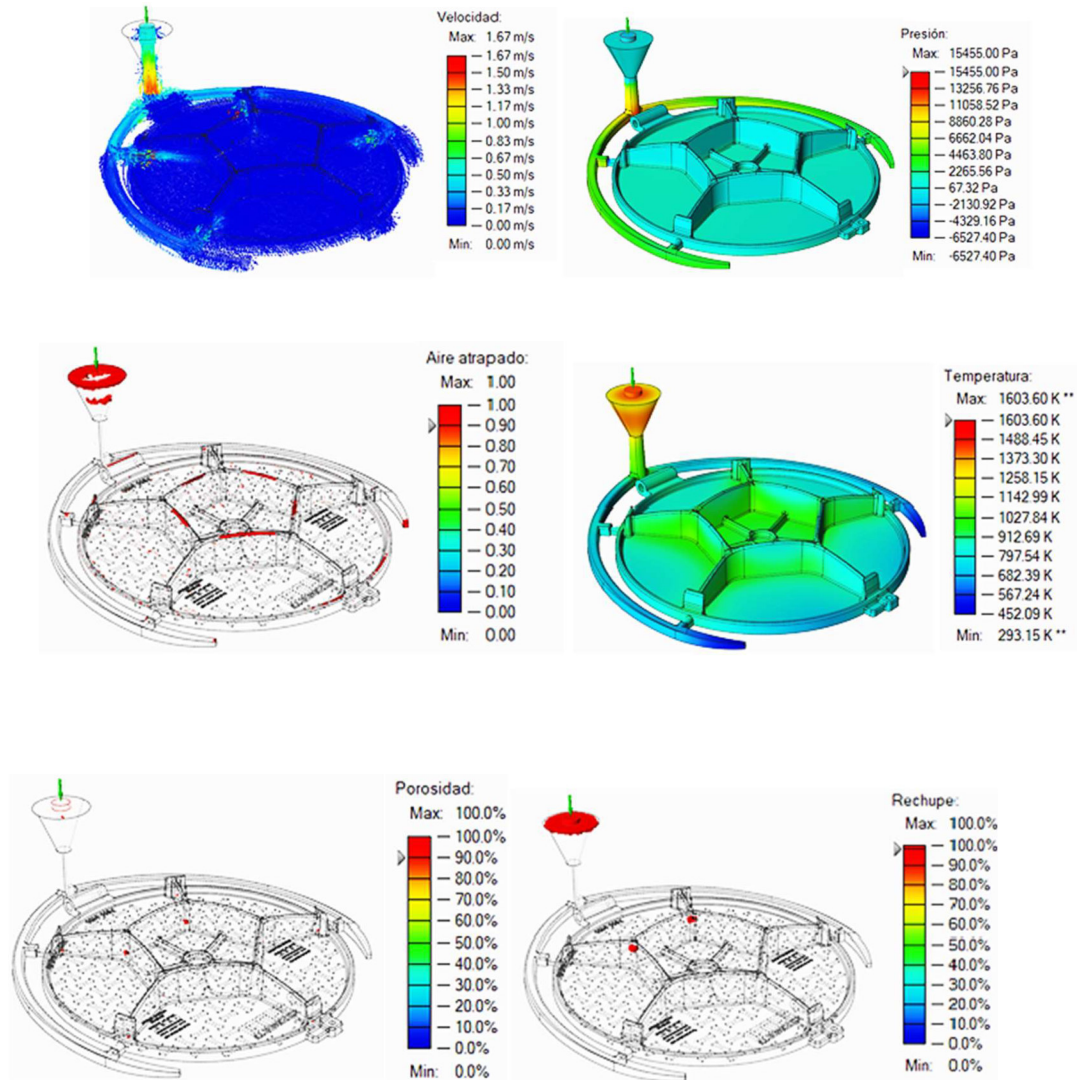


Figura 3.2. Resultados de la simulación

Como se puede observar, este modelo presenta defectos en especialmente en zona de los nervios con la aparición de porosidad, rechupes y la aparición de aire atrapado que puede ocasionar llenado incompleto de la pieza. Con la gráfica de la velocidad se puede evidenciar que los cuatro alimentadores están cumpliendo su función abasteciendo uniformemente el material fundido hacia la pieza.

### 3.3.5 Rendimientos Metálico y de molde del modelo Sist-Alim.T.V.B.1

Se calcula el rendimiento metálico

$$R_{metalico} = \frac{V_{pieza\ fundida}}{V_{Sist\ Alim} + V_{pieza\ fundida}}$$

$$R_{metalico} = \frac{4.47 \times 10^6}{6.34 \times 10^6} \times 100\%$$

$$R_{metalico} = 70.05\%$$

Se calcula el rendimiento de molde

$$m_{molde} = 1361 \frac{kg}{m^3} * 0.2885 m^3$$

$$m_{molde} = 257.229 kg$$

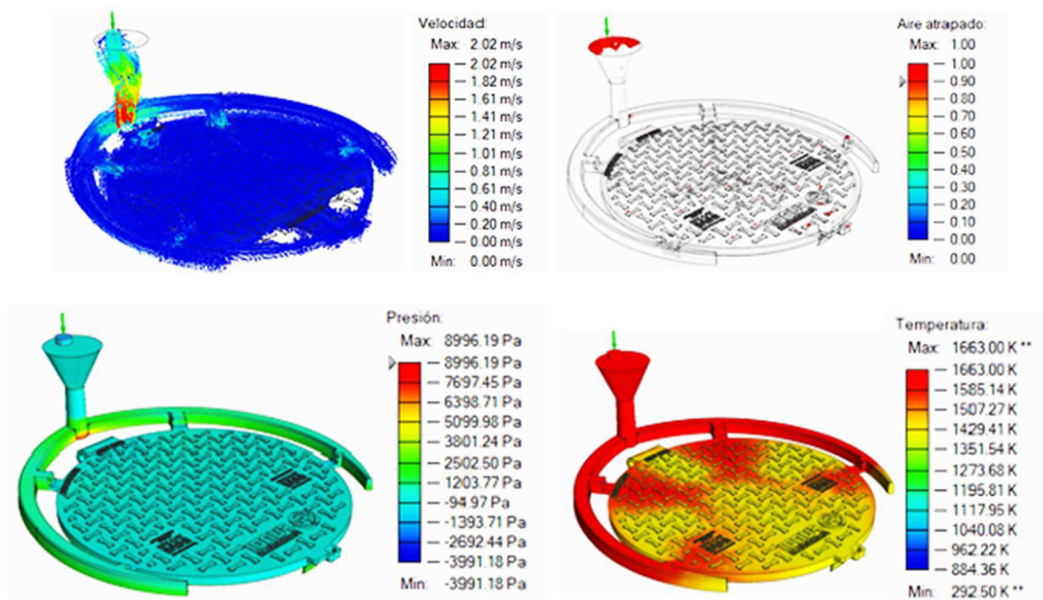
Entonces.

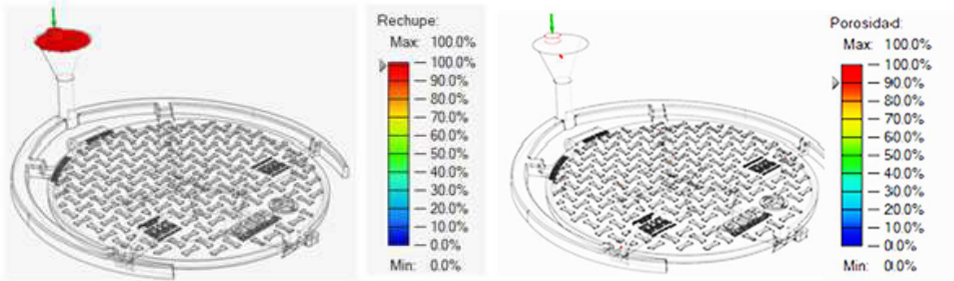
$$R_{molde} = \frac{m_{sist Alim} + m_{pieza fundida}}{m_{arena}}$$

$$R_{molde} = \frac{50.503}{257.229} * 100\%$$

$$R_{molde} = 12.862\%$$

Se presenta los resultados de la simulación





**Figura 3.3.** Resultados de la simulación

### 3.3.6 Análisis de resultados

Como se puede observar en las figuras se tiene una clara diferencia, principalmente en la geometría ya que son el primero y el último modelo realizado, cabe recalcar que se realizaron muchas más simulaciones con el objetivo de tener en cuenta otro parámetro, no solo la geometría y áreas, sino también de la presión. Ya que se consideró un modelo con la tapa al revés como se muestra en la figura 2.11. Teniendo resultados favorables con la distribución del fluido en los alimentadores, así como también una velocidad uniforme en toda la tapa. La solidificación no presenta mayor problema ya que es uniforme y lo último en solidificarse son los distribuidores con lo que es un modelo favorable, pero se pudo observar que se tiene inconvenientes con la presión ya que no se tiene la suficiente para poder completar el llenado de la pieza presentando aire acumulado en la zona de los nervios de la tapa lo cual conlleva que a que se tenga zonas donde no se completa la solidificación como se observa en la figura 3.2. Con este antecedente se llega a descartar este modelo ya que presentaría posibles fallas y defectos superficiales. Por eso motivo se toma la decisión de proseguir con el modelo Sist-Alim.T.V.A, el cual es la tapa con los nervios en el la partes inferior de molde

Por este motivo se descartó el uso de la tapa con esta configuración y se siguió con el proceso de seguir reformulando las variables enfocándose principalmente en las relaciones de áreas. Por consiguiente, se continuó redimensionando el sistema de alimentación hasta obtener un modelo adecuado y optimo con relación a los rendimientos de molde y metálico.

Se presentaron rendimientos metálicos superiores al 70%, que por los antecedentes y datos de anteriores rendimientos metálicos de fundirecliclar se evidencia un incremento de alrededor del 10%, siendo un resultado favorable. El principal parámetro para el incremento del rendimiento metálico es el volumen del sistema de alimentación que al estar en una

relación inversamente proporcional y al disminuir, inmediatamente se ve incrementado este rendimiento.

### **3.4. Conclusiones**

Al observar el primer y el último modelo se pueden encontrar diferencias tanto en geometría, así como también en la simulación de llenado. El considerar una trayectoria más suave como lo es la elíptica para el distribuidor, lo cual conlleva a que el fluido no pierda velocidad y a su vez no se incremente la turbulencia lo cual beneficia a que se tenga una mejor calidad superficial.

El emplear relaciones de área mas bajas para los componentes del sistema de alimentación, provoca que el rendimiento metálico se incremente, ahorrando material fundido, así como también el tiempo de solidificación. Cabe recalcar que el reducir el volumen de material fundido provoca, por otro lado, que el rendimiento de molde se vea afectado ya que al reducir el volumen de material fundido, ese volumen viene a ser ocupado por arena incrementando su masa, por lo que resulta contraproducente que el rendimiento metálico y el de molde se incrementen a la par, si el uno aumenta el otro disminuye.

La velocidad del fluido es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta a la hora de dimensionar un sistema de alimentación, ya se debe mantener constante en la medida de lo posible, y para ello la sección transversal de cada componente del sistema de alimentación debe tener una proporción acorde al material, geometría y volumen de la pieza a fundir.

### **3.5. Recomendaciones**

Resultado contraproducente el incrementar a la par el rendimiento metálico como el de molde ya que los dos rendimientos están relacionados directamente con la masa del sistema de alimentación, por lo que si se desea únicamente considerar únicamente el rendimiento de molde se debe reformular el dimensionamiento y emplear la configuración Sist-Alim.T.V.B el cual presenta un rendimiento de molde superior a las demás configuraciones ya que la el espacio ocupado por arena se ve disminuido ya que los nervios están la parte superior del molde.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFS Cast Iron Divisio-5G Committe, Gating and Risering. (2011). *Principios básicos del diseño de canales de colada de alimentacion de las piezas fundidas* . México: American Foundry Society.
- Fuh, J. Y., Wu, S. H., & Lee, K. S. (2002). Development of a semi-automated die casting die design system. *Journal of Engineering Manufacture*.
- Jadhav, A. R., Hujare, D. P., & Hujare, P. P. (2020). Design and optimization of gating system, modification of cooling system position and flow simulation for cold chamber high pressure die casting machine. *Materials Today: Proceedings*.
- Madan, J., & Singh, A. (2013). Computer aided design of gating system for a die-casting die. *Computer Applications in Technology*, 113-127(2).
- Motoyamaa, Y., Yoshida, M., & Saitoa, G. (2013). A verification of the thermal stress analysis, including the furan sandmold, used to predict the thermal stress in castings. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Nandagopal, Sivakumar, Senthilkumar, & Sengottuvelan. (2017). Study of Sand Casting Gating System. *International Journal of Recent Engineering Research and Development*, 02, 19-26.
- Niyas, M., Akshay, P., Rahman, A. A., Pranav, & Jibi, R. (2020). Designing and Modeling of Gating System and Feeder for Brass Flange Casting. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 9(11).
- Rao, P. N. (2018). *Manufacturing Technology—Foundry, Forming and Welding*. India: McGraw Hill.
- Saada, M. B., & Mansori, M. E. (2021). Assessment of the effect of 3D printed sand mold thickness on solidification process of AlSi13 casting alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*(114), 1753–1766.
- Seo, H.-Y., Jin, C.-K., & Kang, C.-G. (2018). Design of a gate system and riser optimization for turbine housing and the experimentation and simulation of a sand casting process. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(8), 1-12.
- Siodmok, B., Jezierski, J., Dorula, J., & Romelczyk, R. (2018). Impact of sprue base in gating system on quality of filling – The compromise between theory and practice. *Foundry Commission of the Polish Academy of Science*, 18, 167-172.
- Sorelmetal. (s.f.). *The essentials of gating and risering system design*. Rio Tinto Iron & Titanium Inc.