



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



INSTALACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
FUNDICIÓN CENTRÍFUGA PARA FABRICAR IMÁGENES EN
ZAMAK EN LA EMPRESA “D Y G FUNDICIONES, MARMOLES Y
GRANITO”, JULIACA REGIÓN PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MULLISACA SONCCO, DIANA SAIDA

Bach. MAMANI CARI, GUIDO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre **Sotera**, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, me acompañó en todo este trayecto estudiantil y de vida. A mi padre **Cesar**, por forjar mi camino por esta Carrera profesional que me encanta, Mis hermanas **Yuli y Neydy** a quien las quiero, por compartir momentos significativos conmigo y porque siempre están dispuestas a escucharme y ayudarme en cualquier momento.*

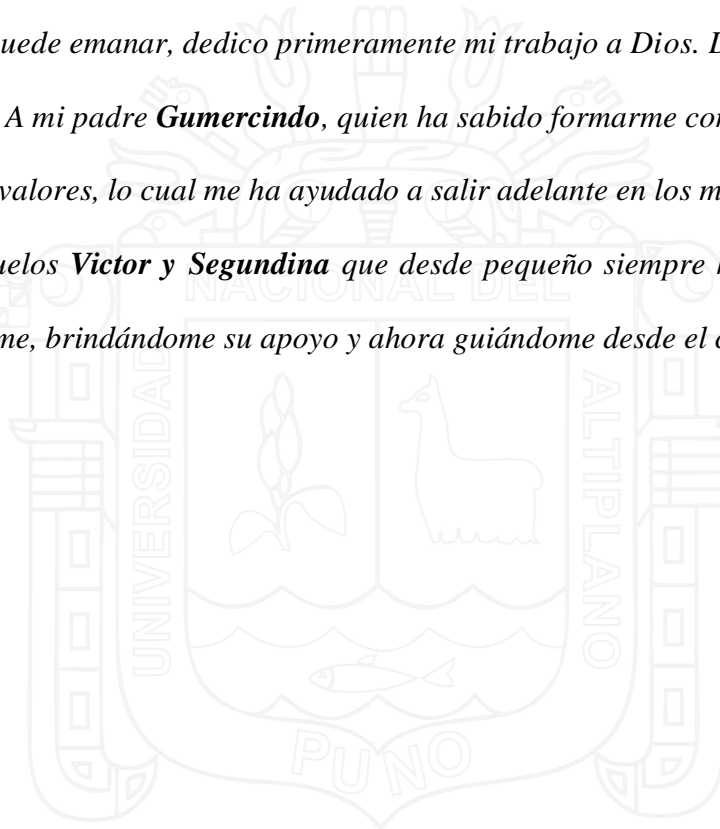
Diana Saida Mullisaca Soncco



DEDICATORIA

*Al creador, el que me ha dado fortaleza; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios. De igual forma, dedico esta tesis. A mi padre **Gumercindo**, quien ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mis abuelos **Victor y Segundina** que desde pequeño siempre han estado junto a mí cuidándome, brindándome su apoyo y ahora guiándome desde el cielo.*

Guido Mamani Cari





AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por acompañarme todos los días. A mis padres, que gracias a ellos pude terminar este largo camino de mi vida estudiantil, También mi más sincero agradecimiento a mis queridos docentes de la carrera Profesional Ingeniería Metalúrgica, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo académico y de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

Diana Saida Mullisaca Soncco

Debo agradecer de manera especial y sincera A Nuestro Dios por la vida MI Padre y abuelos por haber sido mi motivación principal en todo este camino. A mis Docentes de la Carrera Profesional Ingeniería Metalúrgica, por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo académico sino también en esta tesis y mi formación como investigador.

Guido Mamani Cari



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN11

ABSTRACT12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA..... 17

1.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS..... 17

1.4. JUSTIFICACION 17

1.5. ANTECEDENTES..... 18

1.6. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION 20

1.6.1. Hipótesis General 20

1.6.2. Hipótesis Especificas 20

1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION 21

1.7.1. Objetivo General 21

1.7.2. Objetivos Específicos..... 21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FUNDICIÓN..... 22

2.1.1. Aplicación De La Fundición..... 22

2.2. CLASIFICACION GENERAL DE LOS PROCESOS DE FUNDICION 22

2.2.1. Molde No Permanente 22

2.2.2. Molde Permanente..... 42

2.3. FUNDICIÓN CENTRIFUGA 53

2.3.1. Historia De La Fundición Centrifuga..... 53

2.3.2. Fundición Centrífuga Real..... 54

2.3.3. Fundición Centrifuga Vertical 57



2.3.4.	Fundición Centrifugada.....	59
2.3.5.	Equipamiento.....	60
2.3.6.	Moldes.....	61
2.3.7.	Parámetros De Fundición.....	63

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	MATERIALES.....	66
3.1.1.	En Fundición.....	66
3.1.2.	En Coladora Centrifuga	66
3.2.	DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACION	66
3.2.1.	Diseño De La Investigación.....	66
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
3.3.1.	Población.....	67
3.3.2.	Muestra.....	67
3.4.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	67
3.4.1.	Ubicación	67
3.4.2.	Descripción De La Investigación	68
3.5.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	69
3.5.1.	Técnicas	69

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	DESCRIPCION DEL ZAMAK 3 UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS. 70	
4.1.1.	Composición del zamak 3.....	70
4.1.2.	Propiedades Físicas	71
4.1.3.	Propiedades Mecánicas.....	71
4.2.	DESCRIPCION DEL PROCESO DE FUNDICION.	72
4.2.1.	Diagrama de Bloques del Circuito de Fundición	72
4.2.2.	Plano de la planta de fundición y colado centrifuga	74
4.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO DE CRISOL.....	75
4.3.1.	Parámetros De Diseño Del Crisol	75
4.3.2.	Dimensiones Del Horno.....	77
4.4.	MECANICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRIFUGADORA ...	79
4.4.1.	Principios De Funcionamiento	81



4.4.2.	Esfuerzos.....	83
4.4.3.	Comportamiento Térmico De La Pieza	86
4.5.	BALANCE DE MATERIA	87
4.5.1.	Reacciones Que Ocurre Dentro Del Horno	87
4.5.2.	Determinación del Peso en la Entrada del Horno.....	88
4.5.3.	Determinación del Peso en la Salida del Horno	90
4.5.4.	Cálculo de CO ₂ Generado	91
4.5.5.	Cálculo de H ₂ O Generado en Estado de Vapor	91
4.5.6.	Diagrama del Balance de Materia en el Horno	92
4.6.	BALANCE DE ENERGÍA	92
4.6.1.	Transferencia De Calor	92
4.6.2.	Calor Necesario Para Fundir 4kg Zamak.....	99
4.6.3.	Combustible Requerido	101
4.6.4.	Tiempo De Calentamiento	102
4.7.	GESTION AMBIENTAL EN LA FUNDICION DEL ZAMAK.....	103
4.7.1.	Limites Máximos Permisibles En La Fundición No Ferrosa	103
4.8.	PRUEBAS DE OPTIMIZACION	108
4.8.1.	Diseño De Cribado	109
4.8.2.	Diseño De Pruebas A Correr 23	109
4.8.3.	Análisis De Resultados De Experimentación	110
4.9.	COSTOS DE INVERSION Y PRODUCCION	115
4.9.1.	Costos De Inversión para instalar la fundición centrífuga.....	115
4.9.2.	Comparación De Costos De Producción.....	117
V.	CONCLUSIONES.....	123
VI.	RECOMENDACIONES.....	124
VII.	REFERENCIAS	125
ANEXOS.....		127

Área : Metalúrgica Transformativa.

Tema : Fundición.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 DE MAYO DE 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Moldeo a la Cascara.....	32
Figura 2. Mescla de la Aren Y Resina Sintética para el Moldeo	33
Figura 3. Máquina con Cámara de Presión por Inmersión	48
Figura 4. Máquina de Pistón Sumergible.	50
Figura 5. Esquema de una Fundición Centrifuga Real.	55
Figura 6. Cámara Porta Molde del centrifugado.....	55
Figura 7. Esquema de una Fundición Centrifuga Vertical.	59
Figura 8. Fundición Centrifugado de Piezas Pequeños	60
Figura 9. Moldes de Caucho y Silicon.....	62
Figura 10. Dimensiones del Crisol.....	76
Figura 11. Componentes Básicos del Horno de combustión Diseñado.....	78
Figura 12. Diámetro Interior y Exterior del Horno	78
Figura 13. Vistas y Partes de la Maquina Coladora Centrifuga.....	80
Figura 14. Diagrama de las Fuerzas en la Coladora Centrifuga	81
Figura 15 Dimensiones De La Centrifugadora	83
Figura 16. Diagrama de la Transferencia de Calor en la Pared del Horno	93
Figura 17. Diagrama del Radio y Temperaturas en el crisol.....	96
Figura 18. Grafica de Efectos Principales para la optimización.	115



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición en Porcentajes del Zamak 3	70
Tabla 2. Propiedades Físicas del Zamak 3.....	71
Tabla 3. Propiedades Mecánicas del Zamak 3	71
Tabla 4. Parámetros de Diseño para el Horno de Crisol.....	75
Tabla 5. Análisis de la Composición del Zamak-3 en la Alimentación del Horno (proveedor).....	88
Tabla 6. Peso de los Elementos en la Alimentación del Horno	89
Tabla 7. Análisis de la Composición del Zamak-3 en la salida del horno.....	90
Tabla 8. Peso Atómico de los Aleantes del Zamak-3.	90
Tabla 9. Peso de los Elemento en la Salida del Horno	91
Tabla 10 Límites Máximos Permisibles de Emisiones en la Industria de Fundición no Ferrosa	103
Tabla 11 Comparación de la Emisión de Gases con lo Normado.....	104
Tabla 12 Límites Máximos Permisibles de Calidad ambiental para suelo en la Industria de Fundición no Ferrosa.	105
Tabla 13 Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Metalúrgicas.	108
Tabla 14. Valores Altos y Bajos de los Parámetros en Experimentación.....	109
Tabla 15. Parámetros Para Cada Prueba a Correr	110
Tabla 16. Efectos Estimados para Optimización (%)	110
Tabla 17. Análisis de Varianza para Optimización.....	111
Tabla 18. Coeficiente de Regresión para Optimización.	112
Tabla 19. Resultados Estimados para Optimización.....	113
Tabla 20. Camino de Máximo Ascenso para Optimización.....	114
Tabla 21. Optimización.....	114
Tabla 22 Costo de fabricación de horno de crisol.....	115
Tabla 23. Costo de Inversión de la Fundición Centrifuga	117
Tabla 24. Costo de Energía.....	118
Tabla 25. Costo de Mano de Obra.....	118
Tabla 26. Costo de Materiales.....	119
Tabla 27. Inversión Total para fundir y producir imágenes con 4 kilogramos de zamak- 3.....	119
Tabla 28. Costo de Energía.....	120
Tabla 29. Costo de Mano de Obra.....	120
Tabla 30. Costo de Materiales.....	121
Tabla 31. Costos de Operación para Producir imágenes con 4 kg de zamak-3	121
Tabla 32. Tabla de Comparación de Costos de Producción.	122



ACRÓNIMOS

Gas Licuado de Petróleo	GLP
Revoluciones Por Minuto	rpm
Kilo Calorías	kcal
Fuerza	F
Fuerza Gravitacional	FG
Temperatura de Superficie	TS
Área de la Superficie	AS
Kilo Julios	KJ
Kilogramo	kg
Gramo	g
Fuerza Centrífuga	FC
Fuerza Centrípeta	FCT
Soles	S/
Dólares	\$
Tensión	T
Medio Ambiente	MA
Watts	W
Velocidad	v
Diámetro interior	d
Diámetro exterior	D
Hora	h
Minuto	min
Segundo	s



RESUMEN

El presente proyecto titulado, instalación y optimización del proceso de fundición centrífuga para fabricar imágenes en zamak en la empresa “D&G fundiciones, mármoles y granito”, Juliaca – Región Puno; cuyo objetivo es, instalar los equipos de fundición centrífuga, optimizar los parámetros de operación y elaborar los costos de producción. Este trabajo de investigación nace por la necesidad de mejorar la producción de imágenes en zamak en el proceso de fundición, colado y principalmente en la etapa de fabricar imágenes. Y será implementado al área de fundición centrifugado de la empresa D&G Fundición, Mármoles y Granitos, de la ciudad de Juliaca, en julio del año 2020. La optimización de los parámetros de colado se realizó recurriendo al método experimental con tres parámetros variables; temperatura de colado, tiempo de centrifugado y cantidad de revoluciones del centrifugado; también se realiza el estudio financiero utilizando el método descriptivo. La metodología seguida es la siguiente; revisión de la bibliografía, instalación de los equipos, fundición de zamak, preparación del molde, colado por centrifugado y análisis de resultados; los que nos lleva a establecer las conclusiones, que los resultados teóricos pueden ser optimizados y son muy importantes para una producción de calidad a menor costo y tiempo ya que esto se verá reflejada en las inversiones de la empresa, la utilización de la fundición centrífuga tiene un menor costo de producción que la fundición convencional.

Palabras Clave: fundición centrífuga, zamak, imágenes, horno y crisol.



ABSTRACT

The present project entitled, application of the centrifugal casting process to manufacture jewelry parts in Zamac; It is done in the company D & G Casting, marbles and granites; Whose goal is, obtain quality products at a lower operating cost and determine the optimal parameters of collation. This research work will improve the production of jewelry pieces in Zamac in the casting process and mainly in the pilling stage of the molten material. And it will be implemented to the area of jewelry and foundry of the company D & G Casting, marbles and granites, from the city of Juliaca. To perform the optimization of the collation parameters, the use of the experimental method will be used and three variable parameters, casting temperature, centrifugation time and amount of spin revolutions will be resorted to. The financial study is also carried out using the descriptive method. This research will be performed using the following equipment: Electric smelting oven, centrifugal colar, silicone molds and metal casting equipment. The methodology to be followed is the following steps; Revision of the bibliography, installation of equipment, Zamak casting (zinc and aluminum alloy), preparation of the mold, cast by centrifugation and analysis of results; Those who lead us to establish that the results of optimization are very important for quality production at lower cost and time since this will be reflected in the company's investments.

Keywords: casting centrifuge, zamak, images, oven, melting pot.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La fundición centrifugado es uno de los procesos que se utiliza para producir piezas pequeñas que son usados en la bisutería y joyería. En nuestro país varias empresas adoptaron por la utilización de este método de fundición centrifuga para fabricar piezas como estas mediante este proceso.

Mientras tanto, a un nivel prototipo se encontraron muchos diseños realizados por ciertas estudiantes de Universidades, con algunas diferencias en sus diseños para colada centrífuga, ya que estos son horizontales, mientras que el diseño propuesto en este trabajo es forma vertical él colado y las piezas se obtienen de forma horizontal el giro del molde es de forma horizontal; el material para trabajar es el zamak-3. Es por eso que de ahí partimos para calcular el diseño del equipo, con la hipótesis de que se logrará colar piezas mediante el uso de la fuerza centrífuga accionada por un motor y, mientras el planteamiento sea el correcto, se tiene un gran porcentaje de que al usar este método de fundición y colación se obtendrá piezas de buena calidad.

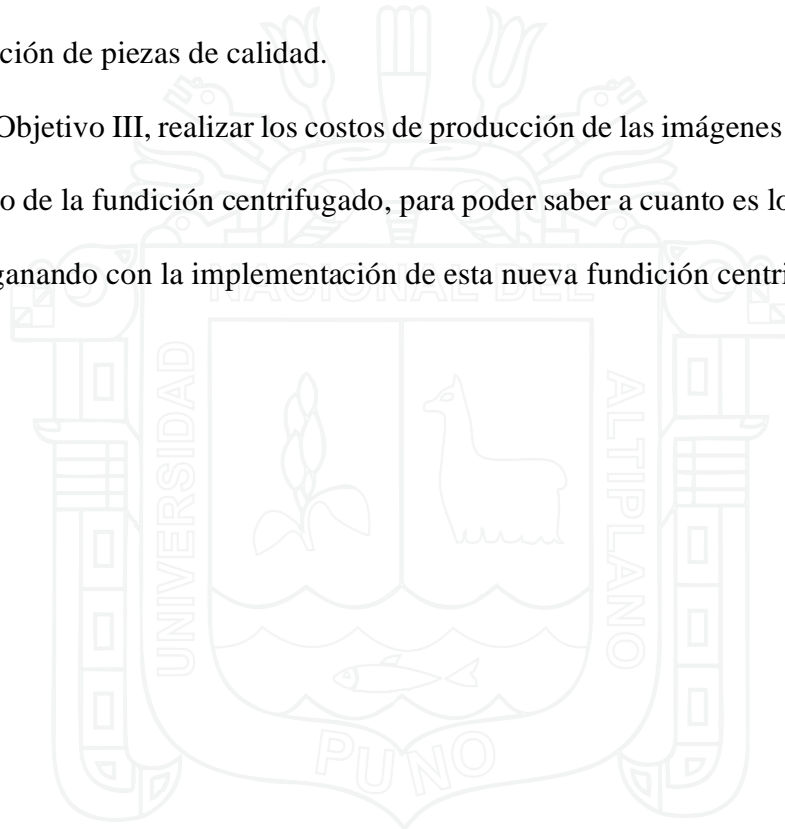
El motivo para realizar esta tesis es implantar y optimizar los parámetros de la fundición centrifugado en la empresa D&G fundiciones, mármoles y granito ya que anteriormente no contaba con esta tecnología. De modo que se facilitara el trabajo para los operarios y presentando resultados buenos con su trabajo de piezas en zamak de buena calidad y sin perdidas alguna.

El objetivo de esta tesis es realizar todas las investigaciones posibles para poder aplicar este tipo de equipos en el área de fundición aprovechando la fuerza centrífuga generado por el movimiento circular del eje de un motor, la velocidad circular uniforme.

Objetivo I, realizar todos los cálculos posibles del horno de fundición y de la coladora centrífuga para poder saber todas las dimensiones del equipo, la energía requerida para la fundición, las fuerzas que gracias a la velocidad circular aparecen en el sistema las que interfieren y las que ayudan para obtener piezas fundidas de calidad.

Objetivo II, realizar la optimización adecuada de los parámetros de fundición y colación como son las siguientes; tiempo, temperatura, velocidad de rotación, estos para la obtención de piezas de calidad.

Objetivo III, realizar los costos de producción de las imágenes de zamak con y sin el equipo de la fundición centrífuga, para poder saber a cuanto es lo invertido y cuanto se está ganando con la implementación de esta nueva fundición centrífuga



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La instalación y optimización del proceso de fundición centrífuga utiliza las fuerzas G generado por el movimiento circular uniforme o también conocido como la fuerza centrífuga, el molde usado para este proceso es circular con un eje en su centro que también sirve de bebedero o paso del zamak fundido hacia los lados del molde de silicón o caucho donde se encuentran las cavidades del modelo, gracias a esta fuerza la distribución es uniforme y la velocidad de producción de piezas es mucho mayor. “Sé gira constantemente un molde sobre su eje a velocidad de hasta 3000 rpm mientras se vierte el metal fundido” (Cordis, 2004)

La calidad superficial obtenida de la fabricación de imágenes en zamak con el uso de la centrifugadora son de buena calidad en comparación con la colada convencional en moldes de yeso, arena, etc. La buena calidad de las piezas se obtiene gracias a la distribución uniforme en el centrifugado del zamak fundido en el interior del molde.

El uso de este proceso de “fundición centrífuga en los países como China, Norte América, Japón, Europa, Asia e India. El uso promedio de las empresas dedicadas a este rubro de la obtención de piezas de bisutería oscila en un 65% y lo demás usan el proceso como la inyección y otros” (Casals, 2020); el uso del material a fundir para la bisutería en su mayoría utiliza el aluminio y zamak, materiales con bajo punto de fusión.

A nivel nacional el uso del “proceso de la fundición centrífuga varían de 30% a 45% de las empresas que los tienen instalados en sus áreas de fundición, un 24% usan la inyección automática a los moldes, el 22% usan la calada por presión y el 10% de las empresas aun usan métodos convencionales para su fabricación” (Rodríguez, 2021); la mayoría de las empresas usan como material a fundir el zamak-3 por su facilidad de adquisición y baja temperatura de fusión.

A nivel regional son escasas las empresas dedicadas a la fundición de imágenes en zamak, por lo tanto, no tienen instalada el proceso de fundición centrifugado ya que estas empresas en su mayoría son pequeñas y utilizan procesos convencionales porque la producción requerida de piezas es mínima y el proceso de fundición centrifugado es para producir en mayores cantidades.

A nivel de la empresa, en el área de fundición de la empresa “D&G fundiciones, mármoles y granitos”, inicialmente adoptó el uso de la fundición convencional, así como la técnica y los equipos, usando como moldes de yeso y arena para el colado, como consecuencia se obtenían piezas de muy mala calidad; por ende, pérdidas de material, tiempo de trabajo e inversión.

Las causas para la mala calidad de las imágenes en Zamak obtenidas fueron por el uso convencional del colado, la fundición y las técnicas; dando como resultados imágenes de mala calidad superficial o acabado.

Los efectos de seguir utilizando el proceso de fundición convencional nos llevan a la mala calidad de imágenes y como consecuencia inaceptación del producto final en los clientes.

El aporte que propone esta investigación para solucionar el problema es la instalación y optimización de la fundición centrifugado en la empresa D&G fundiciones, mármoles y granito, porque este proceso garantiza la obtención de piezas de bisutería en zamak de muy buena calidad, al menor costo y tiempo. “calidad de fundición centrifugado: buena estructura, perfectamente homogéneas, libre de sopladuras e inclusiones, propiedades mecánicas muy elevadas.” (Huilca, 2012, p. 9).

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo instalar y optimizar el proceso de fundición centrifugado para fabricar imágenes en zamak en la empresa D&G fundiciones, mármoles y granito”, Juliaca – Región Puno.

1.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS

1. ¿Cuáles son los cálculos de dimensionamiento y diseño para el proceso de fundición centrifugado?
2. ¿Cuáles son los parámetros óptimos de operación para fabricar imágenes en zamak de la fundición centrifuga?
3. ¿Cómo calcular el costo de producción de piezas de zamak con y sin el equipo de fundición centrifugado?

1.4. JUSTIFICACION

A medida que la ciencia y la tecnología avanzan, a nivel industrial se va generando nuevos métodos de producción, esto hace que las empresas en su afán de mejorar adopten estos métodos, ya que al no hacerlo no podrán ser competitivas, generando así un constante cambio y evolución. Así mismo la importación de bisutería extranjera que invaden el mercado regional, hace necesario el desarrollo de planes de negocios que involucren todos los aspectos relacionados con la bisutería en cuanto a su diseño y fabricación. En la actualidad lo que se espera alcanzar con los procesos productivos es disminuir costos, incrementar la producción, mejorar la calidad del producto y generar seguridad dentro del proceso, todo esto teniendo en cuenta el factor ambiental y lo cual ofrece la fundición centrifuga, por las razones ya mencionadas la empresa “D&G fundiciones, mármoles y granito” adopto la instalación y optimización de un equipo de fundición centrifuga, acorde a las necesidades de la empresa de esta manera la producción se realiza en lugar y ya no se importaran productos del exterior e interior del país

El proceso de fundición por centrifugado es el que mejor se ajusta a los requerimientos en las imágenes de Zamak, para lo que se utilizara un horno eléctrico gracias a que éste por sus buenas características de colabilidad y alto punto de fusión, se transporta a través de las arañas o ramales con el fin de solidificar la pieza, desde el centro hacia las que permiten elaborar piezas de geometría tanto simples como complejas La fundición centrífuga garantiza la calidad del producto ya que en ella no se dan los problemas de rechupe, incrustaciones, la cantidad de metal es la necesaria, no hay problemas de discontinuidades.

1.5. ANTECEDENTES

Chanataxi (2017) Se plantea como objetivo general el diseñar una línea de bisutería femenina artesanal con aplicación de chatarra, mediante la aplicación de principios básicos, la autora realiza una investigación sobre teorías de sostenibilidad, así como, piezas más utilizadas en la bisutería, materiales e insumos necesarios para su elaboración, de igual manera recopila información sobre la chatarra y los procesos básicos a seguir para que esta pueda ser reutilizada. Dentro de los principios básicos de la bisutería se destaca el trabajo netamente manual, combinado con diversos materiales orgánicos y minerales. De ser necesaria la intervención de maquinaria electrónica como láser, esta deberá intervenir en un 10% en la elaboración de la pieza para que esta pueda seguir siendo considerada como artesanal. De igual manera, este tipo de accesorios no permite la producción masiva de un mismo diseño, ya que, se perdería la originalidad y exclusividad en el diseño, requisitos básicos para el mundo artesanal.

Orellano (2017) El presente plan de negocio, consiste en la Importación de bisutería China y su comercialización en el mercado peruano., Se calcula una inversión inicial de S/.76,451.43 soles, los mismos que se planean recuperar en el primer año de operación, el 35% de la inversión será financiada mientras que el 65% restante proviene

del capital de 02 accionistas de la empresa, El punto de equilibrio se estima en 3077 unidades para el primer año mientras que se considera la importación de 5000 unidades para este mismo periodo, las importaciones se realizarán mediante embarques trimestrales, marítimos y se negociarán términos de entrega FOB. China es un país en constante crecimiento con un PBI de 10.87 billones, es el importador más importante a nivel mundial de la partida 711719, cuenta con zonas especializadas para la fabricación de accesorios, es un país importante para establecer relaciones comerciales.

Avalos y Escamilla (2016) El diseño desarrollado se realizó con el objeto que a futuro se fabrique y ensamble el proyecto y se establezca como una práctica de laboratorio, en la cual los alumnos tengan la posibilidad de conocer y calcular los parámetros necesarios en la obtención de piezas tubulares (de aluminio) mediante el proceso de colada centrífuga, con la posibilidad de variar los parámetros que principalmente serían: velocidad de vaciado, velocidad de rotación, velocidad de enfriamiento, temperaturas de fusión, espesores obtenidos. Al analizar las diferentes clasificaciones de la colada centrífuga; en este caso en particular, la colada centrífuga real, es la más sencilla a la hora de obtener un resultado satisfactorio con la pieza final. Es por eso que, al investigar más sobre el proceso en nuestro país, la mayor parte de empresas que se dedican a la fundición centrífuga, se inclinan por este proceso.

Flores (2013) En su trabajo de investigación de maestría muestra el modelado y optimización de un proceso de fundición ZAMAK (Zn, Al, Mg, Cu) por molde permanente, mediante la metodología superficie de respuesta, realizando una exploración inicial mediante un diseño factorial aumentado con puntos centrales. Además, dado que el modelo cuadrático completo no ajusta adecuadamente, se utilizó una red neuronal de base radial como modelo de predicción. Por otro lado, considerando los modelos ajustados, se utilizó la función de deseabilidad y un algoritmo genético respectivamente,

para realizar la optimización. Finalmente, los parámetros obtenidos se validaron en el proceso real logrando una reducción considerable de los defectos relacionado con porosidad.

Caltenco (2010) Manifiesta que, en la máquina de fundición centrífuga, el metal fundido se vierte en un molde de silicón que gira a gran velocidad. La fuerza centrífuga hace que el metal se distribuya uniformemente alrededor del molde. Las piezas resultantes son de grano más fino y libre de porosidad. En comparación con los dos procesos principales competidores de fundición a presión por inyección y moldeo en arena. El proceso de fundición centrífuga tiene ventajas significativas en términos de costos de arranque y la facilidad de uso. En algunos casos, la fundición centrífuga también puede ser una alternativa a la fundición en arena. La fundición centrífuga es un proceso que permite la producción rápida y eficiente de copias totalmente funcionales de los frágiles modelos de prototipos rápidos. Debido a los bajos costos de inicio, y la facilidad de uso, el proceso de fundición centrífuga está a disposición de las personas y empresas que son incapaces de hacer grandes inversiones requeridas por fundición a inyectada a presión u otros procesos similares. De esta manera, la fundición centrífuga es accesible a una gama más amplia de aplicaciones sin duda que las tecnologías competidoras.

1.6. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.6.1. Hipótesis General

Con la instalación y optimización del proceso de fundición centrífuga se fabricar imágenes en zamak en la empresa “D&G fundiciones, mármoles y granito”, Juliaca – Región Puno

1.6.2. Hipótesis Especificas

1: Es posible calcular las dimensiones y diseño del proceso de fundición centrifugado.

2: Los parámetros de operación obtenidos son óptimos para fabricar imágenes en zamak en fundición centrifugado.

3: Es posible calcular el costo de producción de piezas de zamak con y sin el equipo de fundición centrifugado.

1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.7.1. Objetivo General

Instalar y optimizar el proceso de fundición centrifugado para fabricar imágenes en zamak en la empresa “D&G fundiciones, mármoles y granito”, Juliaca – Región Puno

1.7.2. Objetivos Específicos

1: Determinar los cálculos de dimensionamiento y diseño para el proceso de fundición centrifugado.

2: Determinar los parámetros óptimos de operación para fabricar imágenes en zamak de fundición centrifugado.

3: Calcular el costo de producción de piezas de zamak con y sin el equipo de fundición centrifugado.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FUNDICIÓN

“En el proceso de fundición, el metal fundido fluye por gravedad u otra fuerza dentro de un molde donde se solidifica y toma la forma de la cavidad del molde” (métodos, 2020, p. 1). La fundición es uno de los procesos más antiguos, su aplicación remonta a uno 6 mil años atrás. Su principio es muy simple primero se funde el metal a su estado líquido, después se vierte el metal liquido en un molde que llena a sus cavidades huecas y se deja enfriar.

2.1.1. *Aplicación De La Fundición*

“La fundición es una técnica empleada para dar forma a piezas y objetos de materiales metálicos consiste en fundir el metal, calentándolo hasta que se vuelva líquido y una vez fundido, echarlo en moldes con la forma que se quiere lograr, dejándolo enfriar en estos hasta que se vuelva a transformar en sólido” (Edoardo, p. 65)

2.2. CLASIFICACION GENERAL DE LOS PROCESOS DE FUNDICION

2.2.1. *Molde No Permanente*

2.2.1.1. **Fundición En Arena.**

La fundición que se realiza en moldes de arena, es una de las primeras tecnologías más utilizadas para la fabricación de productos de origen metálico. Aproximadamente desde el siglo VII a.C. se fabricaron piezas de fundición evolucionando desde utensilios básicos usados en hogares, para ornamentación y seguridad, hasta complejas geometrías de turbinas hidráulicas. Esto ha generado una gran tradición, especialización e investigación en la producción de piezas cada vez más complejas.

Aunque desde sus comienzos de la aplicación de la fundición, hasta estos últimos siglos la se ha centrado en metales como materia prima de la fundición, también se ha ampliado su aplicación a otras familias de materiales.

La fundición consiste en una serie de operaciones controladas mediante las cuales se obtiene un molde que reproduce la forma geométrica exacta de la pieza a obtener y en el que se vierte el metal en el interior de un molde hueco previamente fabricado por el ser humano.

Se emplea actualmente fundamentalmente en piezas como motores, cigüeñales, componentes de turbinas hidráulicas, trenes de aterrizajes para aviación, entre otras.

El material de la cual está hecho el molde marca en gran medida las características generales del proceso de fundición.

2.2.1.1.1. El Modelo.

Un modelo, se podría definir como una reproducción de la pieza que se desea obtener con todas sus medidas y detalles ya que a través de esta es que se fabricará la pieza resultante o la pieza a obtener. “La fabricación de modelos es una operación muy especializada que implica trasladar los planos de diseño bidimensionales a un objeto tridimensional. Los modelos de madera tradicionales se fabrican en talleres estándar que cuentan con herramientas manuales y maquinaria eléctrica de corte y cepillado” (Michael, 2013, p. 82.15).

2.2.1.1.2. El Molde.

El material que se utiliza para el moldeo del modelo, es la arena sílica, con la cual se obtienen buenos resultados de las piezas obtenidas por fundición. Las arenas de moldeo normalmente deben ser compactas y deben de adquirir plasticidad para copiar las huellas de los modelos y muy porosas a fin de que su permeabilidad permita el paso de los gases.

En el moldeo de piezas aplicando este proceso, se maneja el trabajo del moldeo del Macho coya finalidad es obtener un espacio hueco de acuerdo a la forma del corazón en la pieza final obtenida.

Para su elaboración, se utiliza una cantidad de arena de sílice (CO_2) y se le agrega silicato de sodio (Na_2SiO_3) en una proporción del 4 al 6 % y se mezcla por unos 3 minutos. Se recubre la caja de macho hasta llenarla completamente, se hace una perforación a través de la masa arenosa para inyectar CO_2 con el fin de endurecer el molde, obteniendo así un cuerpo rígido y permeable. Así se obtiene el macho de la pieza.

2.2.1.1.3. Diseño De La Pieza Fundida.

El proyectista al diseñar debe darle un cuerpo resistente y duradero, debe realizar los diseños del conjunto y los detalles de cada pieza debidamente acotados, por tanto, el proyectista debe conocer la tecnología de la fundición, con el objetivo de diseñar una pieza de bajo costo, buen acabado superficial, y el método adecuado de fundición, etc. Para esto debe existir una estrecha colaboración entre el proyectista, el modelista y el fundidor.

2.2.1.1.4. Preparación De Las Arenas De Fundición.

Consiste en preparar la arena de fundición, añadiéndole materiales adecuados y aportantes de propiedades como son: permeabilidad, cohesión, dureza, refractariedad, etc. Las arenas de fundición están constituidas por tres componentes básicos en su composición:

Sílice: de 80% a 90%

Arcilla: de 10% a 15%

Agua: de 5 a 7%

2.2.1.1.5. Construcción Del Modelo.

Consiste en fabricar el modelo, que puede ser de material como madera o de metal, generalmente los modelos de madera se hacen en dos partes para facilitar su extracción

de las cajas de moldeo. Al hacer el modelo se debe tener en cuenta el sistema de molde a utilizar, el grado de contracción del metal a fundir, los espesores de mecanizados, y si la pieza debe llevar algún agujero interior, el modelista también construirá su respectiva “caja de machos”.

2.2.1.1.6. El Moldeo.

Lo realiza el moldeador en las cajas de moldeo, y consiste en reparar el molde (forma vacía), o reproducción en negativo de la forma de la pieza. En los moldes transitorios de arena, se comprime arena de fundición alrededor del molde colocado en el interior de una caja, extraer el modelo, asentar en su sitio los machos, colocar los conductores del sistema de alimentación, retocar el molde, cerrar las cajas. Los moldes transitorios solo sirven para fabricar una pieza.

2.2.1.1.7. Preparación Del Metal Fundido.

El metal se calienta hasta llegar la temperatura de fusión, y posterior a la temperatura de colada, es decir se llevará del estado sólido al estado líquido, esta operación se realiza en los hornos de fundición, que pueden ser: de combustible, convertidores u hornos eléctricos, cada tipo de horno tiene sus ventajas, desventajas y sus aplicaciones particulares.

2.2.1.1.8. La Colada.

Consiste en introducir el metal fundido a través de una o más aberturas de colada (bebederos), dispuestos convenientemente en el molde, Esta operación se realiza cuando el molde está cerrado herméticamente y con solidos para resistir la presión metalostática del metal.

2.2.1.1.9. Solidificación Y Enfriamiento.

Posteriormente de la colada se debe esperar a que la pieza se solidifique y se enfríe en el molde, mientras que las piezas grandes requieren periodos de horas (según sus dimensiones), para su total solidificación.

2.2.1.1.10. El Desmolde.

Cuando la pieza se ha solidificado y enfriado se procede al desmolde, se levantan las cajas, se rompe el molde de arena, se extrae la pieza fundida conjuntamente con el sistema de alimentación solidificada.

2.2.1.1.11. Tipos De Arena.

En la mayoría de las operaciones de fundición moldeada en arena, se utiliza sílice (SiO_2), simplemente porque es económica, fácil de adquirir y sus características resultan buenas por su resistencia a temperaturas elevadas. Se utilizan dos tipos de arena, una de ellas es aglutinada naturalmente y otra sintética (arena de lago) la arena de lago es más fácil de trabajarla por su composición, y permite una fundición de calidad, teniendo en consideración que la arena debe ser limpia y de preferencia nueva.

Con otros procesos de fundición de metales, se tiene que seleccionar el tipo de arena adecuada para poder obtener una pieza de buena calidad, para ello se toman en cuenta diversos factores como los granos finos, que permiten el apisonar lo suficiente para compactar y tener una superficie más lisa; pero si es demasiado fino el grano, también reducen la permeabilidad, y esto durante la fundición puede provocar la retención de los gases en el interior y evitar su escape; también es necesario que el molde tenga colapsabilidad para permitir que la fundición se contraiga al enfriarse evitando efectos de agrietamiento y desgarramiento de la superficie de la pieza.

1) ARENA VERDE.

La arena verde es la más utilizada para la mayoría de los tipos de fundición, ya que esta se compone de 90% de arena de sílice, 3% de agua y 7% de arcilla, también es conocido

como arena de agua ya que es el medio para unir la arena y la arcilla. La arcilla usada es la bentonita y a veces se utilizan aglutinantes en lugar de arcilla para fabricar este tipo de arena, algunos ejemplos de estos aglutinantes incluyen la resina y materiales a base de colágeno.

2) ARENA DE PETRÓLEO.

Esta arena utiliza aceite en lugar de agua en comparación de los demás tipos de arena como agente de unión, es más simple de usar, no genera vapor de agua como la de base de agua y produce un acabado más fino. tiene una consistencia más pegajosa que la del agua ya que puede rellenar los poros entre las partículas de arena generando así una textura en la superficie sin marcas.

3) ARENA SECA.

La arena seca es solamente arena de sílice mezclada con un aglutinante orgánico, estos moldes se sobrecalientan primero en un horno para cuecer antes de ser utilizados para moldear metal, el calor fortalece y endurece el molde. El moldeado en este tipo de arena asegura dimensiones más precisas y genera menos imprecisiones, los moldes con diseños más complicados se hacen más fáciles en las fundiciones de arena seca en las cuales se utiliza sobre todo para hacer grandes elementos como bloques de motor y piezas de construcción.

4) ARENA SIN COCCIÓN.

Esta arena se mezcla con una resina polimérica líquida que se endurece a temperatura ambiente, a alta velocidad y luego se vierte en una caja que contiene un prototipo del elemento molde a realizar, este dispositivo es de madera o de metal, después la arena es comprimida alrededor del elemento ya sea a mano o con una máquina y la mezcla se deja endurecer. Se corta en dos mitades, el arrastre o la mitad inferior y el frente o la parte superior; a continuación, el positivo se elimina y los núcleos se ponen en su lugar. El molde se cierra herméticamente y se vierte el metal.

5) ARENA DE BAUXITA.

Esta arena es un obtenido por fusión y contiene aproximadamente un 75% de Al_2O_3 . Presenta excelentes propiedades refractarias, una alta permeabilidad y dilatación térmica similar a la de la arena de cromita. Puede presentar en diferentes tamaños y tiene una densidad aparente de 2 [g/cm³]. Se puede utilizar como sustituto de la arena de circonio y gracias a sus propiedades magnéticas es posible su separación fácil de la arena de sílice. Otra importante característica de la arena de bauxita son las altas resistencias mecánicas que se obtienen en los moldes, hecho constatado en los procesos de caja fría, caja caliente y sistema furánico auto-fraguante.

6) ARENA DE CIRCONIO.

Presenta excelentes propiedades refractarias, baja la dilatación térmica y elevada conductividad térmica. Su composición es silicato de circonio ($ZrSiO_4$) y tiene una densidad aparente aproximada de 2.7 [g/cm³]. Se emplea en la fabricación de machos y moldes sometidos a altas temperaturas como es el caso de piezas de acero y piezas masivas de fundición. Las propiedades de la arena de circonio permiten reducir o eliminar el beining, evitar las reacciones metal-molde y aumentar la velocidad de enfriamiento.

7) ARENA CERABEATS.

Es una arena sintética cuya composición es silicato de alúmina ($3Al_2O_3-2SiO_2$), presenta excelentes propiedades refractarias una alta permeabilidad y dilatación térmica similar a la arena de circonio. Tiene una densidad aparente de 1.7 [g /cm³], la forma geométrica del grano es redondeada, lo cual le confiere una alta fluidez. La arena cerabeats es compatible con todos los procesos químicos de confeccionamiento y es muy apropiada para piezas de acero aleado o machos sometidos a altas sollicitaciones térmicas como, por ejemplo, pasos de aceite en motores de combustión.

8) ARENA DE OLIVINO.

Se utiliza principalmente para la fabricación de moldes y machos en la industria de la fundición de metales. Su carácter básico la hace adecuada en la producción de piezas fundidas de acero-manganeso, comparativamente con la arena de sílice es menos reactiva con el óxido de manganeso, también la dilatación térmica es menor que la arena de sílice y tiene una alta resistencia al choque térmico. El olivino en grano de 2-6 mm se emplea en la industria siderúrgica para el taponado de hornos y sangrado lateral, EBT y OBT. Los valores de SiO₂ que tiene la arena no es sílice libre, se encuentra combinada con orto silicato de magnesio (Mg₂ SiO₄) por lo que su aporte de silicio a la colada es residual.

9) ARENA DE CROMITA.

Esta arena es especial con muy buenas propiedades a elevadas temperaturas, proporciona una alta resistencia a la penetración del metal líquido, y comparativamente con otras arenas produce un enfriamiento más rápido de la pieza fundida. La dilatación térmica es mucho más baja que la arena de sílice o arena verde con lo que se reducen también los problemas derivados de la expansión de la arena, esta arena también es compatible con todos los procesos químicos de confeccionamiento de moldes y machos. Es aplicable a todos los tipos de acero y muy apropiada para las piezas de acero-cromo, cromo-níquel y acero-manganeso.

2.2.1.2. Fundición A La Cascara.

La fundición que se realiza través de conformación de moldes tipo cáscara, también es conocido como Shell Molding, se puso en práctica por primera vez en la década de los 40 durante la segunda guerra mundial en Alemania por Johannes Croning. Ha crecido de manera significativa, ya que este tipo de fundición pueden producirse a costos bajos muchos tipos de fundición con estrechas tolerancias dimensionales y a un buen acabado superficial de las piezas obtenidas el nivel de precisión de las piezas producidas a través de moldeo en cáscara es menor que aquel alcanzado con la técnica de fundición a la cera

perdida, sin embargo, es mayor que el alcanzado a través de las técnicas convencionales de molde de arena.

2.2.1.2.1. Moldeo en Cascara.

En esencia consiste en obtener un buen molde, con una delgada cáscara, de arena con alta composición de sílice aglomerada con resinas sintéticas termoestables, depositándola sobre una placa modelo metálica calentada a la temperatura conveniente. Separadas las cáscaras del modelo, se juntan dos coincidentes para formar el molde completo, donde se cuele la aleación.

2.2.1.2.2. Materiales Empleados.

Los esenciales son:

- **Arena:** Se suele emplear la que tiene en su composición sílice o de circonio seca, previamente lavada, fina con 2,4 a 4 % de aglutinante de resina termoestable la cual se encarga de recubrir el modelo.
- **Resinas:** se usa las resinas termoestables en polvo, como el fenol formaldehído. Placas modelo para el moldeo, tiene que cumplir unos requisitos mínimos para realizar el moldeo, deben ser buenos conductores y tener una alta resistencia térmica, por lo que suelen ser de fundición.
- **Placas modelo para moldeo en cáscara:** con ellas se obtiene cada una de las mitades del molde. Deben ser de un metal buen conductor del calor, capaz de calentarse y enfriarse sin experimentar deformaciones u oxidaciones apreciables.

2.2.1.2.3. Procedimiento.

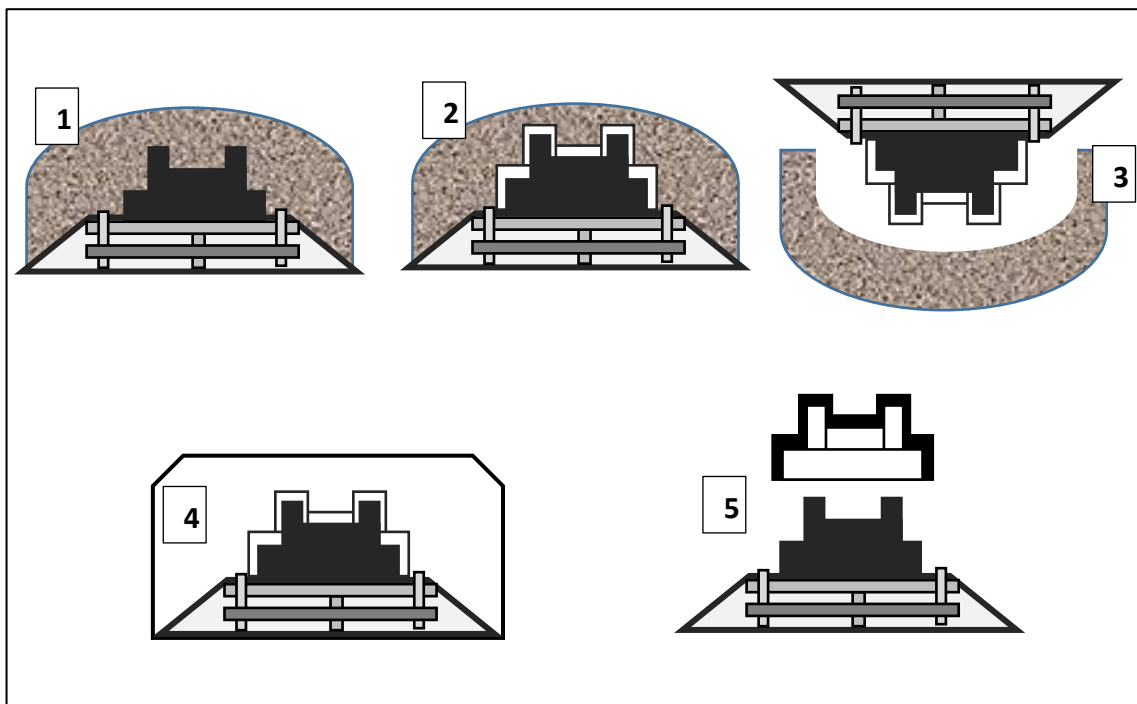
Se realizan en máquinas especiales que esencialmente constan de una caja con depósito en cuya tapa se fija la placa modelo. en primer lugar, se calienta un modelo hecho de metal ferroso o de material aluminio a 175 °C a 370°C, posteriormente se recubre con un agente separador como el silicio y se sujeta a la caja. La caja contiene la arena fina



mezclada con 2.5 a 4% de aglutinante de resina termoestable, que recubre las partículas de arena. La caja se voltea y la mezcla de arena cae sobre la superficie del modelo, permitiendo que la arena recubra dicho modelo. todo el conjunto se coloca entonces en un horno durante un corto periodo de tiempo para completar el curado de la resina, quedando una “cáscara”. En la mayor parte de las máquinas de moldeo en cáscara, el horno es una caja metálica con quemadores de gas, que giran sobre el molde de cascarón para curarlo. El cascarón se endurece alrededor del modelo y es retirado de éste mediante bujes de eyección incorporados. de esta manera se hacen dos medios cascarones, que se pegan o se juntan en preparación para el vaciado. El espesor del cascarón se puede determinar con precisión mediante el control del tiempo de contacto del modelo con el molde. de esta manera, se puede formar el cascarón con la resistencia y rigidez requeridas para que soporte el peso del líquido fundido. Los cascarones son ligeros y delgados por lo general 5mm a 10m, y en consecuencia sus características térmicas son distintas de las de moldes más gruesos.

Figura 1.

Moldeo a la Cascara



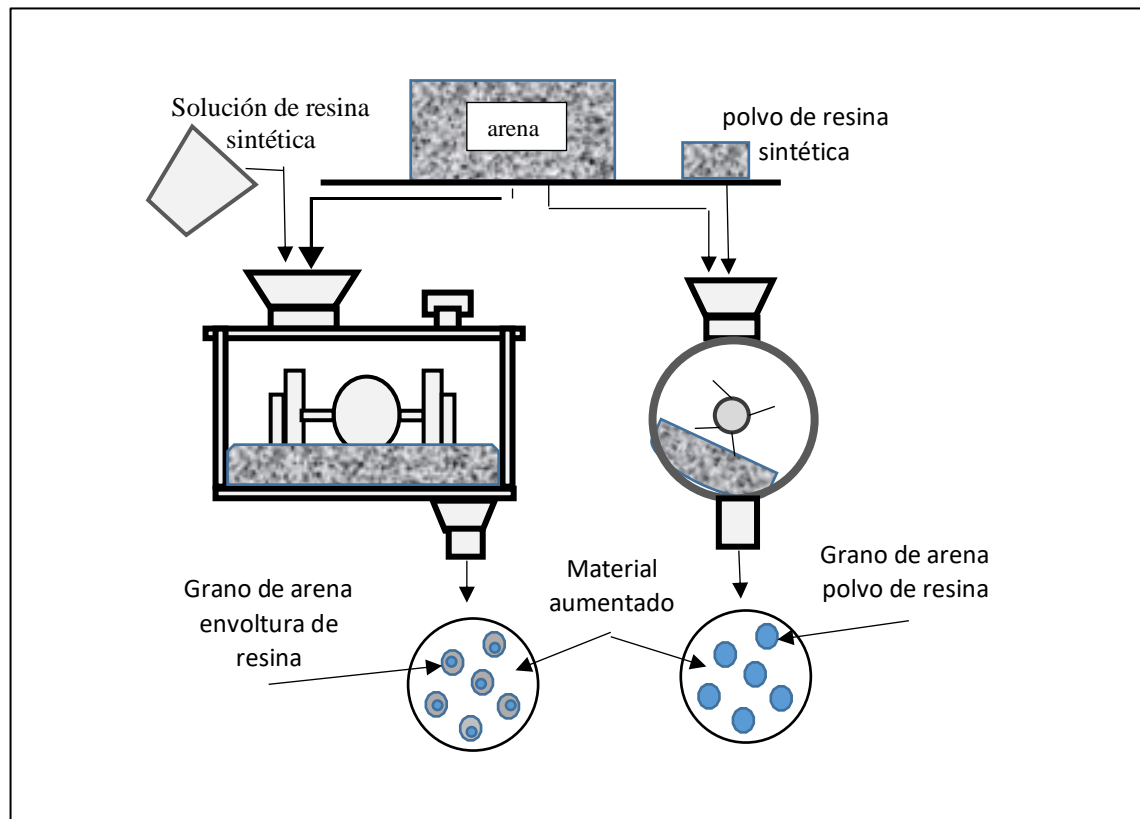
Nota. la figura muestra los pasos para realizar el molde en cascara utilizando una cascara de arena fina con altas composiciones de sílice. Tomado del libro de Serope, k. y Steven, S. manufactura, ingeniería y tecnología.

La arena del cascarón tiene menor permeabilidad que la arena que se utiliza para el moldeo en arena verde, la que para el moldeo en cáscara se utiliza una arena de un tamaño de grano mucho más pequeño. La descomposición del aglutinante del cascarón de arena también produce un elevado volumen de gas; a menos que los moldes estén correctamente ventilados, el aire y los gases atrapados pueden causar serios problemas en el moldeo en cáscara de fundiciones ferrosas. Los moldes en cascarón por lo general se vacían por la línea de partición horizontal y también pueden estar soportados en arena. Las paredes del molde son relativamente lisas, ofreciendo poca resistencia al flujo del metal fundido y produciendo fundiciones con esquinas más agudas, secciones más delgadas y proyecciones más pequeñas de lo que es posible en moldes de arena verde. Con el uso de

sistemas de múltiples compuertas, se pueden producir varias piezas coladas en un solo molde.

Figura 2.

Mescla de la Aren Y Resina Sintética para el Moldeo



Nota. La figura muestra el procedimiento del mesclado de la arena y la resina sintética para obtener un material homogéneo entre arena silícica y resina para un buen molde a la cascara. Tomado del libro de Serope, k. y Steven, S. manufactura, ingeniería y tecnología.

Prácticamente cualquier tipo de metal es adecuado para fundir mediante el proceso de moldeo en cáscara y dependiendo de varios factores de producción puede resultar más económico que los demás procesos de fundición. El costo de los aglutinantes de resina queda compensado en parte por el hecho de que solamente se necesita una vigésima parte de la arena utilizada en comparación con la fundición en arena. el costo relativamente elevado de los modelos de metal se convierte en un factor de poca importancia conforme se incrementa el tamaño de los lotes de producción en cantidades mayores. La elevada

calidad de la pieza terminada puede reducir de manera significativa los costos de acabado, mecanizado, etc. Las aplicaciones del moldeo en cáscara incluyen pequeñas piezas mecánicas que requieren alta precisión, como alojamientos para engranajes, cabezas de cilindros y bielas; el proceso es también ampliamente utilizado en la producción de moldeo de alta precisión.

2.2.1.2.4. Ventajas de la fundición en cascara.

- Buen acabado superficial, eliminando así casi por completo, los defectos superficiales.
- Tolerancias de 0.2% frente al 1.5% en el moldeo ordinario.
- Moldes estables, adecuados para la fabricación en serie.
- Se evita la mecanización de piezas, debido a la gran precisión obtenida en los resultados.
- Se pueden producir formas más complejas con menos mano de obra.
- Automatización del proceso con relativa facilidad.
- Menor necesidad de arena para producir los moldes, lo cual reduce los costos en producciones de amplios lotes.

2.2.1.2.5. Desventajas de la fundición en cascara.

- Costo elevado en la producción de pequeños lotes de piezas o en menores cantidades.
- Las piezas no pueden ser muy voluminosas; las mayores obtenidas son de unos 100 kg.
- Las placas modelo tienen que ser siempre metálicas y con elevada precisión dimensional; por ello resultan caras.
- Las arenas y las resinas son mucho más caras que los materiales empleados en el moldeo ordinario.

- Menor permeabilidad de los moldes.
- El molde produce gases por la descomposición del aglutinante.

2.2.1.3. Fundición En Moldes De Cerámico.

La fundición que se realiza en moldes de cerámica, también conocida ambiguamente como moldeo de cerámica, es un grupo de procesos de fundición de metales que utilizan cerámica como material de molde. Es una combinación de fundición de yeso y fundición de inversión. Hay dos tipos de moldes de cerámica: el proceso Shaw y el proceso Unicast. Estos dos procesos de fundición que se utilizan comúnmente para fabricar herramientas, especialmente matrices de forjado, pero también matrices de moldeo por inyección, matrices de fundición a presión, moldes de vidrio, matrices de estampado y matrices de extrusión. Fundición de moldes de cerámica.

2.2.1.3.1. Proceso de Shaw.

Este proceso Shaw es también conocido como el proceso Osborn-Shaw, utiliza una mezcla homogénea de agregado refractario, silicato de etilo hidrolizado, alcohol y un agente gelificante para crear un molde. Esta mezcla de lechada se vierte en un matraz ligeramente ahusado y se usa un patrón. A continuación, se retiran el matraz y el patrón. Luego, se usa un soplete para encender el molde, lo que hace que la mayoría de los volátiles se quemen y la formación de microcrestas cerámicas (grietas microscópicas). Estas grietas son importantes porque permiten que los gases se escapen y evitan que el metal fluya a través de ellas; también facilitan la expansión y contracción térmica durante la solidificación y la contracción. Después de la combustión, el molde se hornea a 1.800 ° F (980 ° C) para eliminar los volátiles restantes. Antes de verter el metal, el molde se precalienta para controlar la contracción. Fundición de moldes de cerámica.

2.2.1.3.2. Proceso De Unidifusión.

El proceso Unidifusión es muy similar al proceso Shaw, excepto que no requiere que el molde se encienda y luego se cure en un horno. En su lugar, el molde se cura parcialmente para que se pueda quitar el patrón y luego se cura completamente cociéndolo a aproximadamente 1.900 ° F (1.040 ° C). Si se funde un metal con un punto de fusión bajo, entonces se puede omitir la cocción, porque el molde tiene suficiente resistencia en el "estado verde" (sin cocer).

2.2.1.3.3. Características De La Fundición En Moldes De Cerámica.

Las principales ventajas de los moldes de cerámica son: un patrón reutilizable (el elemento utilizado para crear la forma del molde), excelente acabado superficial, tolerancias dimensionales estrechas, secciones transversales delgadas y formas intrincadas que se pueden moldear. Para cortes y otras características difíciles de moldear, parte del patrón se puede hacer con cera junto con un patrón estándar; esencialmente utilizando técnicas de fundición de moldes de cerámica y de inversión juntas. Las principales desventajas son: solo es rentable para tiradas de producción pequeñas y medianas y la cerámica no es reutilizable. Los ferrosos y los no ferrosos de alta temperatura suelen fundirse con estos procesos; otros materiales fundidos incluyen: aluminio, cobre, magnesio, titanio y aleaciones de zinc. Los límites de peso son de 100 gramos a varios miles de kilogramos (3,5 oz a varias toneladas). Son posibles cortes transversales tan delgados como 1,3 mm (0,051 in), sin límite superior. Las tolerancias típicas son 0.1 mm para los primeros 25 mm (0.005 in para la primera pulgada) y 0.003 mm por mm adicional (0.003 in por cada in adicional). Normalmente se requiere un calado de 1 °. El acabado superficial típico es de 75 a 150 mm. RMS.

2.2.1.4. Fundición En Molde De Yeso.

Este tipo de fundición se aplica para la obtención de piezas con alta exactitud al momento de fundirlas.

El molde debe permanecer en reposo alrededor de 20 minutos antes de que se desmonte.

Después el modelo se hornea durante varias horas a fin de eliminar la humedad. Aun con el horneo, no todo el contenido de humedad llega a eliminarse.

La fundición con molde de yeso es similar a la de arena, excepto que el molde está hecho con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en lugar de arena.

Con el yeso se mezclan aditivos como el talco y polvo de sílice para controlar la contracción y el tiempo de preparación, reducir el agrietamiento y aumentar la resistencia.

Aplicación: Se vierte la mezcla de yeso y agua sobre un modelo de plástico o metal

Este proceso consiste en mezclar arena con el yeso y calentar el molde en un horno autoclave (super caliente y a presión) y después dejar que se seque. El molde resultante tiene una permeabilidad mayor.

Así, el producto que se funde en moldes de yeso es notable por tener dichos atributos.

Los modelos de madera son insatisfactorios debido al contacto largo con el agua del yeso.

Molde de metal para plásticos, impulsores para bombas y turbinas y piezas de forma relativamente intrincada.

2.2.1.4.1. Ventajas.

- Se pueden fundir piezas desde 30 [kg] hasta 500 [kg].
- Se pueden reproducir detalles finos y formas complejas.
- La precisión dimensional puede ser de +/- 0.125 [mm].
- Su acabado superficial puede ser hasta de 0.75 [mm].

2.2.1.4.2. Desventajas.

- Solo es posible fundir metales no ferrosos.

- La hechura de los moldes los encarece, al ser muy lentos en su fabricación.

2.2.1.5. Fundición Con Modelo Evaporable.

Este tipo de proceso de fundición de modelo consumible o evaporable se utiliza un modelo de poliestireno; este mismo se evapora al contacto con el material fundido (ya sea de metales ferrosos o No ferrosos) para formar una cavidad para la fundición del metal.

Este proceso se ha convertido en uno de los más importantes para los tipos de metales ferrosos y no ferrosos. este proceso es usado en particular para la industria automotriz.

2.2.1.5.1. Proceso.

- En dicho proceso se colocan perlas de poliestireno crudo desechable (EPS, por sus siglas en ingles).
- El modelo contiene de un 5 a 8 % de pentano (un hidrocarburo volátil).
- En un Dado o matriz precalentando que por lo general está hecho de aluminio.
- El poliestireno se expande y toma la forma de la cavidad del dado o matriz.
- Se aplica más calor a fin de fundir y unir las perlas de poliestireno entre sí.
- Se deja la matriz o dado enfriar y se abre.
- Retirándose el modelo de poliestireno.
- El modelo se recubre con un barro refractario base agua, se seca y se coloca en una caja de moldeo.
- La caja se llena de arena suelta y fina que rodea y soporta el modelo (se puede secarse o mezclarse con agentes aglutinantes para darle una resistencia adicional).
- La arena es compactada de manera periódica.
- Se vacía el metal fundido en el molde.
- Esta acción de inmediato vaporiza al modelo (un proceso de ablación) y llena la cavidad del modelo remplazando completamente el espacio antes ocupado por el modelo de poliestireno.

- El calor degrada al poliestireno y los productos de la degradación se ventilan hacia la arena circundante.

2.2.1.5.2. Ventajas.

- El proceso es relativamente simple porque no existen líneas de partición, machos o corazones, o sistemas de mazarotas. De ahí que tenga flexibilidad de diseño.
- El proceso requiere cajas de moldeo económicas.
- El poliestireno es barato y se puede procesar fácilmente para producir modelos con formas complejas, tamaños diversos y detalles superficiales finos.
- La fundición requiere operaciones mínimas de acabado y limpieza.
- El proceso se puede automatizar y es económico para grandes lotes de producción.

2.2.1.5.3. Desventajas.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta el costo de producción de la matriz que se utiliza al expandir las perlas de poliestireno para fabricar el modelo y la necesidad de dos juegos de herramental. De igual manera, el proceso sirve para nuevos diseños de fundición y no para los diseños existentes.

- Los modelos tienen baja resistencia y son costosos.

2.2.1.6. Fundición A La Cera Perdida.

El moldeo a la cera perdida es un procedimiento escultórico y de bisutería de tradición muy antigua que sirve para obtener figuras de metal (generalmente bronce) por medio de un molde. El cual se elabora a partir de un prototipo tradicionalmente modelado en cera de abeja. Este modelo previo es rodeado de una gruesa capa de material blando que se solidifica; una vez endurecido, se mete en un horno, que derrite la figura tallada de cera, saliendo ésta por unos orificios creados al efecto (de ahí su denominación) y, en su lugar, se inyecta el metal fundido, que adopta la forma exacta del modelo. Para extraer la pieza final es necesario destruir el molde. Gracias a esta técnica de vaciado, es posible conseguir

figuras metálicas, sólidas y duraderas, con detalles que sería imposible lograr por otros medios.

Esta forma de trabajar el metal (bronce), en realidad requiere un largo, costoso y complicado proceso junto con una perfecta y adecuada combinación de diversos oficios: para el proyecto general y la coordinación, los escultores; para los primeros pasos, los moldeadores; para la labor de horneado, los fundidores y para el acabado, los cinceladores y patinadores.

2.2.1.6.1. Moldeo.

Una vez obtenido el modelo final de una determinada figura tallada, va siendo rodeado o forrado de algún material maleable pero que se endurezca poco a poco (ladrillo molido, o escayola o yeso) y que sea refractario. Se van aplicando tantas capas como sea necesario, para crear un molde hermético, de una sola pieza.

Únicamente hay que colocar unos soportes de acero, a modo de puntas, que se claven en el modelo blando del interior y que quedan fuertemente sujetos al molde exterior.

Igualmente se abre un número variable de pequeños orificios, llamados bebederos, que se consiguen colocando canutos de papel encerado, que comunican el interior con el exterior.

Además, está el orificio principal, en forma de embudo.

Actualmente, la primera capa se hace de material cerámico refractario, de gran precisión, compuesto de polvo de sílice, el resto puede ser de ladrillo refractario más basto.

Cuando se ha endurecido el molde definitivo, con sus bebederos y clavos, hay dos posibilidades. Si la escultura va a ser pequeña, se puede verter directamente el bronce fundido. Pero si la figura es monumental, la cantidad de bronce puede ser excesiva, tanto por el coste económico, como por el peso resultante. Por eso es conveniente conseguir que la forma sea hueca.

2.2.1.6.2. Proceso De Fundición.

Al introducir el molde en la mufla (en posición invertida), la cera se derrite y sale por los bebederos o por el orificio principal, pero el macho queda fijado por los clavos manteniendo la misma separación y disposición y dejando un hueco homogéneo entre el alma y el molde. Ese hueco es el que será rellenado por el bronce licuado, al ser vertido por el orificio principal. El bronce debe rebosar por los bebederos, que facilitan la salida de aire, asegurándose de que no queden burbujas, ni restos de cera o escayola. El proceso puede llegar a durar desde decenas horas a varios días, dependiendo del tamaño de la figura (recordemos que las piezas pequeñas pueden fundirse y desmoldarse sin necesidad de macho o alma).

2.2.1.6.3. Desmoldado y acabado.

Una vez enfriados el material fundido y el bloque macizo, se procede al desmoldado, que sólo puede hacerse destruyendo el bloque (puesto que éste es de una sola pieza y no es posible abrirlo sin romperlo). La figura aislada resultante es textura áspera, porosa y seguramente tenga imperfecciones, junto con los restos de los bebederos. Es necesario que el artista corte los bebederos, lime, pulimente y abrillante la superficie (y, si hay huecos hechos por burbujas, se rellenarían con metal fundido y se limarían), hasta lustrar el metal. En la actualidad es común usar arena muy fina proyectada a gran velocidad para el acabado.

Los remates posteriores son tan laboriosos como los de la una obra de orfebrería, y van desde, añadir pátinas y diferentes colores, bien por medio de productos químicos o con aplicación de calor (generalmente, con un soplete, que oxida el metal dándole un tono distinto).

También hola caracola se añaden complementos de todo tipo, por ejemplo, ya desde la Antigüedad clásica, los bronceístas griegos forraban los labios de sus estatuas con cobre,

para que fuesen más rojizos, incrustaban pasta vítrea blanca para dientes y ojos, pasta negra para el iris, se añadían las pestañas. Por supuesto, se hacen cincelados y grabados para los detalles del pelo o imitación de dibujos del ropaje etc. A veces, se incluyen diversos aditamentos, como armamento, símbolos, coronas...

Quizá uno de los ejemplos más interesantes en este sentido sea la escultura de Carlos V dominando al Furor, de Pompeo Leoni: la figura del emperador fue fundida desnuda, heroizada como los antiguos emperadores romanos, pero posee una armadura que es posible quitar y poner fácilmente y que fue elaborada por piezas, aparte.

En efecto, era normal que los grandes conjuntos escultóricos de bronce fueran fundidos por fragmentos separados, tal es el caso de la estatua ecuestre del emperador Marco Aurelio, en el que caballo y humano se hicieron independientemente, así como los arreos, armas y otros ornamentos. Lo mismo puede decirse de la estatua del Gattamelata por Donatello. Sin embargo, ya en el Renacimiento se consiguieron obras sumamente complejas de una sola pieza, como el Perseo, de Benvenuto Cellini, una obra que rebosa virtuosismo técnico y artístico y que supuso un esfuerzo épico para el autor.

2.2.2. Molde Permanente

“La fabricación de modelos es sustituida en gran parte por métodos de ingeniería, siendo en realidad una operación de estampación mediante troqueles. Con ello quedan eliminados la mayoría de los riesgos propios de la fabricación de modelos, al igual que los derivados de la arena, aunque son sustituidos por el riesgo que entraña el uso de cierto tipo de material refractario para revestir el troquel o el molde” (Michael, 2013, p. 82.15)

2.2.2.1. Fundición Al Vacío O Molde En Vacío.

El Moldeo en vacío es una técnica de moldeo en arena en la que no se emplea ningún aglutinante, ya que la pieza queda suficientemente consistente gracias al vacío creado durante su realización en la caja de moldear. Se trata de una técnica relativamente

moderna, ya que surgió en Japón a finales de la década de 1970. Los diferentes tipos de moldeo en arena son los métodos más empleados en lo que a técnicas de moldeo se refiere, y se caracterizan por el empleo de arena común como material de molde. El procedimiento en estos métodos consiste en la formación de un molde (compuesto por dos piezas) apisonando la arena en torno a un patrón cuya forma será la de la pieza proyectada. A estos moldes, además, se les incorporará un sistema de orificios de colada y de aireación, para así permitir el flujo de metal fundido y minimizar posibles defectos internos en la pieza

2.2.2.1.1. Ventajas.

- Es posible la reutilización de la arena, ya que no se emplea ningún aglutinante y además ésta no entra en contacto en ningún momento con la fundición.
- Ausencia de defectos debidos a la humedad y a burbujas de aire.
- Pueden obtenerse altas precisiones dimensionales.
- Casi todos los tamaños y formas de piezas son practicables, así como piezas de pequeñas secciones (hasta aproximadamente unos 2,3 mm) o reproducción de reproducción de pequeños detalles.
- Alta fluidez del metal durante la colada debido a la baja conductividad de la arena.
- Bajo coste de operación.
- La vida de la pieza patrón es muy larga, ya que la arena nunca entra en contacto directamente con ella.

2.2.2.1.2. Desventajas.

- Lentitud del proceso.
- Difícil de automatización.

2.2.2.2. Fundición Hueca.

Es un sistema de producción de piezas metálicas huecas. Consiste en vaciar metal fundido en un molde que es volteado cuando se empieza a solidificar el metal. La solidificación empieza en las paredes relativamente frías del molde y progresa con el tiempo hacia la parte media de la fundición, el metal que no se ha solidificado sale del molde para ser utilizado en otra pieza y el metal solidificado forma las paredes de la pieza. El resultado son paredes delgadas de metal. El espesor del casco se controla por el tiempo que transcurre antes de drenar. La fundición hueca se usa para hacer estatuas, pedestales de lámparas y juguetes a partir de metales de bajo punto de fusión como el plomo, zinc y estaño. En estos artículos lo importante es la apariencia exterior, pero la resistencia y la geometría interior de la fundición no son relevantes.

La fundición hueca es un proceso del grupo de fundición en molde permanente. La fundición en molde permanente usa un molde metálico construido en dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Los moldes comúnmente se hacen de acero o hierro fundido. La cavidad junto con el sistema de vaciado se forma por maquinado en las dos mitades del molde a fin de lograr una alta precisión dimensional y un buen acabado superficial.

2.2.2.2.1. Proceso.

El metal fundido se vacía en el molde de metal, una vez obtenido el espesor deseado de película solidificada, se invierte el molde y el metal líquido restante se extrae, se abren las dos mitades del molde y se retira la fundición.

2.2.2.2.2. Ventajas.

- Altas velocidades de producción.
- Buen acabado de las superficies.
- Enfriamiento rápido.

2.2.2.2.3. *Desventajas.*

- Solo se utiliza para uso ornamental juguetes, estatuillas, etc.

2.2.2.3. **Fundición A Presión.**

Para metales con punto de fusión bajo como el aluminio, latón, bronce, magnesio, zamac, estaño, que son metales no ferrosos, se pueden emplear métodos de fundición que permiten mejores acabados superficiales e incrementar los niveles de productividad (RAMSDEN@, 2006). La mayoría de estos métodos constan de un molde que permite ser reutilizado durante un gran número de ciclos, es el caso de la inyección para metales como el zamac, el aluminio o el magnesio, en el cual el material se introduce a alta presión dentro de un molde metálico logrando un llenado prácticamente perfecto de la cavidad (GERLING, 1979).

El método de fundición a presión es ciertamente el que es usado en la mayoría de las piezas en grandes series de aleaciones no férreas, al más amplio desarrollo. La gran cantidad de piezas que está en condiciones de suministrar y el bajo costo de las mismas, unido a la posibilidad de reducir al mínimo el mecanizado posterior, ha orientado decididamente en este sentido la técnica constructiva, que se vale de este método cada vez que se presenta el problema de producir, a bajo precio, una numerosa serie de piezas, a las que se les exigen importantes características mecánicas y estéticas.

Para la fundición a presión se necesitan máquinas; éstas, aunque se basan todas en el principio común a este procedimiento de colada, consistente en la introducción violenta de cierta cantidad de metal fundido o pastoso en un molde permanente, por medio de una presión ejercida desde el exterior, son variadísimas; pero la técnica moderna se ha orientado hacia unos pocos tipos que se clasifican así:

- a) Máquinas con cámara de presión caliente, o para fundición inyectada.
- b) Máquinas con cámara de presión fría, o para fundición a presión.

2.2.2.3.1. Máquinas Para Fundición Inyectada.

Las piezas que se funden mediante esta técnica son únicas, se necesitan un molde y un modelo para cada fundición, mientras que los modelos de los procesos anteriores son reutilizables.

Sus aplicaciones van desde bases para maquinas hasta la mayor parte de componentes de motores como cigüeñales, mono bloques, cabezas de cilindros, múltiples, componentes para frenos, entre otras cosas; además el proceso recibe el nombre comercial de molde lleno; esto quiere decir, que la cavidad se encuentra ocupada por un modelo de poli-estireno que al contacto con el metal fundido se evapora ocupando ese lugar.

La forma en la que se trabaja con el poli-estireno, es colocando unas perlas de este material dentro de la cavidad que previamente ha sido calentada, una vez que estas alcanzan una temperatura suficiente para alterar la geometría de las perlas, estas se expanden y adquieren la forma de la cavidad, se aumenta la temperatura para fundir las perlas y unir las, al enfriar la cavidad se saca el modelo de poli-estireno que se va fundir. Con este método se pueden producir modelos más complejos uniendo varias secciones del mismo modelo base.

Una vez que se tiene el modelo, se recubre con un lodo refractario a base de agua, se seca y se coloca en una caja de moldeo. Se llena con arena fina suelta para soportar el molde, se aprisiona de manera periódica con el modelo dentro ocupando una cavidad, después se vacía el metal y el poli-estireno es degradado por la acción del calor y todos los gases que ocurren en esa degradación se ventilan hacia la arena circundante.

El llenado del molde depende de la degradación del poli-estireno, ya que la velocidad del flujo del metal fundido se afecta al contacto entre ambos, y se controla añadiendo cavidades huecas que puedan compensar algo de tiempo al pasar el metal fundido por

estos lugares y evitando que el metal se enfríe más rápido, que si se vaciara en una cavidad vacía.

Este proceso tiene muchas ventajas sobre otros métodos de fundición.

- El proceso es simple, no hay sistemas de mazarota, machos o corazones ni mucho menos líneas de partición. Hay mucha flexibilidad para el diseño.
- Las cajas que se utilizan para el moldeo son económicas.
- El costo del poli-estireno es muy bajo, y su manejo es fácil para procesarlo y producir formas complejas, tamaños diversos y detalles superficiales finos.
- La fundición sale con un acabado impecable casi limpio.
- El proceso en si es económico tratándose de una gran producción y se puede automatizar; la única limitante es el costo de la matriz que se usa para expandir las perlas de poli-estireno para fabricar el modelo y la necesidad de dos juegos de herramental.

Estas máquinas están constituidas por dos partes esenciales, una que sirve para el emplazamiento de la matriz y otra (cámara de fusión) para la fusión y la conservación del material líquido. En el interior de esta última está dispuesta la cámara de presión que suministra cada vez la cantidad de metal necesaria para una pieza.

Tales tipos de máquinas se distinguen a su vez en dos categorías:

- 1) Máquinas con cámara de presión por inmersión.
- 2) Máquinas de pistón sumergible.

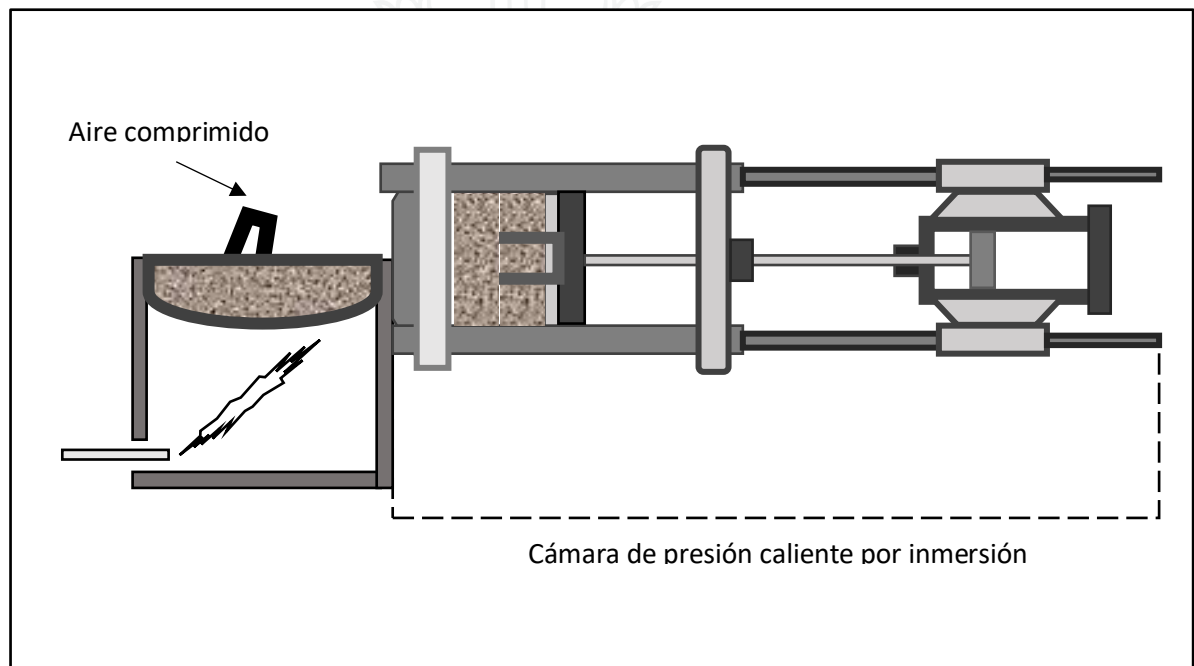
1) Máquina Con Cámara De Presión Por Inmersión:

En las máquinas de este tipo, la cámara de presión O, con forma de trompa y oscilante dentro de la cámara de fundición, está unida a un depósito de aire comprimido, variable entre los 20 y los 60 kg/cm², mediante un tubo flexible S. Por medio de un sistema de palancas, se sumerge la cámara de presión en la cámara de fusión, para llenarla de metal

líquido y comprimirla sucesivamente contra la matriz H, para efectuar la inyección mediante emisiones de aire comprimido. La apertura y el cierre de las matrices lo efectúan mecanismos a propósito L, maniobrados, según la potencia de la máquina, a mano o hidráulicamente.

Figura 3.

Máquina con Cámara de Presión por Inmersión



Nota. La figura muestra una máquina con cámara de presión por inmersión. Tomado del libro de, Fundición A Presión – Universidad De Málaga, (P. 5.2.)

Las máquinas con cámara de presión por inmersión son adecuadas para la fundición de aleaciones de plomo, zinc, estaño y aluminio, y con ellas es posible efectuar la colada de piezas pequeñas y medianas; las casas constructivas más adelantadas tienden, sin embargo, a abandonar la fabricación de este tipo de máquinas para orientarse resueltamente hacia las máquinas de cámara caliente de pistón sumergible y hacia las máquinas de cámara fría, pudiéndose decir que es raro que se construyan ya. Las máquinas que hemos descrito, en efecto, aparte de ser más bien lentas (la producción

máxima es de 40 a 60 piezas por hora), presentan algunos inconvenientes que están implícitos en el sistema mismo de funcionamiento.

Para llenar la cámara de presión se toma el metal de la superficie y, por consiguiente, escorias y óxidos pueden entrar con facilidad junto con el metal en la matriz y comprometer así la obtención perfecta de las piezas.

En el caso de las aleaciones de aluminio, el hierro procedente de la fundición de la que están constituidas las cámaras de fusión y de presión, debido a la elevada temperatura de colada (750 C), y la velocidad de inyección del metal, tiende a pasar en solución al baño, por lo que produce, además de un notable desgaste de las partes de la máquina que están en contacto con el metal fundido, la contaminación del metal, lo que resulta absolutamente indeseable por la desfavorable acción del hierro, sea sobre las características mecánicas de la aleación, sea sobre las características técnicas.

2) Máquinas De Pistón Sumergible:

Estos tipos de máquinas han sido ideadas para la producción de piezas de aleaciones de plomo, estaño y zinc, y, aplicando algunos mecanismos particulares para proteger el material contra la oxidación, el magnesio. No son, en cambio, adecuadas para la fundición de piezas de aleaciones de aluminio. En la figura 4 puede verse un esquema de máquinas de este tipo.

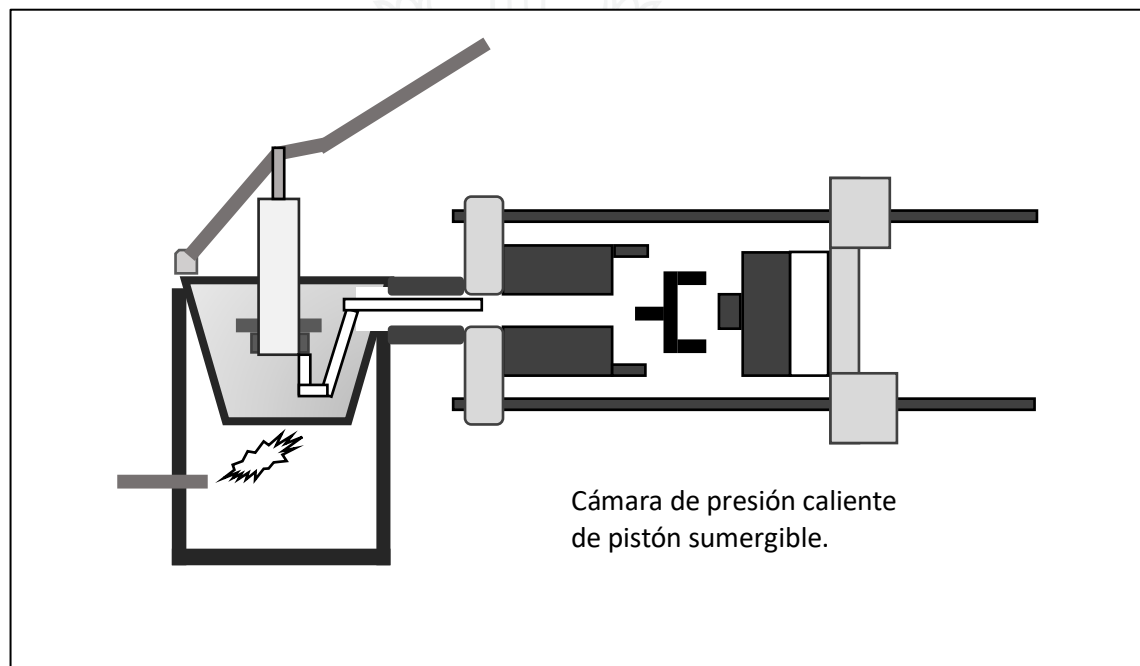
La apertura y cierre de las matrices, que en las máquinas más pequeñas se efectúan con dispositivos mecánicos a mano, en las máquinas de mayor potencia se realizan mediante mandos hidráulicos; en algunas máquinas, dispositivos especiales regulados a tiempo permiten efectuar automáticamente y sin interrupción entre un ciclo y otro, la inyección, la apertura y el cierre de las matrices.

De ello deriva una grandísima rapidez de producción que, en máquinas muy pequeñas y con piezas sencillas de pocos gramos, consigue llegar hasta las 1000 piezas por hora. La presión ejercida por el pistón en el metal oscila generalmente, según las máquinas, entre

los 40 a los 150 kg/cm². También cualitativamente la producción efectuada con este tipo de máquinas es mejor, porque la posibilidad de efectuar la inyección sin mezclar el metal con el aire se traduce en una ventaja para la compacidad y, por consiguiente, para las características de las piezas.

Figura 4.

Máquina de Pistón Sumergible.



Nota. La figura muestra las etapas del funcionamiento de la máquina de pistón sumergible. Tomado de Fundación A Presión – Universidad De Málaga, (p. 5.3.)

2.2.2.3.2. Máquinas De Cámara Fría.

En este procedimiento, el metal, contenido en un horno normal, a propósito, para el material a fundir, es sacado cada vez a mano con una cuchara y echado en la cámara de presión Q, en donde es comprimido contra la matriz B, por un pistón E movido hidráulicamente. La presión ejercida sobre el metal fundido varía en estas máquinas, según la potencia, de los 150 a los 1500 kg/cm², y la posición del pistón puede ser lo mismo vertical que horizontal.

La máquina es semiautomática, no obstante, se están adaptando dispositivos de llenado, que tienden a una automatización del proceso. En efecto, el metal es producido y mantenido fuera de la máquina (horno de crisol, inducción, etc.) y es vertido en el cilindro de presión por uno de los siguientes procedimientos:

- a) Con cazo, manual o mecánicamente.
- b) Por horno basculante y canal de conducción.
- c) Mediante un crisol hermético, actuando la presión neumática en la superficie del baño, que hace circular el caldo por un tubo de elevación y canal de conducción.
- d) Por medio de una bomba electromagnética.

2.2.2.4. Fundición Centrifuga.

“El proceso de colada centrífuga es adecuado para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, por ejemplo, tubos, cilindros, casquillos y cojinetes” (GERLING, 1979). “Las piezas de forma simétricas se prestan particularmente para este método, aun cuando se pueden producir otros muchos tipos de piezas fundidas.” (INDUSTRIALUSM@)

El metal fundido es vertido caliente y fluido en su estado líquido en la temperatura de colada del metal, esto en una espiral que se transforma inmediatamente en una capa regular y continua del metal líquido, mantenida en forma cilíndrica por las fuerzas de inercia centrífugas creadas por la rotación de la coquilla. Esta fuerza centrífuga que se desarrolla lanza el metal líquido contra las paredes del molde y aumenta su presión, facilitando el llenado de los huecos y la solidificación en este estado. Simultáneamente se refrigera la coquilla por su exterior para absorber el calor y bajar la temperatura de la fundición hasta la temperatura de solidificación. En el curso de su enfriamiento, el metal líquido sufre una contracción térmica progresiva. El enfriamiento que sigue tiene como efecto una contracción térmica suplementaria del elemento sólido, que se despega de la coquilla y puede entonces extraerse. Tiene una mayor fiabilidad que piezas de fundición

estática. Son relativamente libre de la porosidad del gas y la contracción. Muchas veces, los tratamientos de superficie, como carburación, temple y nitruración tiene que ser utilizado cuando un desgaste superficie resistente debe combinarse con una superficie dura y resistente exterior. Una de estas aplicaciones es la tubería bimetálica compuesta por dos concéntricos separados, capas de diferentes aleaciones y metales unidos entre sí. Estos tubos pueden ser económicamente utilizados en muchas aplicaciones y puede ser producido por el proceso de fundición centrífuga. Las características de la fundición dependen de varios parámetros que deben controlarse para tener una producción uniforme. Estos factores son, principalmente:

- La temperatura de colada
- La composición del material a utilizar

Las instalaciones suelen ser muy costosas y sólo se amortizan fabricando grandes series. Este método de conformación por moldeo tiene su génesis en el desarrollo de las tuberías para saneamiento.

La colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, por ejemplo, tubos, cilindros, y también casquillos de cojinete. El proceso es adecuado para la producción de estructuras de gran diámetro - tubos de petróleo, instalaciones de la industria química y suministro de agua, etc. Existen distintos moldes o matrices para trabajar en la fundición centrífuga uno de los más utilizados y con mayor rendimiento es el de caucho vulcanizado, mediante estas matrices de secciones circulares y diámetro rabiados dependiendo del tipo de centrífuga, se pueden obtener mucha cantidad de piezas en una sola colada. Para trabajar con este material es esencial el uso de metales de bajo punto de fusión como lo es el zamak, utilizado para joyería y bisutería.

2.2.2.4.1. Ventajas.

- Uniformidad por las propiedades del metal a utilizar.

- Se utiliza menos material que con otros procesos.
- No hay necesidad de montante.
- Se logran las dimensiones requeridas en el exterior de la fundición.
- Se producen menos desechos.

2.2.2.4.2. Desventajas.

- Es necesaria la utilización de un equipo extra para lograr la rotación del molde.
- El interior de las piezas suele contener impurezas.

2.3. FUNDICIÓN CENTRIFUGA

2.3.1. Historia De La Fundición Centrifuga

Ya al principio del siglo XIX nació la idea de emplear la fuerza centrífuga para fundir los objetos de metal; perteneció a Antonio Eckhardt (patente en el año 1809), pero la insuficiencia técnica de las máquinas frenaba su aplicación práctica por la imposibilidad de conseguir el número necesario de revoluciones que dieran la fuerza centrífuga necesaria. En el año 1848 fue otorgada la primera patente en los Estados Unidos a T.G. Lovegrove, de Baltimore. Poco después de progresar la técnica Fernando Arens, en colaboración con Sensaud de De Lavaud, en Brasil, lograron por fin, en 1914, aplicar la fuerza centrífuga en la fundición de metales a escala industrial. Desde el año 1915 se fabrican en Argentina, en los talleres Tamet, tubos centrifugados con una máquina de tipo Arens y De Lavaud. En 1867 Joseph Monier puso en circulación los tubos de hormigón armado. En 1913 los italianos Diego Matteo y Adolfo Mazza ofrecieron otra variedad de tubos de cemento. Últimamente, la técnica de la construcción se enriqueció con muestras de vidrio termoaislante como material básico en la fabricación. Bloques de vidrio huecos, placas de revestimiento y paneles decorativos hicieron su aparición. En 1941 N. P. Waganoff fabricó tubos de vidrio por el método de centrifugación, que, por la sencillez de la fabricación y por el bajo coste de la misma,

supuso una revolución en los métodos de fundición. En la actualidad este tipo de fundición está muy desarrollada y extendida, pudiéndose encontrar una gran variedad de productos realizados con este método.

La fundición centrífuga se refiere a varios métodos de fundición caracterizados por utilizar un molde que gira a alta velocidad para que la fuerza centrífuga distribuya el metal fundido en las regiones exteriores de la cavidad del dado. El grupo incluye:

- Fundición centrífuga real.
- Fundición semicentrífuga
- Fundición centrifugada o centrifugado.

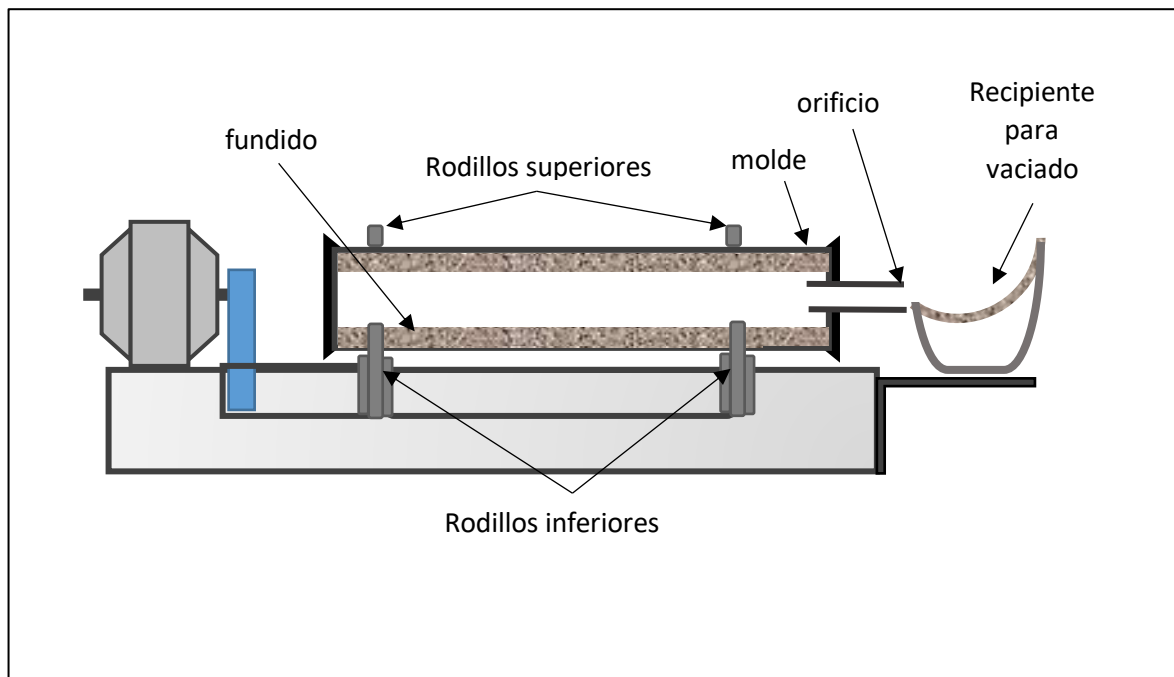
2.3.2. Fundición Centrífuga Real

En la fundición centrífuga real, el metal fundido se vacía en un molde que está girando para producir una parte tubular. Ejemplos de partes hechas por este proceso incluyen tubos, caños, manguitos y anillos. Este método se ilustra en la figura 5, El metal fundido se vacía en el extremo de un molde rotatorio horizontal.

La rotación del molde empieza en algunos casos después del vaciado. La alta velocidad genera fuerzas centrífugas que impulsan al metal a tomar la forma de la cavidad del molde. Por tanto, la forma exterior de la fundición puede ser redonda, octagonal, hexagonal o cualquier otra. Sin embargo, la forma interior de la fundición es perfectamente redonda (al menos teóricamente), debido a la simetría radial de las fuerzas en juego.

Figura 5.

Esquema de una Fundición Centrifuga Real.



Nota. La figura muestra las partes de una centrifugadora real, indicando o señalando los nombres de cada parte que compone dicha máquina. Tomado de Begeman. Procesos de manufactura. México. Compañía editorial continental S.A. de C.V. (p.143)

Figura 6.

Cámara Porta Molde del centrifugado.



Nota. En la figura se puede apreciar la cámara de centrifugado, las bases circulares inferior y exterior son para hacer presión al molde.

La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical, pero esta última es la más común. Para que el proceso trabaje satisfactoriamente se calcula la velocidad de rotación del molde en la fundición centrífuga horizontal. La fuerza centrífuga está definida por la ecuación:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

$$GF = \frac{F}{W} = \frac{mv^2}{Rmg} = \frac{v^2}{Rg}$$

Donde:

F: fuerza (N).

m: masa (kg).

v: velocidad.

R: radio del molde.

W: masa por gravedad = peso.

g: aceleración de la gravedad.

El factor G GF es la relación de fuerza centrífuga dividida por el peso.

La velocidad v puede expresarse como $2\pi RN / 60 = \pi RN / 30$, donde N velocidad rotacional rev/min. Al sustituir esta expresión obtenemos.

$$GF = \frac{R \left(\frac{\pi N}{30}\right)^2}{g}$$

Con un arreglo matemático para despejar la velocidad rotacional N y usando el diámetro D en lugar del radio, tenemos.

$$N = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$$

Donde:

D: diámetro interior del molde (m)

N: velocidad de rotación (rev/min)

Si el factor-G es demasiado bajo en la fundición centrífuga, el metal líquido no quedará pegado a la pared del molde durante la mitad superior de la ruta circular, sino que “lloverá” dentro de la cavidad. ocurren deslizamientos entre el metal fundido y la pared del molde, lo cual significa que la velocidad rotacional del metal es menor que la del molde. Empíricamente, los valores de $GF = 60$ a 80 son apropiados para la fundición centrífuga horizontal, aunque esto depende hasta cierto punto del metal que se funde.

2.3.3. *Fundición Centrífuga Vertical*

El efecto de la gravedad que actúa en el metal líquido causa que la pared de la fundición sea más gruesa en la base que en la parte superior. El perfil interior de la fundición tomará una forma parabólica. La diferencia entre el radio de la parte superior y del fondo se relaciona con la velocidad de rotación como sigue:

$$N = \frac{30}{\pi} = \sqrt{\frac{2gl}{R_i^2 - R_b^2}}$$

Donde:

L: longitud vertical de la fundición (m).

R_t: radio interno de la parte superior de la fundición (m).

R_b: radio interior en el fondo de la fundición (m).

Se puede usar la ecuación del centrifugado para determinar la velocidad rotacional requerida para la fundición centrífuga vertical, dadas las especificaciones de los radios internos en la parte superior y en el fondo. De la fórmula se desprende que para igualar a R_t, y a R_b, la velocidad de rotación N tendría que ser infinita, lo cual desde luego es imposible. En la práctica es conveniente que la longitud de las partes hechas por fundición centrífuga vertical no exceda de dos veces su diámetro. Esto es satisfactorio para bujes y

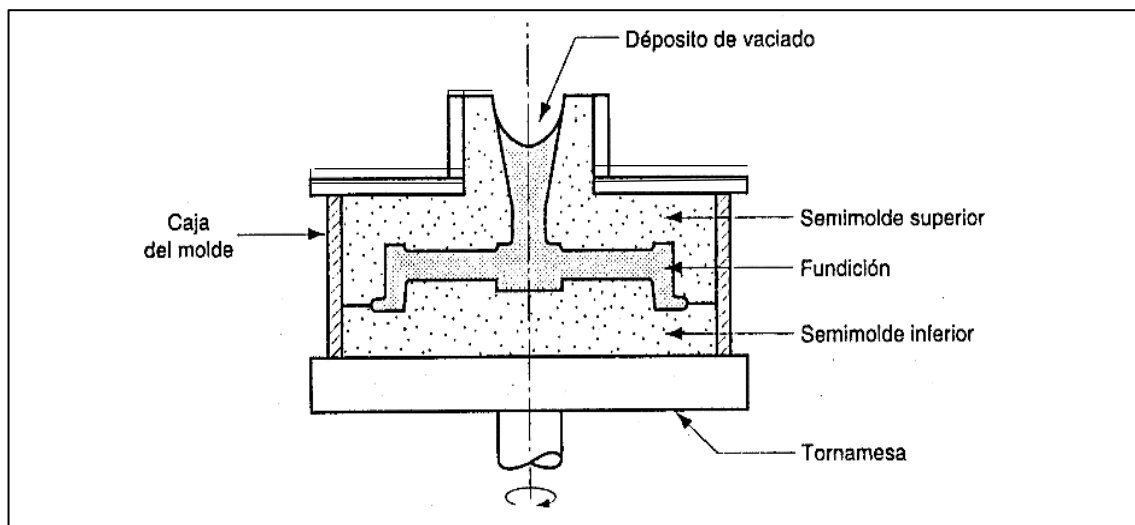
otras partes que tengan diámetros grandes en relación con sus longitudes, especialmente si se va a usar el maquinado para dimensionar con precisión el diámetro interior.

Las fundiciones hechas por fundición centrífuga real se caracterizan por su alta densidad, especialmente en las regiones externas de la pieza, donde F es más grande. La contracción por solidificación en el exterior del tubo fundido no es de consideración, debido a que la fuerza centrífuga relocaliza continuamente el metal fundido hacia la pared del molde durante la congelación. Cualquier impureza en la fundición tiende a ubicarse en la pared interna y puede eliminarse mediante maquinado si es necesario.

Fundición semicentrífuga En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares, como se muestra en la figura 2.14. La velocidad de rotación se ajusta generalmente para un factor- G alrededor de 15, y los moldes se diseñan con mazarotas que alimenten metal fundido desde el centro. La densidad del metal en la fundición final es más grande en la sección externa que en el centro de rotación. El centro tiene poco material o es de poca densidad. Por lo regular el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente, excluyendo así la porción de más baja calidad. Los volantes y las poleas son ejemplos de fundiciones que pueden hacerse por este proceso. Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semicentrífuga, como sugiere nuestra ilustración del proceso.

Figura 7.

Esquema de una Fundición Centrifuga Vertical.



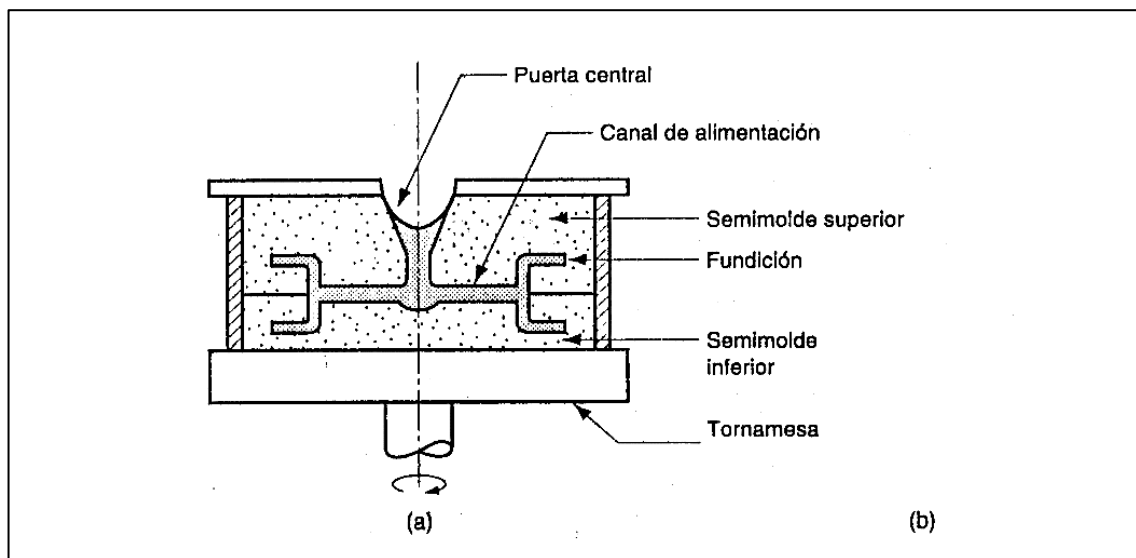
Nota. Depósito de vaciado, es el orificio por donde ingresa el zamak fundido con dirección hacia las cavidades del molde; los semimoldes, son dos pares del molde que lleva la parte superior e inferior del molde más conocido como macho y hembra; fundición, es la cavidad del molde que es llenado por el material fundido; caja, es la que soporta el molde; tornamesa, es la que está conectada al eje del centrifugado principal.

2.3.4. Fundición Centrifugada

Es un sistema donde por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de cavidades colocadas simétricamente en la periferia (figura 8.) de manera que la fuerza centrífuga distribuya la colada del metal entre estas cavidades. El proceso se usa para partes pequeñas, la simetría radial de la parte no es un requerimiento como en los otros dos métodos de fundición centrífuga.

Figura 8.

Fundición Centrifugado de Piezas Pequeños



Nota. En la figura se muestra la colada de la fundición centrifugado, (a) es el proceso de centrifugación, (b) es la pieza obtenida por medio del centrifugado.

2.3.5. Equipamiento

En el proceso de fundición centrífuga los elementos y sistemas que constituyen van adheridos al sistema de giro o centrifugado del equipo.

Todo depende de la pieza que se desea obtener, los parámetros de trabajo se adecuan al tipo de centrifugado y material a fundir.

Una máquina de fundición centrífuga debe ser capaz de llevar a cabo 4 operaciones exactamente y repetirlas cuantas veces sea necesario.

- ✓ El molde debe girar a una velocidad predeterminada.
- ✓ Debe haber un medio para verter el metal fundido dentro del molde en rotación.
- ✓ Una vez vertido el metal fundido, la velocidad de rotación en el molde debe ser establecida para obtener una solidificación adecuada.
- ✓ Debe existir una salida que permita extraer la fundición solidificada del molde.

2.3.6. *Moldes*

El molde debe de estar constituido por 4 partes: la concha, el vertedero o boquilla, las ranuras para rodillo y las tapas a los costados. Sabiendo que el proceso continúa en constante evolución y optimización, habrá partes que se tengan que cambiar para hacer más eficiente el proceso.

En el caso del ensamble para centrifugadoras horizontales los rodillos de giro permiten intercambiar las ranuras para colocar los rodillos a diferentes distancias, y así poder utilizar diferentes tipos y tamaños de moldes y llegar a los ajustes finos. La manera más fácil de enfriar, es por medio de atomizadores de agua, que se pueden dividir para seleccionar el enfriamiento adecuado.

De acuerdo a la geometría del modelo y tamaño se utilizan diferentes tipos de moldes, también se debe tomar en cuenta la cantidad de fundiciones necesarias que se realizara con el molde, ya que puede comenzar a degradarse el material del cual está hecho el molde después de un número determinado de fundiciones; además de tener en cuenta las características del metal o aleación que se va a ocupar.

Los moldes que se usan en este tipo de fundiciones son principalmente permanentes, sin embargo, en algunos casos se llegan a utilizar moldes de tipo desechable.

Los materiales más comunes para moldes permanentes dependen del tipo de fundición centrífuga que se va usar en el proceso, porque se tiene dos tipos de proceso la fundición centrífuga vertical y la fundición centrífuga horizontal.

2.3.6.1. Molde Para Fundición Centrifuga Vertical.

2.3.6.1.1. Moldes De Caucho Y Silicón.

Los moldes de caucho son para piezas que se obtendrán en metales de bajo punto de fusión como el zamak y el aluminio estos moldes en su mayoría pueden venir pre diseñados de fabrica porque son para piezas comunes del mercado.

Figura 9.

Moldes de Caucho y Silicon.



Nota. En esta figura se aprecia dos tipos de molde una de ellas es de silicón y la otra de caucho.

2.3.6.2. Moldes Para Fundición Horizontal.

2.3.6.2.1. Moldes De Acero.

Este material es usado para fundir cantidades grandes de piezas repetitivas y para algunas fundiciones de aleaciones que requieren condiciones específicas de solidificación.

Su mayor desventaja de usar moldes en este tipo de material es los choques térmicos que podrían ocurrir; ahora existen recubrimientos con base de alúmina o zirconia que se usan para tratar de disminuir esos choques térmicos al molde y mejorar la calidad superficial del mismo.

El recubrimiento del molde es muy importante para la regulación de la solidificación de algunas fundiciones de materiales. La evolución de estos recubrimientos ha hecho que surjan nuevos materiales cerámicos que comienzan a emplearse.

2.3.6.2.2. Moldes De Cobre.

Este tipo de material es usado En la mayoría de las veces por su alta conductividad térmica. Pero existen algunos problemas por los cuales no siempre son los apropiados, uno de ellos es, su alto costo de adquisición y la dificultad para realizar los cálculos de las dimensiones correctas de estos moldes, lo que los limita en su campo de aplicación.

2.3.6.2.3. Moldes De Grafito.

Los moldes de grafito son una solución económica para la arena en la producción de partes en pequeñas cantidades. El grafito es el material del molde que se elige en las fundiciones de bronce con 80% Cu, latones con alto contenido de fosforo y otras aleaciones de cobre. Una característica que le hace ser un buen material es su excelente conductividad térmica y resistencia a los choques térmicos, además de su alta maquinabilidad, sin embargo, se debe tener cuidado especialmente con estos moldes para mantenerlos por debajo de la temperatura de oxidación del grafito.

2.3.7. Parámetros De Fundición

2.3.7.1. Temperatura De Fundición.

Es la temperatura necesaria que se requiere para llevar a un metal a su estado líquido o estado de fusión y esta temperatura es medida en dos medidas universales de medición, grados centígrados y Fahrenheit, al metal u otro material se lleva a este estado con el fin de moldear una pieza que se desea obtener.

Para determinar la temperatura correcta de colado se recomienda usar la siguiente ecuación.

$$L = 2.4\Delta T + 110$$



Donde:

L: largo del conducto de fluido.

ΔT : temperatura de sobrecalentamiento °C.

Esta ecuación se usa particularmente para aleaciones ferrosas y resulta en temperaturas de fundición que se encuentren entre 50 y 100 [°C] por encima de la temperatura de fundición. Las temperaturas de fundición ya puestas en práctica se deben mantener lo más bajo posible, sin llegar al resultado de la formación de defectos por la misma baja temperatura. En cuanto al funcionamiento del molde de acero que se desarrolló en este trabajo, y sabiendo que se harán pruebas con aluminio puro 99%, se llegó a la conclusión de que el material se llevaría a una temperatura por encima de la de fusión, similar a la de un material ferroso, es decir, alrededor de 100 [°C]. Esto puede asegurar que el material no se degradará por sobrepasar la temperatura de fusión y al mismo tiempo será suficiente para trasladarlo del horno de fundición al vertedero, sabiendo que habrá una baja de temperatura considerable, pero suponiendo que se logrará una fundición impecable y casi libre de defectos.

Cuando se vacía el metal, se tienen que controlar dos fenómenos que se presentan: fundir a altas temperaturas requiere altas velocidades de rotación, esto con la finalidad de evitar el deslizamiento del material; de la misma manera, si se funde a bajas temperaturas se pueden formar anillos por la casi instantánea solidificación y formación de porosidad por gases atrapados. La temperatura de la fundición influye directamente en la tasa de solidificación, por ende, afecta la cantidad de segregación que se lleva a cabo.

Como ya se mencionó, el zamak debe fluir a través del vertedero con suficiente temperatura de colada para alcanzar la solidificación dentro del molde y evitar que se formen anillos por la rapidez de enfriamiento antes de llenar por completo el molde. En cambio, si no se alcanza la temperatura adecuada antes de vaciar, se observará la

formación de grumos que no son otra cosa más que material que aún no se funde y alentará el vaciado.

2.3.7.2. Temperatura Del Molde.

Existen numerosas investigaciones que estudian la relación entre la temperatura inicial de colado del molde y la estructura final que toma el molde.

La temperatura inicial del molde varía depende del metal a colar y principalmente depende del tipo de molde a usar, también tiene que ver mucho las características del molde, espesor, ancho, grosor de pared, entre otros. En nuestra investigación la temperatura inicial del molde no afectará en nada porque el usado será de material silicón.

2.3.7.3. Velocidad De Rotación.

Para los materiales fundidos por este proceso, son vertidos en moldes que giran en velocidad circular centrados en un eje, dentro del molde lo que se generan son las fuerzas G que varían de 75 a 120 G o fuerza de gravedad y está se encarga de distribuir uniformemente el material fundido por todo el molde.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. *En Fundición*

- Horno de crisol.
- Crisol.
- Quemador de gas.
- Gas propano.
- Tenazas de extracción de crisol.
- Soplete de calentamiento.
- Material para fundir (zamak).

3.1.2. *En Coladora Centrifuga*

- Equipo de colación centrifuga.
- Moldes de silicón.
- Cucharon de vaciado.
- Escobilla.
- Limas.

3.2. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACION

3.2.1. *Diseño De La Investigación*

La metodología a usar según el propósito es **descriptivo** y **experimental** porque se trata de describir los procesos a realizarse en la fundición centrifuga del zamak y diseñar la experimentación con tres variables para la optimización del proceso, obtener piezas de buena calidad al menor costo, en el desarrollo de la investigación se realiza la medición, diseño, experimentación y optimización.

El diseño de la investigación constara de los siguientes pasos:

1. Análisis e investigación bibliográfico
2. Realizar cálculos del proceso.
3. Identificación de las variables.
4. Diseño del experimento.
5. Experimentación.
6. Optimización de las variables.
7. Interpretación de resultados.
8. Documentación.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Población

Para el presente trabajo de investigación, la población es constituida por la cantidad de 2 equipos usados en fundición; horno de fundición y coladora centrífuga.

3.3.2. Muestra

Se define la muestra como parte que se estudió y es representativa de la población, tiene características y propiedades de la población, por tanto, la muestra representa los parámetros y las variables del estudio para la optimización del proceso y así poder obtener piezas fundidas de calidad y al menor costo. Posteriormente la muestra será llevada a diseño de experimentación para su optimización.

3.4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Ubicación

La investigación a realizarse es en la empresa “D&G mármoles y granitos” que se encuentra situado al sur-este de la capital de provincia de la ciudad de Juliaca, en la zona norte del departamento de Puno y en la parte sur del territorio peruano. Sus coordenadas

geográficas UTM 19S 380965.57 8283571.38, WGS84 zona 19L, de ubicación en las siguientes coordenadas 15°31'21.1"S 70°06'35.7"W, con una altitud de 3825 m.s.n.m.

3.4.2. Descripción De La Investigación

En la presente investigación se pretende utilizar la fundición centrífuga para obtener un producto final de buena calidad y a menor costo. esta investigación consta de ocho etapas que plantea la metodología experimental.

- 1ª Etapa: Esta etapa será la más importante para obtener la información necesaria para entender el proceso de la función y dar soluciones a cualquier problema que se presente, formará la base del estudiador.
- 2ª Etapa: En esta etapa se realizarán todos los cálculos del proceso empezando del diseño y dimensionamiento del proceso de fundición con el fin de poder encontrar las variables y los parámetros que se puedan optimizar para un proceso adecuado.
- 3ª Etapa: En esta etapa se identificarán los parámetros y variables que se puedan optimizar para producir piezas de zamak de buena calidad y al menor costo.
- 4ª Etapa: En esta etapa se diseñará el experimento de cribado, factorial 2^3 con 12 pruebas y 4 puntos centrales, considerando 3 variables o parámetros; con la ayuda de un software de estadística Statgraphics para obtener la cantidad de pruebas o experimentos a realizar.
- 5ª Etapa: En esta etapa se realizará la experimentación con los valores obtenidos en la cuarta etapa. También se realizará la fundición con los parámetros recomendados en el diseño de cribado factorial 2^3 .

- 6ª Etapa: En esta etapa se realizará la optimización de los parámetros de colación con las 12 pruebas y 4 puntos centrales obtenidos en el diseño factorial 2^3 del software Statgraphics.
- 7ª Etapa: En esta etapa se interpretará los resultados obtenidos del software Statgraphics.
- 8ª Etapa: En esta etapa final se documentará todo lo calculado teórico y práctico del proceso y los resultados se presentarán en cuadros.

3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Es como y que medios se usaron para la obtención de la información que es de utilidad para la corroboración de nuestra hipótesis.

3.5.1. Técnicas

- Revisión Bibliográfica:

Esta técnica nos permite la recolección y sistematización de la información bibliográfica de: foros, blogs, tesis, video tutoriales y más fuentes de información en la red.

- Observación:

Esta técnica es primordial para recabar información primaria, debido a que se pudo interactuar con la realidad a través de la observación como capturas a pantalla, reajuste de las ecuaciones de dimensionamiento de equipos de fundición, el proceso en sí de la fundición, y optimización del proceso, apuntes de pruebas y fotografías.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCION DEL ZAMAK 3 UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS

4.1.1. Composición del zamak 3

Tabla 1.

Composición en Porcentajes del Zamak 3

ELEMENTO	%
Aluminio	3.5 – 4.3
Cobre	0.25
Magnesio	0.02 – 0.05
Hierro(max.)	0.1
Plomo(max.)	0.005
Cadmio(max.)	0.004
Estaño(max.)	0.003
Zinc	Mayor %

NOTA. La tabla muestra la composición química de los elementos aleantes que se encuentran presentes en el zamak de tipo 3 que será usado para las pruebas.

4.1.2. Propiedades Físicas

Tabla 2.

Propiedades Físicas del Zamak 3

PROPIEDADES FISICAS		
Densidad a 20°C	g/cm ³	6.6
Intervalo de fusión	°C	380-386
Temperatura de colada	°C	410-430
Contracción al solidificar	%	0.6
Coeficiente de dilatación	X 10 ⁻⁶ k ⁻¹	27.4
Calor de fusión	KJ/kg	105
Calor específico	J/kg x K	419
Conductividad térmica	W/m x K	108
Conductividad eléctrica	%IACS	26
Coeficiente de fricción	--	0.08
Contracción en modelo de inyección	%	4-6
Entalpia de fusión	KJ/mol	7.322
Entalpia de vaporización	KJ/mol	115.3

NOTA. La tabla muestra las propiedades físicas del zamak de tipo de 3 que será usado en las pruebas de optimización y diseño.

4.1.3. Propiedades Mecánicas

Tabla 3.

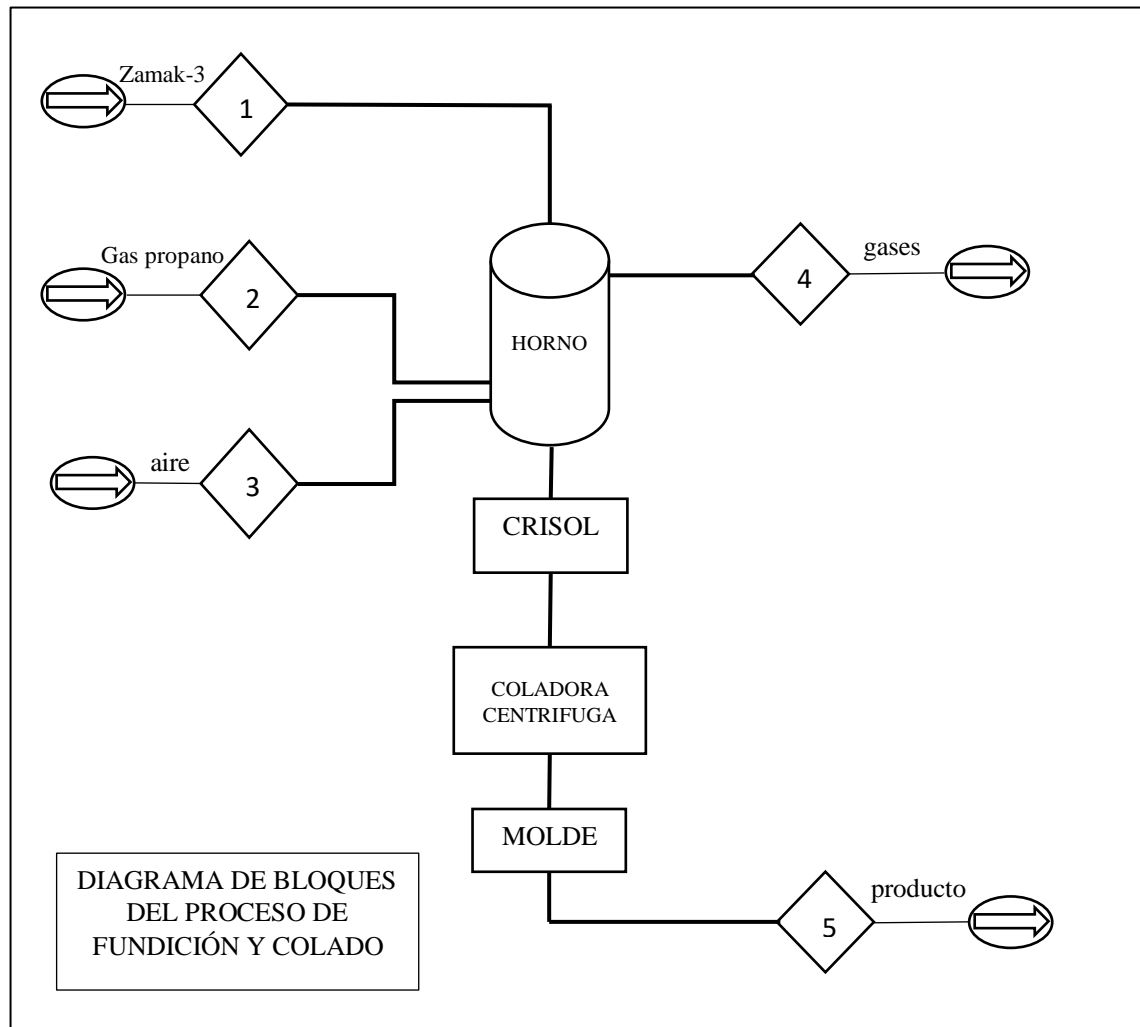
Propiedades Mecánicas del Zamak 3

PROPIEDADES MECANICAS		
Resistencia a la tracción	N/mm ²	280 – 350
Alargamiento	%	3 – 8
Dureza Brinell	--	85 – 105
Resistencia al impacto	J	65

NOTA. La tabla muestra las propiedades mecánicas del zamak de tipo 3.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.

4.2.1. Diagrama de Bloques del Circuito de Fundición



El diagrama muestra el proceso de fundición y colación centrifuga.

Donde:

1 – Esta es la primera etapa donde se prepara la materia prima para ingresar al horno para la fundición.

2 – Esta es la zona donde de almacenamiento de gas propano para que alimenta al quemador del horno.

3 – En esta zona se encuentra instalado el ventilador, esto es encargado de proporcionar el aire que en el trayecto de su alimentación es mezclado con el gas propano y proporcionar un poder calorífico al horno.

4 – representa a la salida de los gases producidos en el interior del horno.

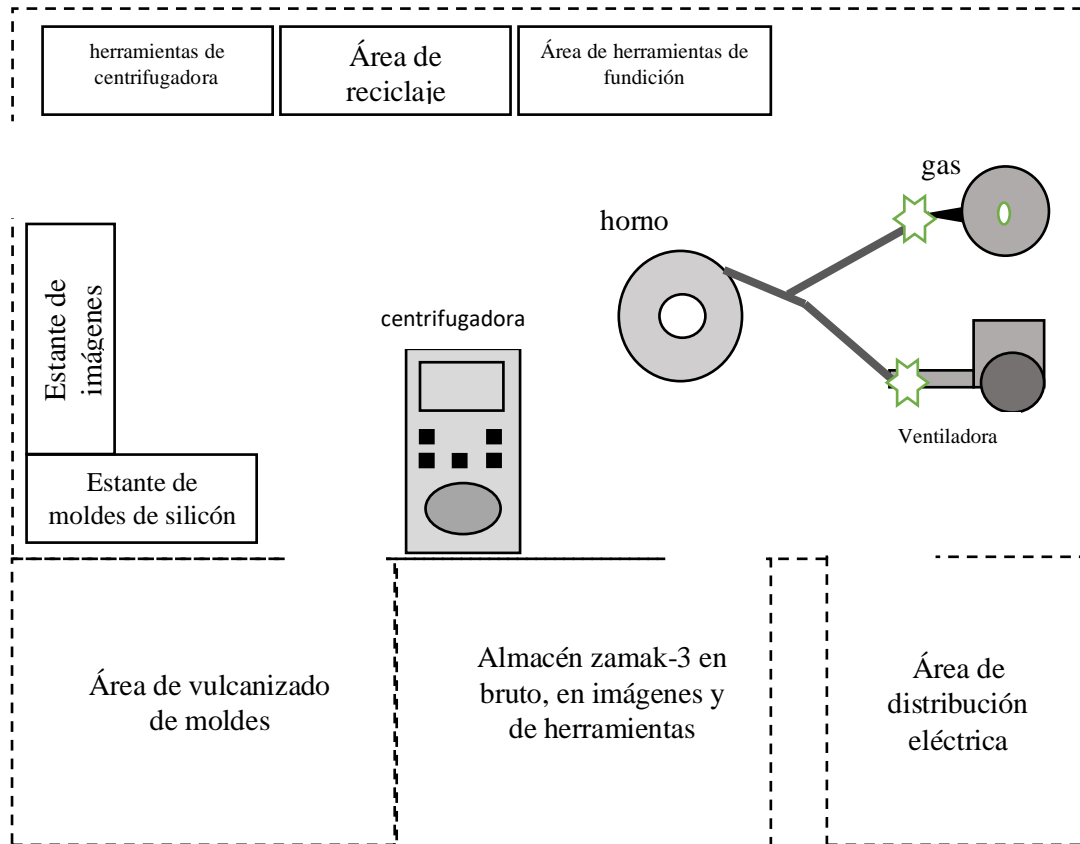
HORNO – Este es el equipo principal del proceso porque es un reactor que se encarga de fundir el zamak-3.

CRISOL – Este es un recipiente fabricado de material refractario o de fierro, en ella se almacena el zamak-3 líquido.

COLADORA CENTRIFUGADO – Este es un equipo que usa la fuerza centrífuga para distribuir de manera uniforme el zamak-3 fundido en las cavidades del molde.

MOLDE – Está fabricado de material silicón y preparado de manera precisa sus cavidades de la forma de la pieza que se desea obtener, estas piezas se obtienen de manera precisa y exacta gracias a la utilización de la fuerza centrífuga.

4.2.2. Plano de la planta de fundición y colado centrifuga



4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO DE CRISOL

4.3.1. *Parámetros De Diseño Del Crisol*

Tabla 4.

Parámetros de Diseño para el Horno de Crisol

PARÁMETRO	VALOR
Material	Kilogramos
Zamak 3 a fundir	4
Crisol	Especificaciones
Tipo de material	A2/grafito
Dimensiones	H:120mm, D:105mm, d:75mm
Temperatura máxima de operación	1100 °C
Tiempo máximo de funcionamiento	8 h
Ubicación prevista	Recinto cerrado
Flujo de aire en el recinto	Aire quieto

NOTA: La tabla muestra los parámetros necesarios para poder diseñar, dimensionar y optimizar el horno de crisol.

4.3.1.1. **Capacidad Requerida Para El Crisol.**

Para determinar la capacidad del crisol instalada en el área de fundición se recurre a la siguiente formula establecida:

$$d = \frac{m}{v} \quad \rightarrow \quad v = \frac{m}{d}$$

La densidad del Zamak es de 6.6 g/cm³, remplazamos:

$$v = \frac{1000g}{6.6g/cm^3} \quad \rightarrow \quad v = 151.5 \text{ cm}^3$$

151.5 cm³, es el volumen que ocupa un kilogramo de zamak para realizar la investigación se usaron 4 kilogramos, el volumen total a usar sería:

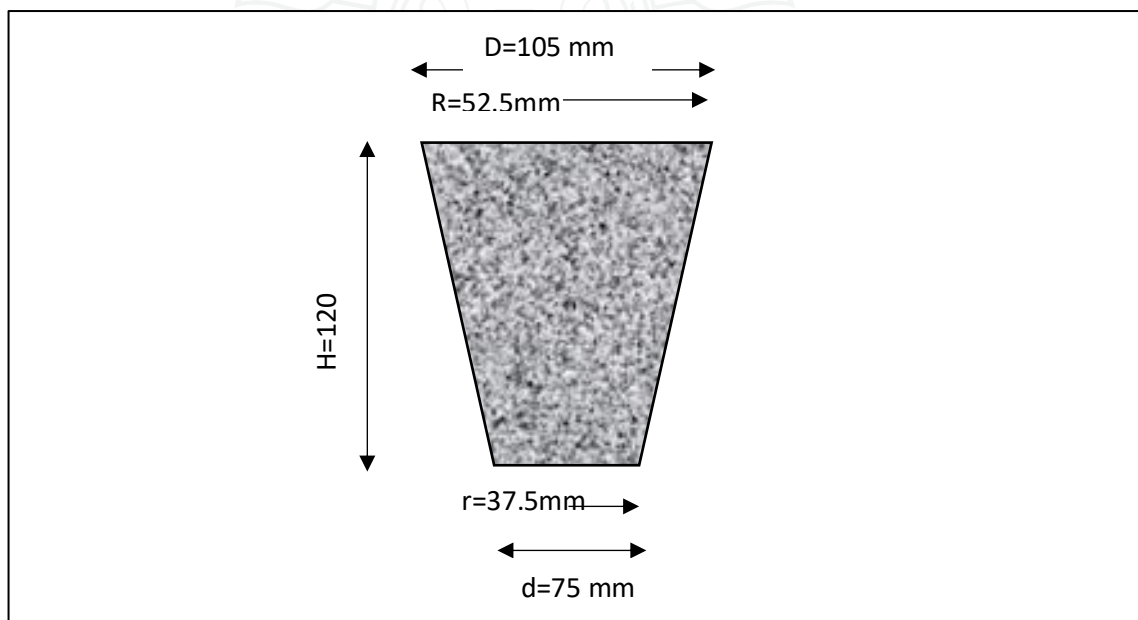
$$vt = v * cantidad \rightarrow vt = 151.5cm^3 * 4kg \rightarrow vt = 606cm^3$$

4.3.1.2. Capacidad Existente Del Crisol.

La capacidad real del crisol se realiza calculando el volumen del crisol para esto usaremos el siguiente gráfico.

Figura 10.

Dimensiones del Crisol



Nota. La figura muestra las dimensiones del crisol que se usa para la fundición, en este recipiente de material refractario es donde se contiene el zamak fundido a muy altas temperaturas.

Para calcular el volumen del crisol mostrado en la figura 10. Se ara el uso de la siguiente fórmula matemática:

$$v = \frac{\pi(R^2 + r^2 + R * r)H}{3}$$

$$v = \frac{\pi * (5.25^2 + 3.75^2 + 5.25 * 3.75) * 12}{3}$$

$$v = 640.9 \text{ cm}^3$$

El volumen total del crisol es de 640.9 cm^3 y el volumen total requerido para fundir 4 kg De zamak es 606 cm^3 , lo cual indica que el tamaño del crisol seleccionado es adecuado.

4.3.1.3. Determinación del porcentaje del volumen del crisol

Se realiza la comparación de los volúmenes del crisol en porcentajes del existente y del calculado.

$$\text{Volumen del zamak en 4kg} = 606 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen del crisol existente} = 640.9 \text{ cm}^3$$

$$\% \text{ de volumen usado} = \frac{606 \text{ cm}^3 * 100\%}{640.9 \text{ cm}^3} = 94.5\%$$

$$\% \text{ de volumen vacio} = 94.5\% - 100\% = 5.5\%$$

Esto nos quiere decir que el 94.5% del crisol sería ocupado por el metal fundido y el 5.5% del crisol estaría vacío.

4.3.2. Dimensiones Del Horno

Ya establecidos los parámetros de diseño se procede a dimensionar el horno de fundición.

Diámetro interior del horno:

$$D_{int} = D_{cris} + D_{libre \text{ sugerido}}$$

$$D_{int} = 105 \text{ mm} + \frac{150 + 300}{2} \text{ mm}$$

$$D_{int} = 330 \text{ mm} = 33 \text{ cm}$$

Altura interior del horno:

$$H_{int} = H_{cris} + \text{pedestal} + \text{espacio sugerido}$$

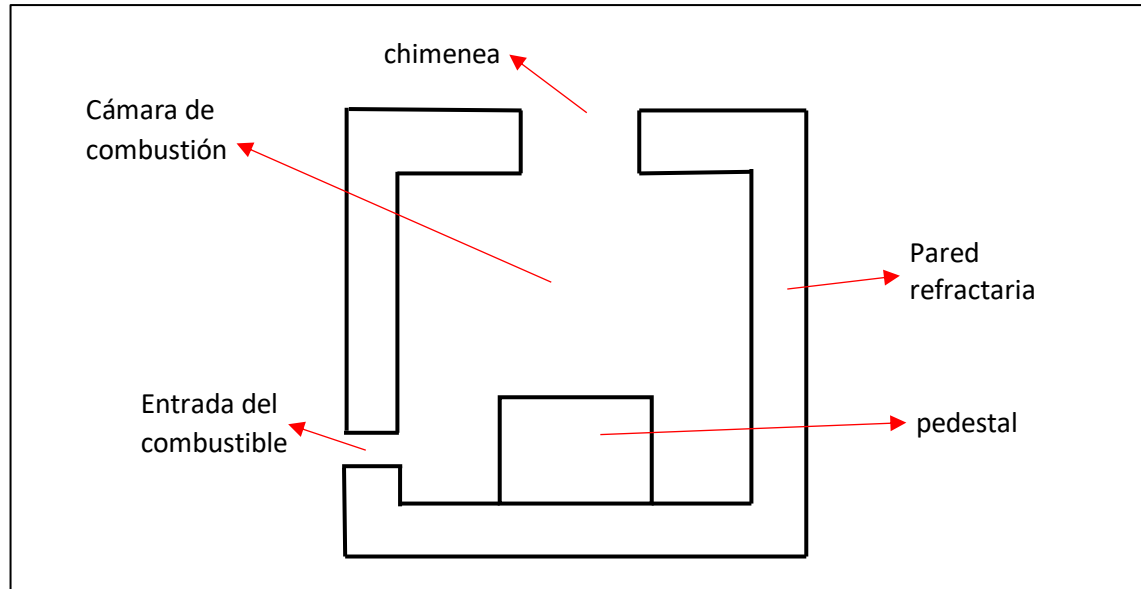
$$H_{int} = 120 \text{ mm} + 110 \text{ mm} + 50 \text{ mm}$$

$$H_{int} = 280 \text{ mm} = 28 \text{ cm}$$

Para la fabricación del horno se debe tomar los datos obtenidos en los cálculos realizados donde detalla que el diámetro interior del horno deberá ser de 33 cm, y la altura interior deberá ser de 28 cm.

Figura 11.

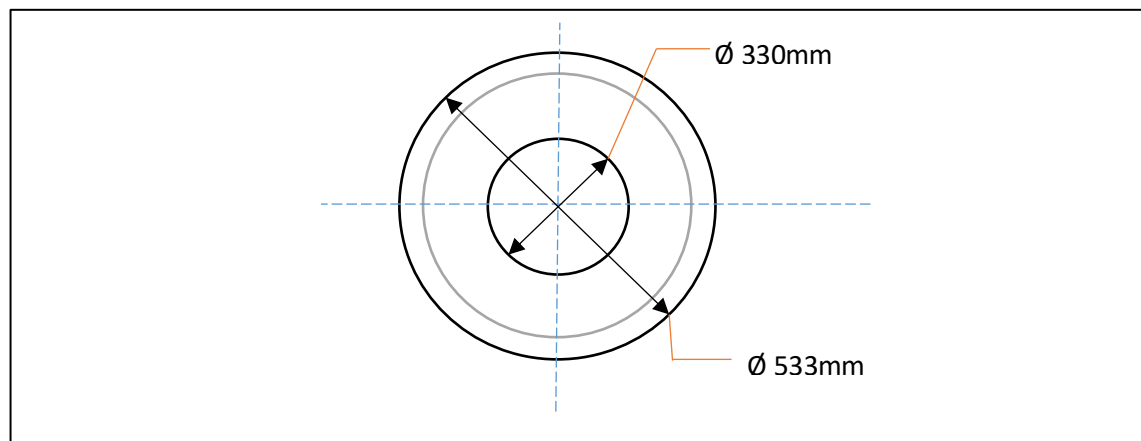
Componentes Básicos del Horno de combustión Diseñado



Nota. La figura muestra las partes principales de un horno de combustión, se allá la cámara de combustión, las paredes y el pedestal sobre ella se colocará el crisol construido de materiales refractarios y termoaislantes, una chimenea para la eliminación de los productos de combustión y una entrada de combustible para el suministro del combustible y aire el cual esta provisto de reguladores.

Figura 12.

Diámetro Interior y Exterior del Horno



Nota. La figura muestra el diámetro interior y el diámetro exterior del horno de fundición del zamak, estas cotas se encuentran en la unidad de media milímetros, y también se puede apreciar las capas refractarias de la pared del horno.

4.4. MECANICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRIFUGADORA

La mecánica de funcionamiento de la maquina coladora centrifuga se basa en como su propio nombre lo describe, por la acción de la fuerza centrífuga, en la siguiente figura se muestra con detalle las partes de la centrifuga.

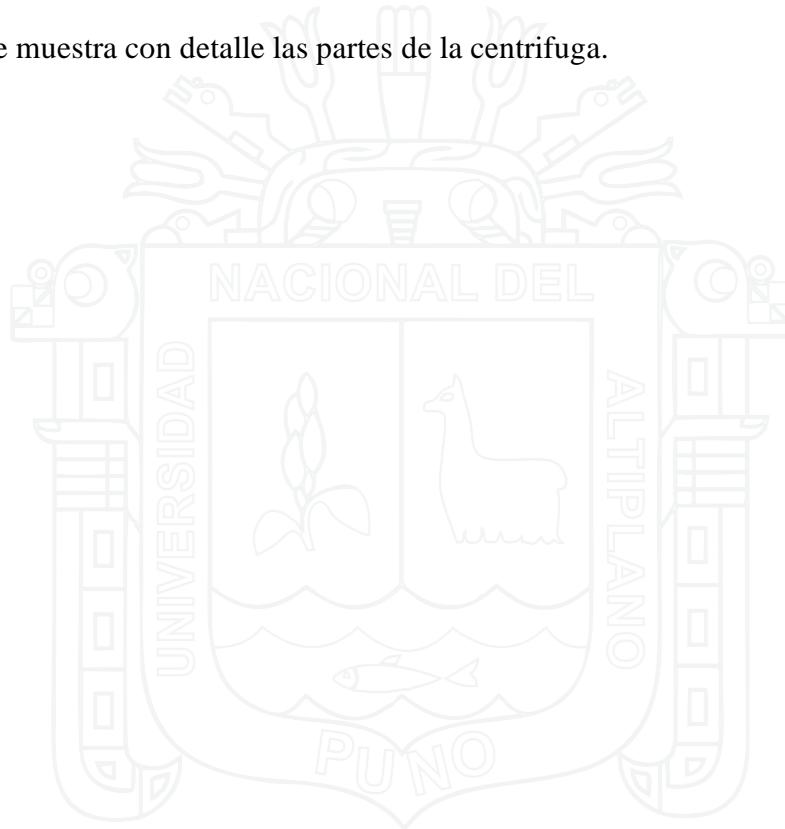
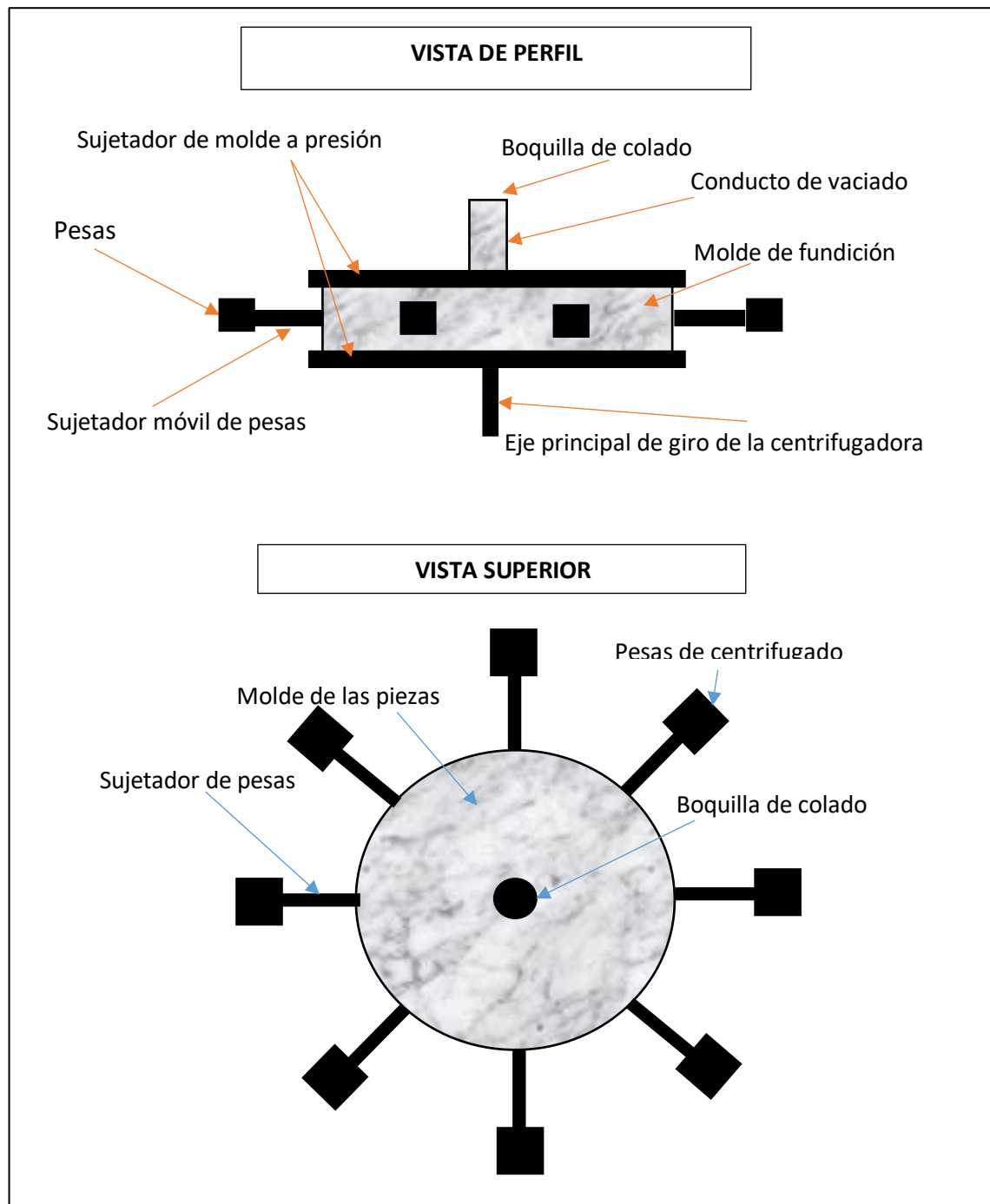


Figura 13.

Vistas y Partes de la Maquina Coladora Centrífuga



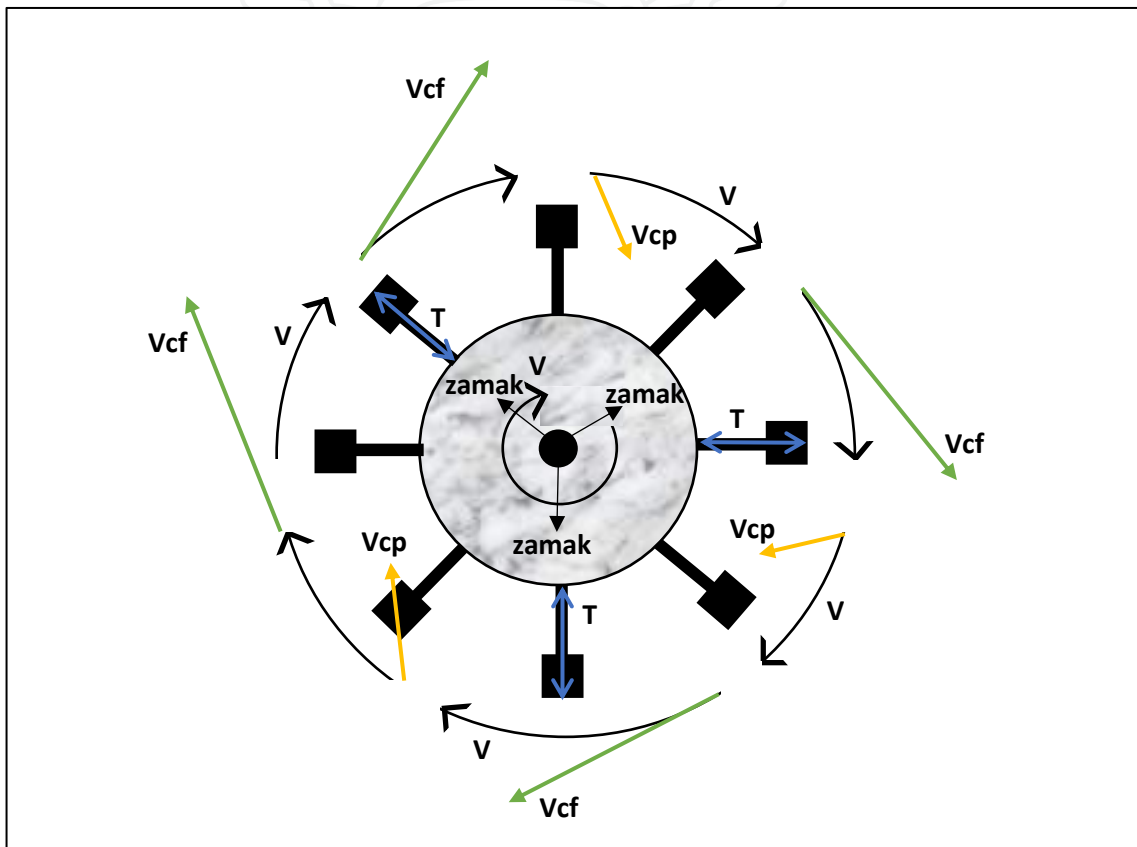
Nota. La figura muestra las dos vistas importantes de la maquina coladora centrífuga que se aplica para la obtención de piezas por fundición de zamak en bisutería, la vista de perfil muestra las partes de la maquina y la vista superior muestra vascamente la forma de la centrifugadora.

4.4.1. Principios De Funcionamiento

El principio de funcionamiento del equipo se basa en la utilización de la fuerza centrífuga para distribuir de manera uniforme el metal fundido por los moldes adoptados en el interior de la caja, esta acción es lo que lleva a una obtención de piezas fundidas en zamak de mayor calidad, evitándonos muchas desperfecciones en cuanto a un molde tradicional, a continuación, se muestra una figura con detalle.

Figura 14.

Diagrama de las Fuerzas en la Coladora Centrifuga



Nota. La figura muestra las fuerzas que entran en acción en el momento de poner en funcionamiento la maquina coladora centrifuga; V_{cf} , es la velocidad centrífuga la más importante del sistema; V , es la velocidad general accionado por un motor el cual es la velocidad circular; V_{cp} , es la velocidad centrípeta la cual es la oposición de la velocidad centrífuga la cual entra en acción con la T tención en cada brazo de las pesas. Gracias a la velocidad centrífuga el material fundido en su interior se vacían de forma uniforme en las cavidades del molde obteniéndose una pieza uniforme y de buena calidad.

4.4.1.1. Funcionamiento Del Motor.

Los dispositivos que varían la frecuencia funcionan bajo el principio, la velocidad síncrona del motor de corriente CA está determinada por la frecuencia CA suministrada y el número de polos en el estator.

$$rpm = \frac{120 * f}{p}$$

Donde:

rpm: Revoluciones por minuto.

f: Frecuencia de suministro = 50Hz – 60Hz

p: Número de polos = 2, 4, 6 y 8

$$rpm = \frac{120 * 50Hz}{4} = 1500 rpm$$

4.4.1.2. Velocidad de giro del molde.

Para poder determinar la velocidad de giro del molde recurriremos a la siguiente ecuación.

$$n = \frac{30}{\pi} * \sqrt{2g * \frac{GF}{Di}}$$

Donde:

n: Velocidad de giro en rpm

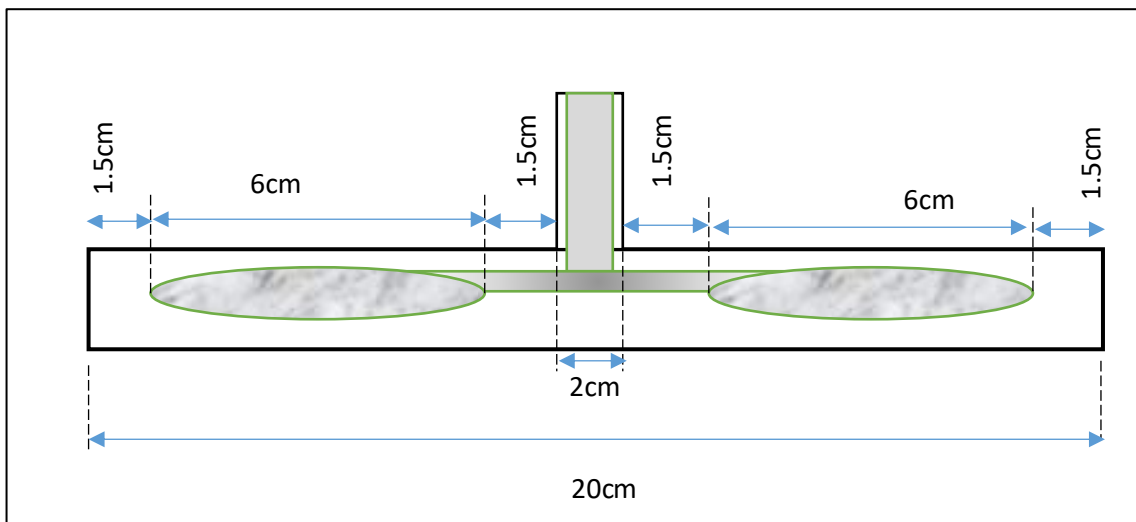
g: Gravedad en (m/s²) = 9.81 m/s²

Di: Diámetro interior del molde = 0.05 m

GF: Factor G que relaciona la fuerza centrífuga con el peso = 60

Figura 15

Dimensiones De La Centrifugadora



Nota: La figura muestra las dimensiones del molde que se encuentra montado en la plataforma de la centrifugadora.

$$n = \frac{30}{\pi} * \sqrt{2(9.81) * \frac{60}{0.08 m}}$$

$$n = 1465.2 \text{ rpm}$$

4.4.2. Esfuerzos

Se dan en el molde y básicamente son generados por la presión interna que ejerce el material colado; primero definiremos si el molde es un recipiente de pared grueso o delgado para determinar realizamos el siguiente calculo.

$$\frac{Rm}{t} \geq 10$$

Donde:

Rm: Radio medio.

t: Espesor del molde = 30 mm

Si la relación entre radio medio y el espesor del molde es mayor o igual que diez se considera como un recipiente a presión de pared delgada.

$$Rm = \frac{Re + Ri}{2}$$

Donde:

Re: Radio externo del molde = 85 mm

Ri: Radio interno del molde = 25 mm

$$Rm = \frac{85 + 25}{2} = 55 \text{ mm}$$

Reemplazamos:

$$\frac{55}{30} \geq 10$$

$$1.8 \not\geq 10$$

En nuestro caso se deberá realizar un análisis para recipientes de pared gruesa.

4.4.2.1.1. Presión Interna.

Para poder determinar el esfuerzo que se da en las paredes del molde es necesario conocer la presión interna, que surge debido a la rotación del zamak fundido.

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

P: Es la presión ejercida en las paredes del molde

F: Fuerza centrífuga

A: Área interna del molde

4.4.2.1.2. Fuerza Centrífuga.

Es la fuerza que se encarga de distribuir el zamak fundido en las cavidades internas del molde, está dada por:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

La masa m es de las piezas a obtener de zamak, este cálculo lo podremos ver junto a la velocidad a continuación.

$$VP = A * L * H$$

Donde:

VP: Volumen de la pieza a obtener = ¿?

A: Ancho de la pieza = 5cm

L: Largo de la pieza = 6cm

H: Altura de la pieza = 0.6cm

$$VP = 5cm * 6cm * 0.6cm$$

$$VP_t = 18cm^3 * 6piezas$$

$$VP_t = 108cm^3$$

$$VP_t = 0.000108m^3$$

Masa de la pieza:

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

d: Es la densidad

m: Masa

v: Volumen

$$m = d * v$$

$$m = (6700) \frac{kg}{m^3} * 0.000108m^3$$

$$m = 0.72kg$$

Determinación de la velocidad.

$$VRM = \frac{n * 2\pi * r}{60}$$

Donde:

VRM: Velocidad de rotación del molde en m/s

n: Revoluciones por minuto = 1465.2 rpm

r: Radio interno de la pieza = 0.025m

$$VRM = \frac{1465.2 rpm * 2\pi * 0.025m}{60}$$

$$VRM = 3.9 m/s$$

La fuerza centrífuga será.

$$F = \frac{mv^2}{ri}$$

m: Masa = 0.72kg

v: Velocidad = 5.3 m/s

ri: Radio interno = 0.025m

$$F = \frac{0.72kg * \left(3.9 \frac{m}{s}\right)^2}{0.025}$$

$$F = 112.32 N$$

4.4.3. Comportamiento Térmico De La Pieza

En el momento que se realiza el proceso de colado de la pieza en el interior del molde, se produce una transferencia de calor por conducción y esta misma perdida lleva al enfriamiento de la pieza para su posterior desmolde. Para realizar este análisis aremos el uso de la ley de Fourier, lo que indica que la perdida de calor se realiza del punto más caliente al menos caliente por medio de transferencia de calor.

$$Q = \frac{2\pi * L * K(T_i - T_e)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$

Donde:

Q: Calor que se conduce hacia fuera del molde

L: Longitud de la pieza = 0.09m

K: Conductividad térmica del molde = 0.67 kcal/m.min°C

Ti: Temperatura interna del molde = 430°C

Te: Temperatura externa del molde = 150°C

re: Radio externo del molde = 0.09m

ri: Radio interno del molde = 0.025m

$$Q = \frac{2\pi * 0.06m * (0.67) \frac{kcal}{m} \cdot min^\circ C * (430^\circ C - 150^\circ C)}{\ln\left(\frac{0.09m}{0.035m}\right)}$$

$$Q = 75.08 \frac{kcal}{min}$$

Esto quiere decir que al interior del molde se pierde una cantidad de 75.08 kcal por minuto de energía calorífica.

Ahora determinaremos el tiempo en que puede ser removido las piezas de zamak del molde, esto realizaremos utilizando la ecuación de energía calorífica:

$$Q = m * Ce * (T_i - T_2)$$

Donde:

$$m: \text{Masa de la pieza de zamak} = 18\text{cm}^3 * (6.7) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 120.6 \text{ g}$$

$$Ce: \text{Calor específico} = 0.419 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_i: \text{Temperatura a la que se puede retirar la pieza} = 70^\circ\text{C}$$

$$T_2: \text{Temperatura de ingreso del zamak al molde} = 430^\circ\text{C}$$

$$Q = 0.1206\text{kg} * (0.419) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (70^\circ\text{C} - 430^\circ\text{C})$$

$$Q = -18.2 \text{ KCal}$$

El resultado indica que cada pieza de zamak dentro del molde debe perder 18.2 kcal de energía calorífica para que se pueda retirar del molde con una temperatura de 70°C.

Entonces:

La pérdida de calor dentro del molde 82.8 kcal/min

La pérdida de calor requerida en el zamak por pieza 18.2 kcal

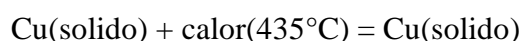
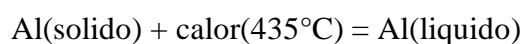
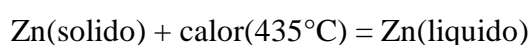
$$75.08 \text{ kcal} \rightarrow 60\text{segundos}$$

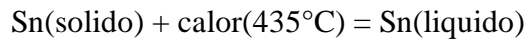
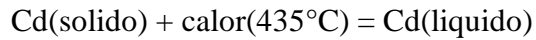
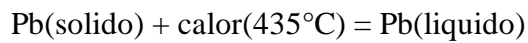
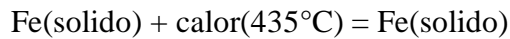
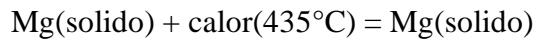
$$18.2 \text{ kcal} \rightarrow x = 15 \text{ segundos}$$

De acuerdo al resultado teórico obtenido, las piezas de zamak pueden ser retirados una vez transcurrido 15 segundos.

4.5. BALANCE DE MATERIA

4.5.1. Reacciones Que Ocurre Dentro Del Horno





4.5.2. Determinación del Peso en la Entrada del Horno

Tabla 5.

Análisis de la Composición del Zamak-3 en la Alimentación del Horno (proveedor).

ELEMENTO	%
Aluminio	3.890
Cobre	0.250
Magnesio	0.050
Hierro	0.100
Plomo	0.005
Cadmio	0.004
Estaño	0.002
Zinc	95.510

Nota: La tabla muestra el porcentaje de cada elemento que contiene como aleante el zamak-3 en su composición antes de ingresar al horno de fundición, lo cual es facilitado por el proveedor de zamak.

$$\text{gramosdeAluminio}_{(\text{alimentación})} = 3827.52\text{gdeZn} * \frac{(3.89 \text{ g. deAl})}{(95.51\text{g. deZn})}$$

$$= 155.89 \text{ gramos de Aluminio}$$

$$\text{gramosdeCobre}_{(\text{alimentación})} = 3827.52\text{gdeZn} * \frac{(0.25\text{g. deCu})}{(95.51\text{g. deZn})}$$

$$= 10.02 \text{ gramos de Cobre}$$

$$\text{gramosdeMagnesio}_{(\text{alimentación})} = 3827.52\text{kgdeZn} * \frac{(0.05\text{g. deMg})}{(95.51\text{g. deZn})}$$

$$= 2.00 \text{ gramos de Magnesio}$$

$$\text{gramosdeHierro}_{(\text{alimentación})} = 3827.52 \text{kgdeZn} * \frac{(0.10 \text{g. deFe})}{(95.51 \text{g. deZn})}$$

$$= 4.01 \text{ gramos de Hierro}$$

$$\text{gramosdePlomo}_{(\text{alimentación})} = 3827.52 \text{kgdeZn} * \frac{(0.005 \text{g. dePb})}{(95.51 \text{g. deZn})}$$

$$= 0.20 \text{ gramos de Plomo}$$

$$\text{gramosdeCadmio}_{(\text{alimentación})} = 3827.52 \text{kgdeZn} * \frac{(0.004 \text{g. deCd})}{(95.51 \text{g. deZn})}$$

$$= 0.16 \text{ gramos de Cadmio}$$

$$\text{gramosdeEstaño}_{(\text{alimentación})} = 3827.52 \text{kgdeZn} * \frac{(0.002 \text{g. deSn})}{(95.51 \text{g. deZn})}$$

$$= 0.08 \text{ gramos de Estaño}$$

Tabla 6.*Peso de los Elementos en la Alimentación del Horno*

ELEMENTO	PESO EN GRAMOS	% DE PESO
Zinc	3827.52	95.690
Aluminio	155.89	3.897
Cobre	10.02	0.251
Magnesio	2.00	0.050
Hierro	4.01	0.100
Plomo	0.20	0.005
Cadmio	0.16	0.004
Estaño	0.08	0.002
Total	3999.90	100.000

Nota: El cuadro muestra los pesos de cada elemento aleante del zamak-3 en gramos antes de alimentar al horno de fundición a gas.

Base de cálculo: 4.00 kg de producción por día Tenemos el análisis del producto:

Tabla 7.

Análisis de la Composición del Zamak-3 en la salida del horno.

ELEMENTO	%
Aluminio	3.900
Cobre	0.250
Magnesio	0.050
Hierro	0.100
Plomo	0.005
Cadmio	0.004
Estaño	0.003
Zinc	95.688

Nota: En la tabla se puede apreciar los porcentajes de los elementos que componen el zamak-3 que se obtuvo de los análisis de composición de la pieza fundida.

Tabla 8.

Peso Atómico de los Aleantes del Zamak-3.

Al	Cu	Mg	Fe	Pb	Cd	Sn	Zn
27.00	63.50	24.30	55.80	207.20	112.40	118.30	65.30

Nota: La tabla muestra los pesos atómicos de cada elemento que existe en la aleación del zamak-3.

4.5.3. Determinación del Peso en la Salida del Horno

$$g.deZn(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.95688) = 3827.52 \text{ gramos de Zinc}$$

$$g.deAl(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.039) = 156 \text{ gramos de Aluminio}$$

$$g.deCu(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.0025) = 10 \text{ gramos de Cobre}$$

$$g.deMg(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.0005) = 2 \text{ gramos de Magnesio}$$

$$g.deFe(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.001) = 4 \text{ gramos de Hierro}$$

$$g.dePb(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.00005) = 0.2 \text{ gramos de Plomo}$$

$$g.deCd(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} \cdot (0.00004) = 0.16 \text{ gramos de Cadmio}$$

$$g.deSn(salida) \Rightarrow 4000 \text{ g(producto)} * (0.00003) = 0.10 \text{ gramos de Estaño}$$

Tabla 9.

Peso de los Elemento en la Salida del Horno

ELEMENTO	PESO EN GRAMOS	% EN PESO
Zinc	3827.52	95.688
Aluminio	156.00	3.900
Cobre	10.00	0.250
Magnesio	2.00	0.050
Hierro	4.00	0.100
Plomo	0.20	0.005
Cadmio	0.16	0.004
Estaño	0.10	0.003
Total	3999.98	100.00

Nota: En la tabla se aprecia el peso en gramos de cada elemento existente en 4 kilogramos de zamak-3 en la salida del horno, después de haber colado.

4.5.4. Cálculo de CO₂ Generado

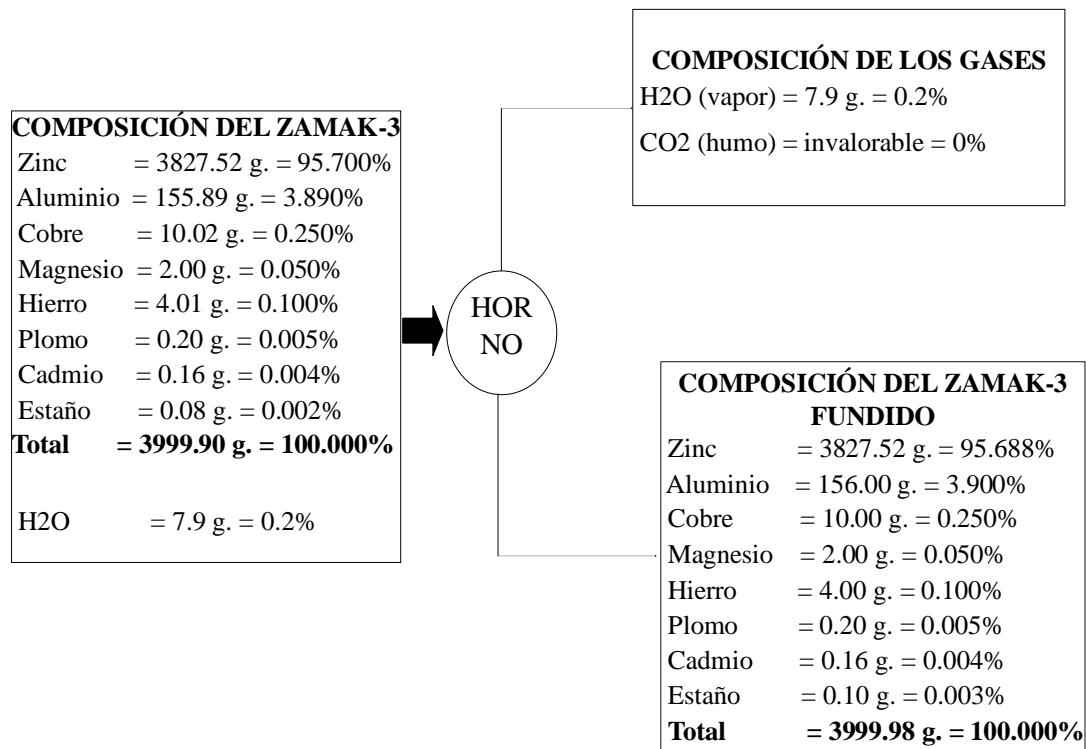
Según las reacciones de los elementos en el horno no presenta la emisión del CO₂ o el CO por el mismo hecho de que en su composición de sus elementos aleantes no hay la presencia de carbono o carbonatos.

4.5.5. Cálculo de H₂O Generado en Estado de Vapor

Dado que el material a fundir zamak-3 podría presentar hasta un 0.2% de humedad en su superficie por contacto con la humedad del medio ambiente.

$$\begin{aligned} \text{gramos de H}_2\text{O (en materia prima)} &= (3999.9) - ((3999.9) * (1 - 0.002)) \\ &= 7.9 \text{ g. H}_2\text{O} \end{aligned}$$

4.5.6. Diagrama del Balance de Materia en el Horno



4.6. BALANCE DE ENERGÍA

4.6.1. Transferencia De Calor

4.6.1.1. Perdida De Calor Al Ambiente.

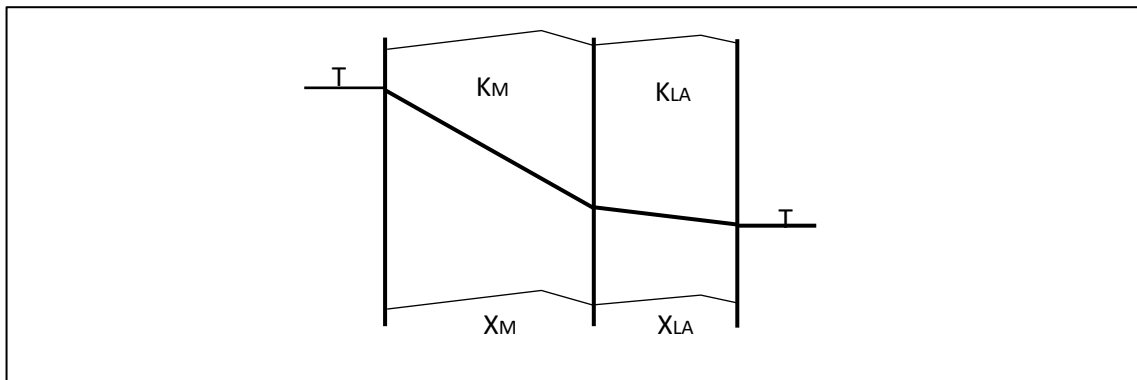
En este punto se debe considerar las pérdidas de calor que sucede en la etapa de fundición en el horno las cuales son; conducción, convección y radiación de.

4.6.1.2. Por Conducción.

4.6.1.2.1. Perdida De Calor Por La Pared Del Horno.

Figura 16.

Diagrama de la Transferencia de Calor en la Pared del Horno



Nota. La figura muestra la transferencia de calor en la pared del horno interna hacia la externa en donde muestra la pérdida de calor hacia el medio ambiente, T₁ es la temperatura interna o inicial, T₂ es la temperatura externa del horno.

T₁=820 °C

T₂=75 °C

La ecuación para realizar la transferencia de calor es la siguiente:

$$Q = \frac{k * \Delta T}{\Delta X * A}$$

Donde:

Q: Calor transferido.

k: Coeficiente térmico.

ΔT : Diferencia de temperaturas.

ΔX : Diferencia de espesor.

La ecuación para realizar el cálculo de diferentes paredes sería:

$$Q_{pp} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta X_M}{k_M * A_M} + \frac{\Delta X_{la}}{k_{la} * A_{la}}}$$

ΔT : Diferencia de temperaturas =745°C

ΔX_M = Espesor de la manta = 0.0762 m.

ΔX_{la} = Espesor de la lámina de acero = 0.003m.

K_M = Coeficiente térmico de la manta = 0.3 W/m°C

k_{la} = Coeficiente térmico de la lámina de acero = 53 W/m°C

A_M = Área de la manta = 0.135 m²

A_{la} = Área de la lámina de acero = 0.172 m²

$$Q_{pp} = \frac{745^{\circ}\text{C}}{\frac{0.0762\text{m}}{0.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 0.135\text{m}^2} + \frac{0.003\text{m}}{53 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 0.172\text{m}^2}}$$
$$Q_{pp} = 395.9 \text{ W} \cong 340.47 \text{ kcal}$$

En este cálculo no se considera el protector cerámico porque la manta cerámica está expuesta a la temperatura que existe en el interior del crisol, y como resultado de las paredes es 340.41 kilocalorías.

4.6.1.2.2. Perdida En El Fondo Del Horno.

$$Q_{FH} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta X_{LR}}{k_{LR} * A_{LR}} + \frac{\Delta X_{la}}{k_{la} * A_{la}}}$$

Donde:

ΔT : Diferencia de temperaturas = 745°C

ΔX_{LR} : Espesor del ladrillo = 0.0835 m.

ΔX_{la} : Espesor del lamina de acero = 0.003 m.

k_{LR} : Coeficiente térmico del ladrillo = 1.046 W/m°C.

k_{la} : Coeficiente térmico de la lámina de acero = 53 W/m°C.

A_{la} : Área de la lámina de acero = 0.172 m².

A_{LR} : Área expuesta del ladrillo = 0.080429 m².

$$Q_{FH} = \frac{745}{\frac{0.0835}{1.046 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.080429m^2} + \frac{0.003}{53 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.172m^2}}$$

$$Q_{FH} = 750.4W \cong 645.344kcal$$

El calor perdido en el fondo del horno Q_{FH} nos dio como resultado 645.23 kilocalorías.

4.6.1.2.3. *Perdida En La Tapa Del Crisol.*

En este punto se aclara que el área se calcula sustrayendo la sección circular que tiene como diámetro exterior del crisol. Las pérdidas se realizan sin tomar en cuenta el agujero de la chimenea del horno que se encuentra en el centro.

$$Q_{TC} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta X_{TC}}{k_{TC} * A_{TC}}}$$

ΔT : Diferencia de temperaturas = 745 °C

ΔX_{TC} : Espesor de la manta = 0.025 m.

K_{TC} : Coeficiente térmico de la tapa = 0.3 W/m°C

A_{TC} : Área de la tapa = $A_{TOTAL} - A_{CRISOL}$

$$A_{TC} = \pi(0.2665)^2 - \pi(0.053)^2$$

$$A_{TC} = 0.0376m^2$$

$$Q_{TC} = \frac{745^{\circ}C}{\frac{0.025m}{0.3 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.037m^2}}$$

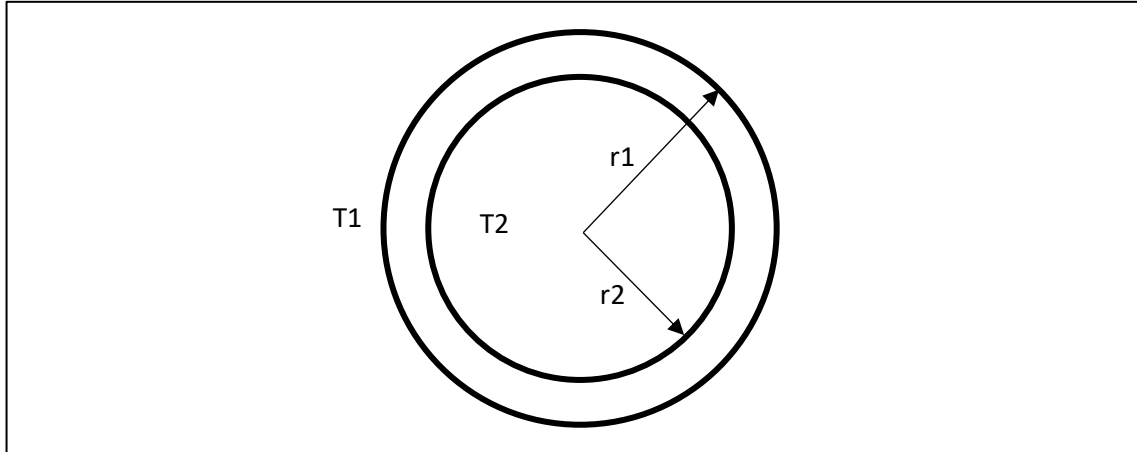
$$Q_{TC} = 330.78W \cong 284.40 kcal$$

El calor perdido en la tapa del crisol de 284.40 kilocalorías.

4.6.1.2.4. Perdida De Calor En El Crisol.

Figura 17.

Diagrama del Radio y Temperaturas en el crisol



Nota. El grafico muestra la radio interior y la radio exterior del crisol, también muestra las temperaturas T1 temperatura inicial y T2 temperatura final en el interior del crisol.

Ecuación para calcular la perdida de calor en el crisol.

$$Q_{CRISOL} = -k * A * \frac{dt}{dr}$$

$$Q_{CRISOL} = 2 * \pi * k * L * \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

k: Coeficiente térmico del crisol = 1950 W/m°C

L: Longitud del crisol = 0.105 m.

T1: Temperatura dentro del horno = 600°C

T2: Temperatura dentro del crisol = 24°C

r1: Radio interno del crisol = 0.0515 m.

r2: Radio externo del crisol = 0.0525 m.

$$Q_{CRISOL} = 2 * \pi * 1950 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.105m * \frac{600^{\circ}C - 24^{\circ}C}{\ln \left(\frac{0.0525m}{0.0515m} \right)}$$

$$Q_{CRISOL} = 38\ 531.5\ W \cong 33137.09\ kcal$$

4.6.1.3. Por Convección.

La ecuación para determinar la pérdida de calor por convección es la siguiente.

$$Q_{conv} = h * A_S * (T_S - T_{\infty})$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección

As: Área de la superficie

Ts: Temperatura de la superficie = 80°C

T∞: Temperatura ambiente = 20°C

Pr: Número de Prandtl = 0.7241

K: Conductividad térmica = 0.02699 W/m°C

v: Viscosidad cinemática = 1.750*10⁵ m²/s

Ecuación para calcular el número de Grashof

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_S - T_{\infty}) * L^3}{v^2}$$

g: Gravedad = 9.81 m/s²

β: Constante = 1 Tf = 1/319k

L: Altura de la placa = 0.394 m

$$Gr_L = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{1}{319k} * (80^{\circ}C - 20^{\circ}C) * 0.394^3}{1.750 * 10^5 \frac{m^2}{s}}$$

$$Gr_L = 368503946.1$$

Conociendo los valores se obtiene el número de Rayleigh.

$$Ra_L = Gr_L * Pr$$

$$Ra_L = 368503946.1 * 0.7241$$

$$Ra_L = 266833707.4$$

Numero de Nusselt

$$Nu = 0.825 * \frac{0.387(Ra_L)^{\frac{1}{16}}}{\left\{1 + (0.492Pr)^{\frac{9}{16}}\right\}^{\frac{8}{27}}}$$

$$Nu = 0.825 * \frac{0.387(266833707.4)^{\frac{1}{16}}}{\left\{1 + (0.492 * 0.7241)^{\frac{9}{16}}\right\}^{\frac{8}{27}}}$$

$$Nu = 0.941$$

$$Nu = \frac{h * L}{k}$$

Coefficiente de transferencia de calor

$$h = \frac{Nu * k}{L}$$

k: Conductividad térmica = 0.02699 W/m°C

L: Altura de la placa = 0.394m

$$h = \frac{0.941 * 0.02699 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.394 \text{ m}}$$

$$h = 0.06 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

Con los valores hallados procedemos a calcular el valor del calor usado.

$$Q_{CONV} = h * A_s * (T_s - T_{\infty})$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección = 0.06 W/m°C

As: Área de la superficie = 0.172 m²

Ts: Temperatura de la superficie = 80°C

T∞: Temperatura ambiente = 20°C

$$Q_{CONV} = 0.06 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.172 m^2 * (80^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$

$$Q_{CONV} = 0.6 \text{ kcal}$$

4.6.1.4. Por Radiación.

$$Q_{RAD} = \epsilon * A_S * \sigma * (T_S^4 - T_{\infty}^4)$$

ϵ : Emisividad del recubrimiento = 0.35

A_S : Área superficie = 0.172m²

σ : Coeficiente de Stefan Boltzman = $5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

T_S : Temperatura de la superficie = 80°C

T_{∞} : Temperatura ambiente = 20°C

$$Q_{RAD} = 0.35 * 0.172 \text{ m}^2 * \left(5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) * (80^4 \text{ } ^\circ\text{C} - 20^4 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{RAD} = 0.14 \text{ kcal}$$

4.6.1.5. Perdida De Calor Al Ambiente.

$$Q_{TOTALP} = Q_{COD} + Q_{CONV} + Q_{RAD}$$

Q_{cod} : Calor perdido por conducción = $Q_{pp} + Q_{fh} + Q_{tc} = 1531.38 \text{ kcal}$

$$Q_{TOTALP} = 1531.38 \text{ kcal} + 0.6 \text{ kcal} + 0.14 \text{ kcal}$$

$$Q_{TOTALP} = 1532.12 \cong 1533 \text{ kcal}$$

4.6.2. Calor Necesario Para Fundir 4kg Zamak

$$Q_{zmk1} = m * C_p * \Delta T$$

Q_{zmk1} : Calor requerido para llevar al zamak al punto de fusión.

m : Masa del zamak = 4 kg

C_p : Calor especifico = 419 J/kg °C

ΔT : Diferencia de temperatura

T_f : Temperatura de fusión = 386°C

T. amb: Temperatura ambiente = 20°C

$$Q_{zmk1} = \frac{4kg * 419 \frac{J}{kg^{\circ}C} * (386^{\circ}C - 20^{\circ}C)}{1000}$$

$$Q_{zmk1} = 613.4 KJ$$

Se le suma el calor latente de fusión, expresado como:

$$Q_{zmk2} = m_{zmk} * h_{zmk}$$

Q_{zmk2}: Calor obtenido

m_{zmk}: Masa del zamak = 4 kg

h_{Azmk}: Entalpia del zamak = 111.9 KJ/kg

$$Q_{zmk2} = 4kg * 111.9 \frac{KJ}{kg}$$

$$Q_{zmk2} = 447.8 KJ$$

Si llevamos al zamak a la temperatura de colada 430°C tenemos que:

$$Q_{zmk3} = m_{zmk} * h_{zmk}$$

$$Q_{zmk3} = m_{zmk} * C_p * \Delta T$$

m: Masa del zamak = 4 kg

C_p: Calor especifico = 419 J/kg °C

ΔT: Diferencia de temperatura

T_f: Temperatura de colada = 430°C

T fus: Temperatura de fusión = 386°C

$$Q_{zmk3} = 4kg * 419 \frac{J}{kg^{\circ}C} * (430^{\circ}C - 386^{\circ}C)$$

$$Q_{zmk3} = 73744 \left(\frac{j}{kg^{\circ}C} \right)$$

Para convertir a KJ dividiremos el resultado por 1000.

$$Q_{zmk3} = \frac{73744 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right)}{1000}$$
$$Q_{zmk3} = 73.7 KJ$$

Por tanto, el calor necesario para poder fundir 4kgr. de zamak es:

$$Q_{Tzmk} = Q_{zmk1} + Q_{zmk2} + Q_{zmk3}$$

$$Q_{Tzmk} = 613.4 KJ + 447.8 KJ + 73.7 KJ$$

$$Q_{Tzmk} = 1134.9KJ \cong 1135 KJ$$

4.6.3. Combustible Requerido

Para el cálculo de la cantidad necesaria de combustible para fundir 4 kilogramos de zamak es necesario asumir una eficiencia térmica del 75%, debido a que el sistema es un intercambiador de calor de flujo regenerativo, es decir en la zona de colado el calor sensible del zamak es completamente transferido al aire de enfriamiento, que entra en la etapa de colación del zamak fundido a una temperatura entre 435 y 425 °C.

El calor sensible de los gases de escape es también retomado en el proceso, aunque no en su totalidad ya que la capacidad calorífica en la zona de precalentamiento es mucho más alta que la carga de zamak.

La eficiencia térmica del horno tiene dada por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Q_{min}}{HHV * mc}$$

Donde:

$$Q_{min}: \text{Energía mínima requerida para la disociación} = \frac{KJ}{kg \text{ zmk producida}}$$

$$HHV: \text{Es el valor calórico del combustible} = \frac{KJ}{kg \text{ producida}}$$

mc: Es la cantidad de combustible [kg]

n: Es la eficiencia térmica

Por tanto, la cantidad de combustible para fundir 4 kg de zamak es:

$$mc = \frac{7543.44 \frac{KJ}{kg \text{ de zamak}}}{8540 \frac{KJ}{m^3} * 0.75}$$

$$mc = 1.76 m^3 \text{ de gas natural}$$

4.6.4. Tiempo De Calentamiento

$$Q' = \frac{dQ}{dT}$$

$$Q' = \frac{Q}{T}$$

$$T = \frac{Q}{Q'}$$

Q': Flujo de calor = 1782 W

Q: Calor requerido para fundir = 1135 KJ

T: Tiempo requerido

$$T = \frac{1135 KJ}{1782 W} = 0.8324$$

$$T = 0.8324 * 1000 = 832.35 \text{ seg.}$$

4.7. GESTION AMBIENTAL EN LA FUNDICION DEL ZAMAK

4.7.1. Límites Máximos Permisibles En La Fundición No Ferrosa

4.7.1.1. El aire.

Tabla 10

Límites Máximos Permisibles de Emisiones en la Industria de Fundición no Ferrosa

PARAMETRO	LMPs BM (mg/m ³ N)	Método de medición
Material particulado	20	NTP 900.005 (EPA 5)
Óxido de nitrógeno (NOx)		
<ul style="list-style-type: none">Fusión de metales.		
<ul style="list-style-type: none">Sistema de recuperación de unidades de regeneración térmica arena.	120 150	NTP 900.007 (EPA 7)
Dióxido de azufre (SO ₂)	400	NTP 900.006 (EPA 6)
<ul style="list-style-type: none">Fusión de metales.	120(2)	
Monóxido de carbono (CO)	200	NTP 900.010 (CTM 030)
Pb, Cd, y sus compuestos	2	EPA 29
Ni, Co, Cr, Sn, y sus Compuestos	5	EPA 29
Covs	20	NTP 900.018 (EPA 18)
Sulfuro de hidrógeno H ₂ S	5(ppm)v/v	EPA 15

Nota: (2) También se aplica para hornos de crisoles

En los análisis anteriores realizados por contaminantes al aire en la ciudad de Juliaca, se publicaron como resultado los siguientes datos promedio por contaminante; Material particulado PM₁₀ 9.50mg/m³, material particulado PM₅ 12.00 mg/m³, monóxido de carbono 165 mg/m³, dióxido de azufre 11.00 mg/m³, dióxido de

nitrógeno 20.00 mg/m^3 . En Juliaca las fuentes principales de emisiones de los contaminantes al aire son las Fuentes naturales, fuentes móviles, ladrilleras y fuentes de área.

A continuación, se presenta una tabla de resultados de análisis del aire en el área de fundición.

Tabla 11

Comparación de la Emisión de Gases con lo Normado.

CONTAMINANTE	Análisis De Aire Del Área	
	De Fundición De Zamak-3 ($\text{mg/m}^3\text{N}$)	LMPs BM ($\text{mg/m}^3\text{N}$)
Monóxido de carbono (CO)	182.00	200
Dióxido de azufre (SO ₂)	11.30	400-120
Sulfuro de hidrógeno H ₂ S	1.00	5(ppm)v/V
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	22.00	120-150
Material particulado PM ₁₀	11.80	20
Pb	0.01	2
Sn	0.03	5
Cd	0.05	2
Ni	0.00	5
Cr	0.00	5
Co	0.00	5

Nota: En la tabla se puede apreciar una comparación de la composición del aire del taller respecto a los parámetros permisibles y claramente se ve que no existe contaminación al aire porque no se supera lo normado.

4.7.1.2. El suelo.

Tabla 12

Límites Máximos Permisibles de Calidad ambiental para suelo en la Industria de Fundición no Ferrosa.

Parámetros	Uso del suelo			Método de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo residencial/parques	Suelo comercial/industrial/extractivos	
Benceno (mg/kg MS)	0.03	0.03	0.03	EPA 8260-B
Tolueno (mg/kg MS)	0.037	0.37	0.37	EPA 8260-B
Etilbenceno (mg/kg MS)	0.082	0.082	0.082	EPA 8260-B
Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B
Naftaleno (mg/kg MS)	0.1	0.6	22	EPA 8260-B
Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
Fracción de hidrocarburos	3000	3000	6000	EPA 8015-D

F3 (C28-C40) (mg/kg MS)				
Benzo (a) pireno (mg/kg MS)	0.1	0.7	0.7	EPA 8270-D
Bifenilos policlorados – PCB (mg/kg MS)	0.5	1.3	33	EPA 8270-D
Aldrin (mg/kg MS) (1)	2	4	10	EPA 8270-D
Endrin (mg/kg MS) (1)	0.01	0.01	0.01	EPA 8270-D
DDT (mg/kg MS) (1)	0.7	0.7	12	EPA 8270-D
Heptacloro (mg/kg MS) (1)	0.01	0.01	0.01	EPA 8270-D
Cianuro libre (mg/kg MS)	0.9	0.9	8	EPA 9013- A/APHA- AWWA-WEF 4500 CN F
Arcenico total (mg/kg MS) (2)	50	140	140	EPA 3050-B
Bario total (mg/kg MS) (2)	750	2000	2000	EPA 3050-B



Cadmio total (mg/kg MS) (2)	1.4	22	22	EPA 3050-B
Cromo VI (mg/kg MS)	0.4	1.4	1.4	DIN 19734
Mercurio total (mg/kg MS) (2)	6.6	24	24	EPA 7471-B
Plomo total (mg/kg MS) (2)	70	1200	1200	EPA 3050-B

Nota: EPA environmental protection agency; DIN german institute for standardization; MS materia seca a 105°C. (1) plaguicidas regulados debido a su persistencia, en el ambiente, en la actualidad está prohibido su uso; (2) concentración de metales totales.

4.7.1.3. El agua.

Tabla 13

Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Metalúrgicas.

PARAMETRO	UND	LIMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LIMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
Ph	Mg/L	6 - 9	6 - 9
Solidos totales en suspensión	Mg/L	50	25
Aceite y grasa	Mg/L	20	16
Cianuro total	Mg/L	1	0.8
Arsenico total	Mg/L	0.1	0.08
Cadmio total	Mg/L	0.05	0.04
Cromo hexavalente*	Mg/L	0.1	0.08
Cobre total	Mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	Mg/L	2	1.6
Plomo total	Mg/L	0.2	0.16
Mercurio total	Mg/L	0.002	0.0016
Zinc total	Mg/L	1.5	1.2

Nota: En la muestra no filtrado.

4.8. PRUEBAS DE OPTIMIZACION

El diseño experimental es realizado con la ayuda de un software de simulación y análisis de resultados que es Statgraphics Centurión XVI, este software se encargara de realizar el diseño del experimento en este caso las pruebas de optimización.

4.8.1. Diseño De Cribado

- Clase de diseño: De Cribado
- Nombre del Diseño: Factorial 2^3
- Número de factores experimentales: 3
- Número de bloques: 1
- Número de respuestas: 1
- Número de corridas: 12, incluyendo 4 puntos centrales por bloque
- Grados de libertad para el error: 5
- Aleatorizar: No

Tabla 14.

Valores Altos y Bajos de los Parámetros en Experimentación

Variables	Bajo	Alto	Und	Continuo
TEMPERATURA	415.0	435.0	°C	Sí
RPM	800.0	1120.0	Rpm	Sí
TIEMPO DE GIRO	15.0	35.0	S	Sí

Nota. En la tabla se puede apreciar los parámetros de experimentación, como variables son la temperatura, revoluciones por minuto (RPM) y el tiempo de giro del molde o tiempo de centrifugado; el límite de cada variable son los datos bajos y altos obtenidos según los resultados teóricos.

4.8.2. Diseño De Pruebas A Correr 2^3

El diseño de las pruebas a correr será de orden 2^3 con 4 puntos centrales lo que indica lo siguiente:

$$P = 2^3 + 4$$

$$P = 12$$

Donde:

P: Pruebas a correr = ¿?

Tabla 15.*Parámetros Para Cada Prueba a Correr*

N° PRUEBAS	TEMPERATURA	RPM	TIEM. GIRO	OPTIMO
	°C	Rev/min	Segundos	%
1	415	800	15	96
2	435	800	15	95.7
3	415	1120	15	94.6
4	435	1120	15	95
5	415	800	35	96.7
6	435	800	35	99.4
7	415	1120	35	96.4
8	435	1120	35	99.8
9	425	960	25	95.6
10	425	960	25	97.6
11	425	960	25	98.1
12	425	960	25	98.4

Nota. En la tabla muestra las 12 pruebas que se realiza, cada prueba tiene diferentes parámetros de experimentación y el valor optimo son los resultados obtenidos en cada prueba realizada.

4.8.3. Análisis De Resultados De Experimentación

Tabla 16.*Efectos Estimados para Optimización (%)*

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	96.9417	0.320655	
A: TEMPERATURA	1.55	0.78544	1.0
B: RPM	-0.5	0.78544	1.0
C: TIEM GIRO	2.75	0.78544	1.0
AB	0.35	0.78544	1.0
AC	1.5	0.78544	1.0
BC	0.55	0.78544	1.0

Nota. Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño

perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Tabla 17.

Análisis de Varianza para Optimización.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: TEMPERATURA	4.805	1	4.805	3.89	0.1055
B: RPM	0.5	1	0.5	0.41	0.5524
C: TIEMPO DE GIRO	15.125	1	15.125	12.26	0.0173
AB	0.245	1	0.245	0.20	0.6745
AC	4.5	1	4.5	3.65	0.1144
BC	0.605	1	0.605	0.49	0.5150
Error total	6.16917	5	1.23383		
Total (corr.)	31.9492	11			

Nota. La tabla particiona la variabilidad de Optimización en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

- R-cuadrada = 80.6907 por ciento
- R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 57.5195 por ciento
- Error estándar del est. = 1.11078
- Error absoluto medio = 0.545833
- Estadístico Durbin-Watson = 0.899635 (P=0.0532)
- Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.373081

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 80.6907% de la variabilidad en optimización. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más

adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 57.5195%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.11078. El error medio absoluto (MAE) de 0.545833 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 18.

Coefficiente de Regresión para Optimización.

COEFICIENTE	ESTIMADO
Constante	190.504
A: TEMPERATURA	-0.215
B: RPM	-0.0523437
C: TIEMPO DE GIRO	-3.215
AB	0.000109375
AC	0.0075

Nota. Esta tabla despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned} \text{OPTIMZACION} = & 190.504 - 0.215 * \text{TEMPERATURA} - 0.0523437 * \text{RPM} - 3.215 \\ & * \text{TIEMPO DE GIRO} + 0.000109375 * \text{TEMPERATURA} * \text{RPM} + 0.0075 \\ & * \text{TEMPERATURA} * \text{TIEM GIRO} + 0.000171875 * \text{RPM} * \text{TIEM GIRO} \end{aligned}$$

Tabla 19.*Resultados Estimados para Optimización.*

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
<i>1</i>	96.0	96.2417	93.6351	98.8482
<i>2</i>	95.7	95.9417	93.3351	98.5482
<i>3</i>	94.6	94.8417	92.2351	97.4482
<i>4</i>	95.0	95.2417	92.6351	97.8482
<i>5</i>	96.7	96.9417	94.3351	99.5482
<i>6</i>	99.4	99.6417	97.0351	102.248
<i>7</i>	96.4	96.6417	94.0351	99.2482
<i>8</i>	99.8	100.042	97.4351	102.648
<i>9</i>	95.6	96.9417	96.1174	97.7659
<i>10</i>	97.6	96.9417	96.1174	97.7659
<i>11</i>	98.1	96.9417	96.1174	97.7659
<i>12</i>	98.4	96.9417	96.1174	97.7659

Nota. Esta tabla contiene información acerca de los valores de optimización generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) Los valores observados de optimización (si alguno)
- (2) El valor predicho de optimización usando el modelo ajustado
- (3) Intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Promedio de 4 puntos centrales = 97.425

Promedio de las predicciones del modelo al centro = 96.9417

Tabla 20.*Camino de Máximo Ascenso para Optimización.*

TEMPERATURA	RPM	TIEM GIRO	Predicción para OPTIMIZACION
(°C)	(rpm)	(s)	(%)
425.0	960.0	25.0	96.9417
426.0	955.806	26.6862	97.2685
427.0	953.174	28.2367	97.5956
428.0	951.702	29.6932	97.9286
429.0	951.139	31.0809	98.2709
430.0	951.312	32.416	98.6247

Nota. Esta tabla muestra el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar la OPTIMIZACIÓN. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando TEMPERATURA en incrementos de 1.0 °C.

Tabla 21.*Optimización*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
TEMPERATURA	415.0	435.0	435.0
RPM	800.0	1120.0	1120.0
TIEMPO DE GIRO	15.0	35.0	35.0

Nota. Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la optimización.

Valor óptimo = 100.042

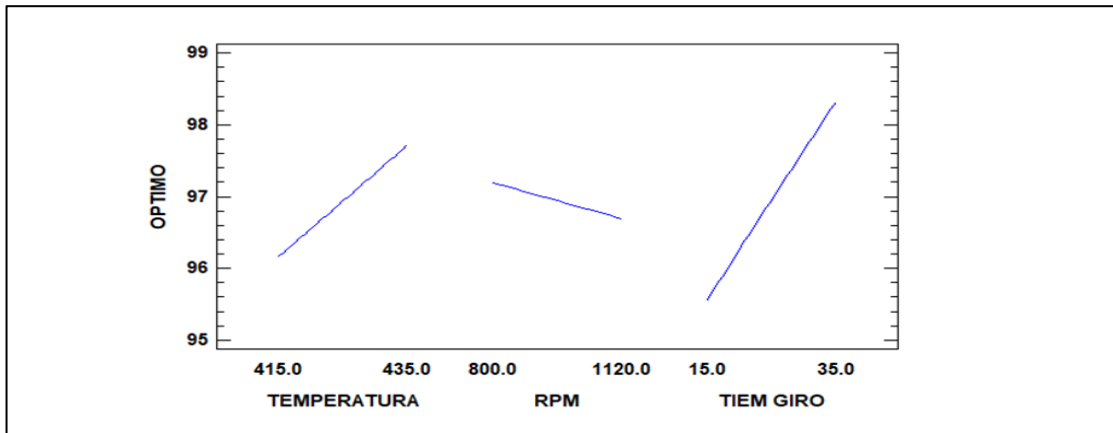
Temperatura = 435°C

RPM = 1120 rpm

Tiempo de giro = 35 segundos.

Figura 18.

Grafica de Efectos Principales para la optimización.



Nota. La figura muestra los efectos de cada una de las variables para la optimización. Cuanta mayor temperatura de colada y mayor tiempo de centrifugado y revolución moderado la obtención de piezas de calidad será mejor.

4.9. COSTOS DE INVERSION Y PRODUCCION

4.9.1. *Costos De Inversión para instalar la fundición centrifuga*

Tabla 22

Costo de fabricación de horno de crisol.

Materiales	Cantidad	Costo unit. s/.	Costo s/.
Ladrillo refractario	20	5.00	100.00
Concreto refractario bolsa x 5 kilos	5	18.90	94.50
Arena silícea	1	50.00	50.00
Yeso	1	7.00	7.00
Manómetro 160 psi 2"	2	83.00	166.00
Manómetro 10 psi 2"	2	55.00	110.00
Reductor galvo 1/2" a 1/4"	1	6.00	6.00
Niple galvanizado 1/2x3	2	4.20	8.40

Tee galvanizado ½"	2	3.90	7.80
Niple galvanizado ¾x2"	1	3.90	3.90
Tee galvanizado de ¾	1	3.50	3.50
Terminal para mangera 3/8"x1/4 NPI	2	3.50	7.00
Abrazadera para manguera de acero inox	4	39.90	159.60
Lamina de acero negra 1/8px2x1MI	2	148.00	148.00
Lamina de acero negra a/16px2x1MP	2	116.90	116.90
Electrodo E-6011 indura x 5kg	1	58.60	58.60
Electrodo supercito 1kg	1	14.90	14.90
Manguera para cocina de 6 mteros calidda 3/8"	6	144.50	144.50
Válvula de bola galvanizada 3/8"	1	102.00	102.00
Tubo de cobre 3/8"	2	165.00	324.00
Válvula de bola ¼"	1	107.00	107.00
Fibra cerámica 2"x24"x150 NITRON (1260°C)	2	220.00	240.00
Tela para caldero	4	7.50	30.00
Grasa para carrete	1	25.00	25.00
Motor del ventilador 1HP	1	375.00	375.00
Lamina de acero para cubierta de ventilador	1	85.00	85.00

COSTO DECONSTRUCCION

Supervisor	1	150.00	150.00
Técnicos	2	120.00	240.00
Ayudante	1	50.00	50.00
Soldador	2	65.00	130.00
Imprevistos			500.00
Costo total de fabricación del horno			3 564.60

Nota: La tabla muestra los costos de construcción del horno de crisol, incluye todos los costos y de la ventiladora.

Tabla 23.

Costo de Inversión de la Fundición Centrifuga

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNIT. S/.	COSTO S/.
Horno	1	4 600.00	3 564.60
Crisol	4	150.50	602.00
Vulcanizadora	1	3 500.00	3 500.00
Centrifugadora	1	7 000.00	7 000.00
Balón De Gas	2	250.00	500.00
Gas Propano	2	120.00	240.00
Molde	10	250.00	2 500.00
Herramientas	-	-	800.00
Otros	-	-	400.00
TOTAL			19 106.60

Nota: La tabla muestra los costos de cada equipo que se requiere para la instalación de un equipo de fundición centrifugado, el costo de otros es un coeficiente de seguridad para respaldar el costo de algún inconveniente en este caso es el 2% del costo total.

4.9.2. Comparación De Costos De Producción

La comparación de costos que se realiza en esta investigación será la inversión que se realiza para fundir los 4 kilogramos de zamak-3 con la maquinaria de fundición centrifugado con respecto a la inversión que se realiza para fundir 4 kilogramos de manera convencional de la fundición en la empresa D&G fundiciones, mármoles y granito.

4.9.2.1. Costos De Fundición y Producción de imágenes de zamak-3 de manera Convencional

Los costos de producción de fundición de 4 kilogramos serán valorizados desde el momento del moldeo en yeso a la cera perdida.

Tabla 24.

Costo de Energía.

EQUIPO	POTENCIA	HRS TRABAJADAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Motor del quemador	0.75 KW	1 hora	0.75 X KW	0.6 SOLES
Inyectora de cera	0.75 KW	1 min	0.75 X KW	0.6 SOLES
Alumbrado	0.9 KW	3 horas	0.75 X KW	2.03 SOLES
			SUB TOTAL	3.23 SOLES

Nota. La tabla muestra el consumo de energía de acuerdo al tiempo usado para producir 6 piezas de bisutería en zamak.

Tabla 25.

Costo de Mano de Obra.

	HRS	S/. JORNADA	HRS/PROD.	MONTO/PROD.
Supervisor	8	s/. 65.0	2 hrs	s/. 16.25
Moldeador	8	s/. 50.0	3 hrs	s/. 18.75
Fundidor	8	s/. 55.0	1.5 hrs	s/. 10.30
Colador	8	s/. 50.0	0.5 hrs	s/. 3.13
Ayudante	8	s/. 45.0	2 hrs	s/. 11.25
			SUB TOTAL	s/. 59.68

Nota. ¿Se muestra en la tabla el costo de mano de obra ejemplo si un trabajador trabaja 8 horas y gana 50 soles entonces la pregunta sería para 1 hora de trabajo cuanto será?, es el tiempo que se demora en poder producir los 4 kilogramos de zamak-3 fundido.

Tabla 26.*Costo de Materiales.*

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Zamak	1 kg	s/. 4.6	s/. 18.40
Combustible (gas)	25 kg	s/. 38.0	s/. 38.00
Cera	1 kg	s/. 3.0	s/. 3.00
Yeso cerámico	7 kg	s/. 5.0	s/. 35.00
Otros	-	s/. 10.00	s/. 10.0
SUB TOTAL			s/. 104.40

Nota. La tabla muestra los costos de los materiales a usar para fundir y producir imágenes de zamak-3 en este caso de manera tradicional usando el yeso cerámico.

Tabla 27.*Inversión Total para fundir y producir imágenes con 4 kilogramos de zamak-3*

DESCRIPCION	COSTO DE PRODUCCION
Costo De Energía	s/. 3.23
Costo De Mano De Obra	s/. 59.68
Costo De Material	s/. 104.40
TOTAL	S/. 167.31

Nota. La tabla muestra la suma total de los costos de producción para poder producir 6 pizas de bisutería en zamak sin el uso de la tecnología de centrifugado, lo que suma un total de 84.39 soles.

4.9.2.2. Costo De fundición y Producción de imágenes con 4 kg de zamak-3 con centrifugado.

Tabla 28.

Costo de Energía.

EQUIPO	POTENCIA	HRS TRABAJADAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Motor del quemador	0.75 KW	1 hora	0.75 X KW	0.6 SOLES
Motor del Centrifugado	1.5 KW	6 min	0.75 X KW	0.2 SOLES
Alumbrado	0.9 KW	3 horas	0.75 X KW	2.03 SOLES
SUB TOTAL				1.60 SOLES

Nota. En la tabla se puede apreciar la suma de los costos de consumo de energía de cada equipo que se va a usar para la producción de imágenes de zamak-3 con los 4 kg.

Tabla 29.

Costo de Mano de Obra.

	HRS	S/. JORNADA	HRS/PROD.	MONTO/PRROD.
Supervisor	8	s/. 65.0	1.5 hrs	s/. 12.20
Moldeador	-	-	-	-
Fundidor	8	s/. 55.0	1 hrs	s/. 6.88
Colador	8	s/. 50.0	0.25 hrs	s/. 1.60
Ayudante	8	s/. 45.0	1.5 hrs	s/. 8.43
SUB TOTAL				s/. 29.11

Nota. La tabla muestra la suma del costo de mano de obra invertidos en la producción de imágenes de zamak-3, moldeador no existe en este caso porque los moldes a usar son de silicón reutilizables a diferencia del convencional a moldes de yeso.

Tabla 30.*Costo de Materiales.*

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Zamak	1 kg	s/. 4.6	s/. 18.40
Combustible (gas)	25 kg	s/. 38.0	s/. 38.0
Cera	-	-	-
Yeso cerámico	-	-	-
Otros	-	s/. 10.00	s/. 10.00
SUB TOTAL			s/. 66.40

Nota. En la tabla se aprecia los costos de materiales a usar para en la fundición centrífuga, varios materiales no fueron considerados porque en este tipo de proceso no se usan más.

Tabla 31.*Costos de Operación para Producir imágenes con 4 kg de zamak-3*

DESCRIPCION	COSTO DE PRODUCCION
Costo De Energía	s/. 2.83
Costo De Mano De Obra	s/. 29.11
Costo De Material	s/. 66.40
TOTAL	S/. 98.34

Nota. La tabla muestra la suma total de los costos para la producción de imágenes con 4 kilogramos de zamak-3.

La capacidad del horno de fundición diseñado es de 4000 gramos de zamak-3 y cada pieza tiene un peso de 120 gramos, la cantidad de piezas a obtener es:

$$Cant_p = \frac{4000g \text{ de zamak}}{120 g/pieza} = 33.33 \text{ piezas de zamak} - 3$$

El molde solo permite la producción de 6 piezas por cada centrifugado así que la cantidad de centrifugados que requerimos para producir 33 piezas de zamak-3 fundido es:

$$Cant_{cent} = \frac{33 \text{ piezas}}{6 \text{ piezas/centrifugado}} = 5.5 \cong 6 \text{ centrifugados}$$

4.9.2.3. Resumen De Comparación De Costos De Producción.

Tabla 32.

Tabla de Comparación de Costos de Producción.

FUNDICION CONVENCIONAL		FUNDICION CENTRIFUGA	
Energía	s/. 3.23	Energía	s/. 2.83
Mano De Obra	s/. 59.68	Mano De Obra	s/. 29.11
Material	s/. 104.40	Material	s/. 66.40
TOTAL, S/.	S/. 167.31	TOTAL, S/.	S/. 98.34

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos tipos de fundición, utilizado anteriormente la fundición convencional y la instalada fundición centrífuga, la diferencia de costo es de 68.97 soles más utilizando la fundición convencional y utilizando la centrífugadora esta diferencia ingresa netamente a las ganancias de la empresa, lo cual representa el 41% de ganancia.

$$\text{diferencia} = 167.31 - 98.34 = 68.97 \text{soles}$$

$$167.31 \text{ soles} \text{ ----- } 100\%$$

$$68.97 \text{ soles} \text{ ----- } X$$

$$x = 41\%$$

V. CONCLUSIONES

1. Los cálculos teóricos de dimensionamiento y diseño de fundición centrífuga son los siguientes parámetros; 1465 rpm de giro para la centrifugadora, 410 a 430 °C de temperatura de colado, 25 segundos de tiempo de giro, 7543.44 kJ de calor necesario para fundir, 1533 kcal de calor perdido al ambiente y 1.7 m³ de gas propano requerido. Estos datos fueron la base principal para fabricar los equipos de fundición centrifugado y su posterior optimización.
2. Los parámetros óptimos obtenidos según el diseño óptimo para la centrifugadora, 435°C de temperatura óptima de colado y 35 segundos óptimos de tiempo de centrifugado. Aplicando estos parámetros se obtuvo productos de buena calidad y a menor costo.
3. Habiendo desarrollado el costo de producción con el método tradicional en el resultado de la Tabla 28 es la suma de S/. 167.31 y el costo de producción con la tecnología del centrifugado el resultado es la suma de S/. 98.34. Claramente refleja la resta 68.97 soles, lo que representa el 41% de ganancia con la utilización de la tecnología centrifugado, y piezas de muy buena calidad ya que el centrifugado distribuye uniformemente el zamak fundido en el interior del molde, con esto se concluye que la utilización de la fundición centrifugado se obtiene productos de muy buena calidad y al menor costo.

VI. RECOMENDACIONES

Se debe ejecutar la implementación de la tecnología fundición centrifugado siempre y cuando se haya demostrado mediante los cálculos teóricos la optimizabilidad y la rentabilidad financiera. El estudio teórico debe realizarse periódicamente para seguir optimizando y seguir mejorando la calidad con el uso de las nuevas tecnologías, además se debe hacer un seguimiento continuo de la calidad obtenida del producto final para realizar las modificaciones necesarias al estudio.

Con respecto a las rebabas de la fundición y las partículas desprendidas en el lijado del acabado final se debe de reciclar para así poder generar un ingreso extra de material fundente.

Las optimizaciones usando la tecnología de la fundición centrifugado debe optimizarse periódicamente en busca de parámetros más estables; también se debe de realizar la optimización de la pieza a obtener mediante la derivación y la segunda derivación buscando el mínimo posible de material a usar y obtener piezas con menos material zamak-3.



VII. REFERENCIAS

- Chanataxi, C. E. (2017) Diseño de bisutería artesanal con chatarra para mujeres de 20 a 35 años de la ciudad de Ambato. Tesis Universidad Técnica de Ambato Ecuador.
- Orellano, G. (2017) Importación de bisutería desde la China y su comercialización en el Perú. Tesis Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos USMP Lima Perú.
- Flores, A. (2013) Optimización del proceso de vaciado de zamak 3 en molde permanente mediante técnicas estadísticas y cómputo suave. Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología con Especialidad en Sistemas de Manufactura Avanzada. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
- Caltenco, R. (2009) Diseño y construcción de una máquina de colada centrífuga para aleaciones de bajo punto de fusión: Instituto Politécnico Nacional.
- Carrasco, H. (2016) Propuesta de un sistema de mantenimiento total para mejorar la eficiencia del Área Centrífugas en la Empresa Agroindustrial Tumán 2016. Universidad César Vallejo
- Conesa, V. (1993). Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental (Segunda ed.). Madrid: Mundi – Prensa.
- Domínguez, J. & Pérez, O. (2016) Diseño de un prototipo de colada centrífuga horizontal para producir tubos de aluminio. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México- Facultad de Ingeniería.
- Flores, J. (2012) Diseño de un sistema automático para el accionamiento del horno de crisol y colado centrífugo vertical para el taller de fundición de la universidad francisco de paula santander Ocaña. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Geldres, S. R. (2011) Fabricación centrífuga de 186 camisetas navales con hornos de inducción Universidad Nacional de Ingeniería.
- Duber, H. (2003) Manual de construcción de maquinas
- Hernández, Fernández, & Baptista. (2003). Metodología de la Investigación. México D.F.: McGraw-Hill.
- Michael, M. (2013) Metalurgia y Metalistería Industrias manufacturas
- Ramsden@, (2006) Industria de fundición de aluminio con molde permanente. Visitado en septiembre de 2020. <http://www.ramsden.on.ca/default.htm>
- Gerling, H. (1979) “Moldeo y conformación”. España, Editorial Reverté, S.A., 1979. ISBN 84-291-6051-5.
- Begeman. Procesos de manufactura. México. Compañía editorial continental S.A. de



C.V.

Industrialism@, Pagina que describe los distintos procesos de fundición. Visitado en abril de 2020.

<http://www.geocities.com/usmindustrial/Fundicion.html>

Edoardo, C “tecnología de la fundición”

Cordis, (2004) Tecnologías Industriales, “fundicion centrifuga”, proyecto. articulo

<https://www.cordis.europa.eu/article/id/82614-centrifugal-casting/es>

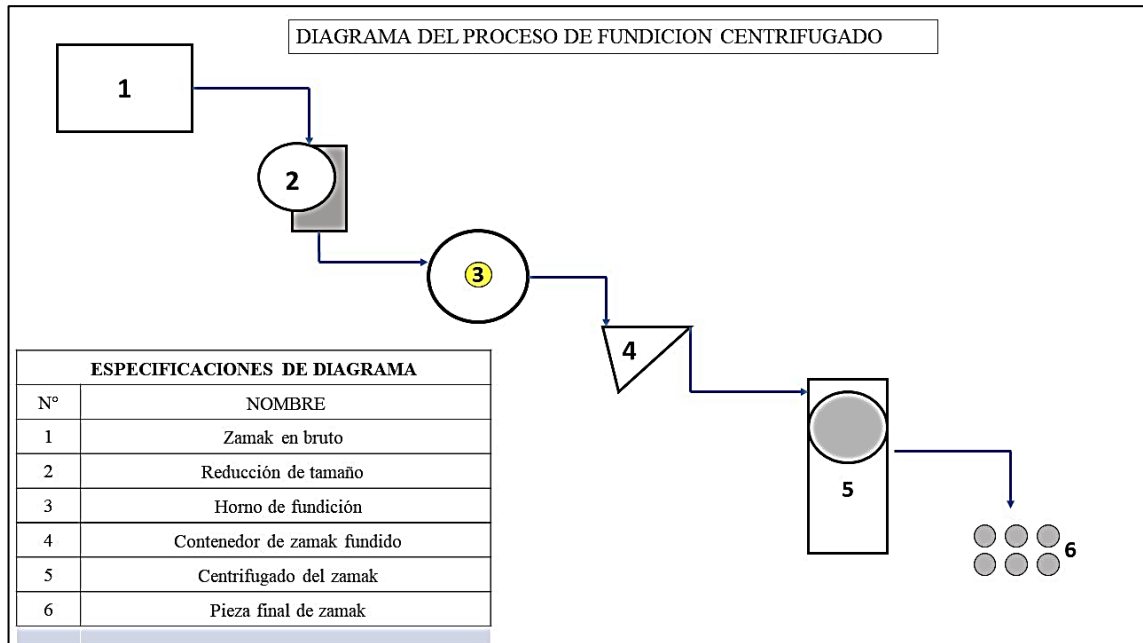
Casals, P. (2020) “cuota de mercado de fundición, crecimiento 2021 por los principales fabricantes, pronostico 2026”, JimenezGamers news
<https://jimenezgamers.com/presione-soltar/103397/cuota-de-mercado-de-equipo-de-fundicion-crecimiento-tamano-2021-por-los-principales-fabricantes-mercado/amp>

Rodríguez, E. (2021) articulo: “tendencia de equipos de fundición de mercado”
<https://obregondigital.pe/2021/03/15/equipo-de-fundicion-mercado-2021-tendencias-comerciales-globales-analisis-historico-estrategias-clave-de-la-industria/>

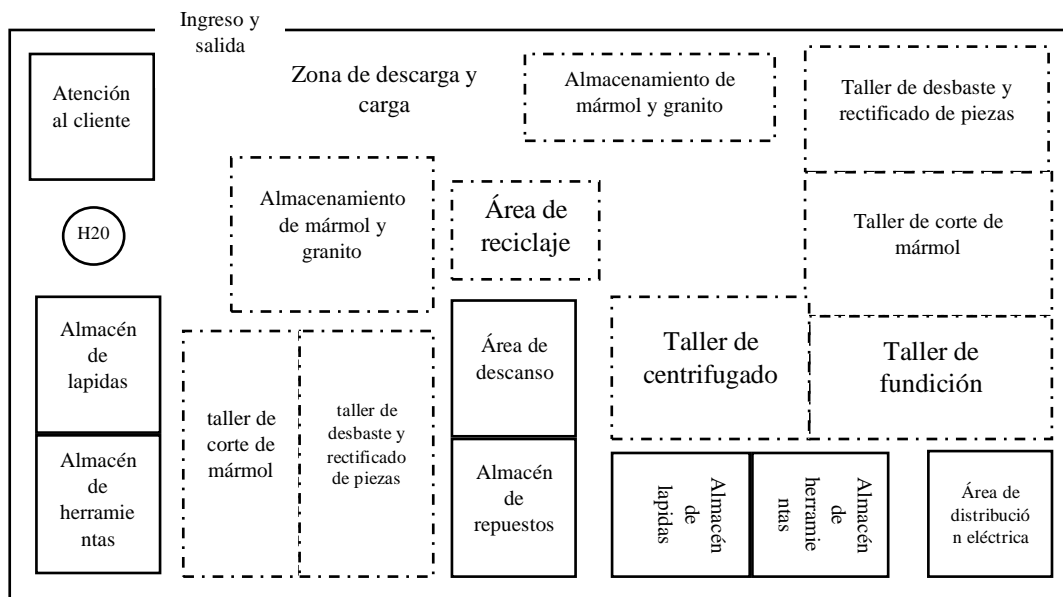
Huilca, L. (2012) “Obtención De Tubos Sin Costura Por El Proceso De Colado Por Centrifugado Horizontal”. Tesis, Escuela Politécnica Nacional-Facultad De Ingeniería Mecánica-Quito

ANEXOS

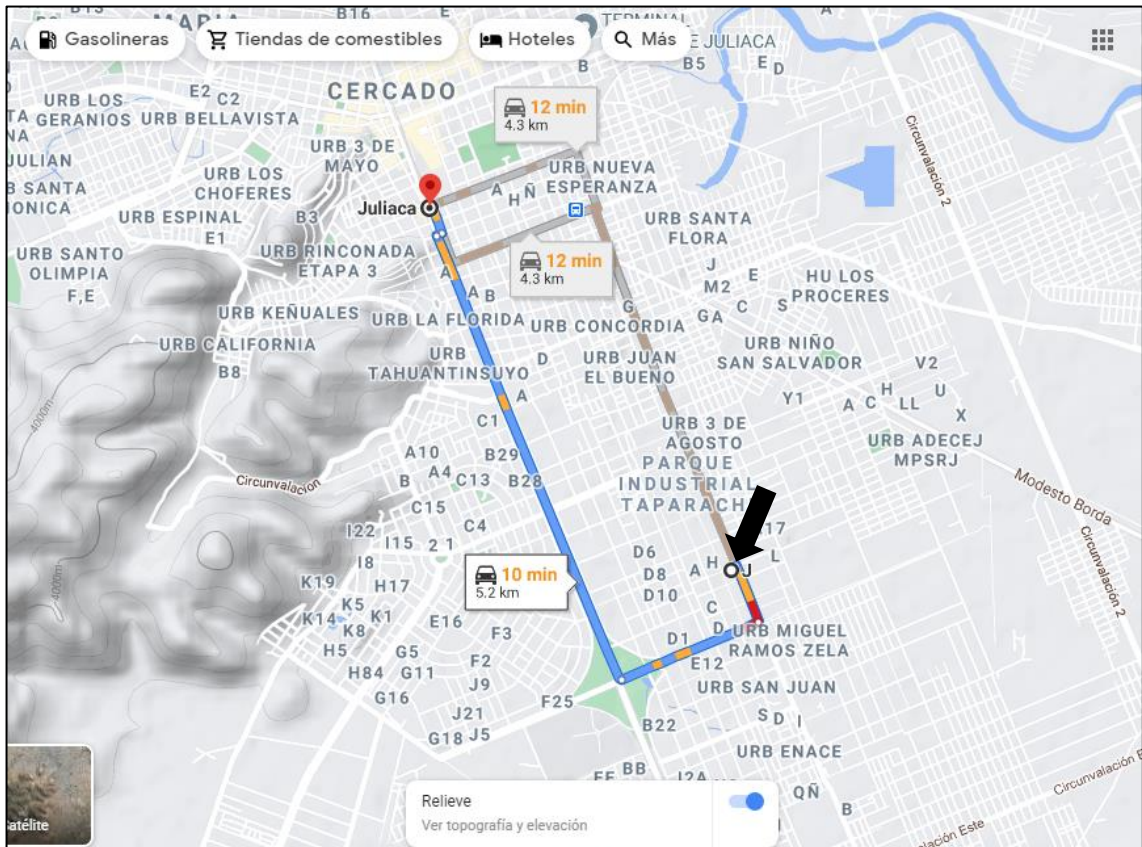
ANEXO 1. DIAGRAMA DE LA PLANTA DE FUNDICION DE ZAMAK.



ANEXO 2. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS TALLERES.



ANEXO 3. UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA PLANTA.



ANEXO 4. FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO DE CENTRIFUGADO.





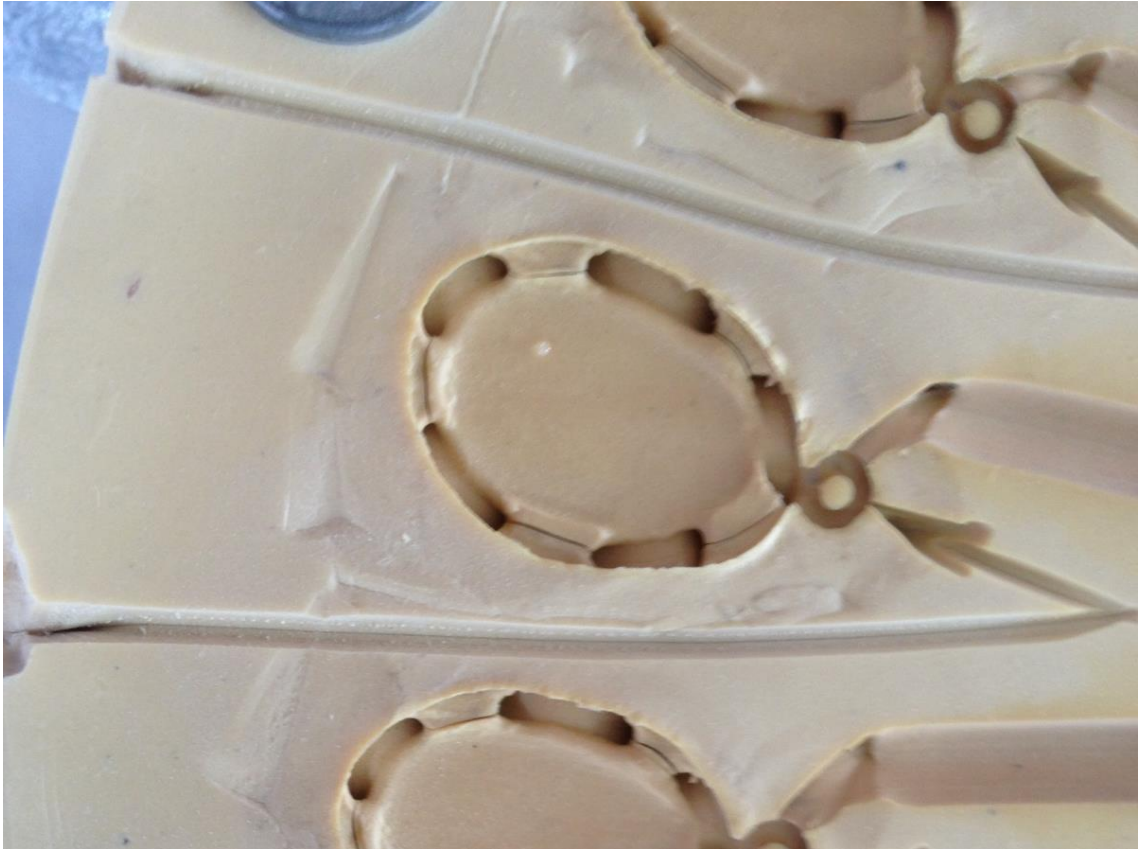
ANEXO 5. FOTOGRAFIAS DEL HORNO DE FUNDICION.





ANEXO 6. FOTOGRAFIAS DE LAS PIEZAS OBTENIDAS.





ANEXO 7. ANALISIS QUIMICO DE LABORARIO EN LA SALIDA DEL HORNO


Análisis Químico de Minerales y metales
RUC: 20452827671
Av. Panamericana Sur S/N (Frente Oleocentro Zavaleta),
Vista Alegre-Nasca
Teléfono: (056) 524060
Claro: RPC 956 725178
Movistar: 955 506006
RPM #116006
informes@labperu.com

REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA

CERTIFICADO DE ANALISIS QUIMICO

FECHA: noviembre 15 de 2020
CLIENTE: Diana Saida Mullisaca Soncco
MATERIAL: ZAMAK-3
LOTE: zamak centrífugado
CANTIDAD ENTREGADA: MUESTRA

ZAMAK	ELEMENTOS RECONOCIDOS	COMPOSICIÓN GARANTIZADA (porcentaje en peso)
Z-3	Aluminio	3.90 - 4.1
	Cobre	0.25 - 0.28
	Magnesio	0.05 - 0.03
	Hierro	0.1 max
	Plomo	0.005 max
	Cadmio	0.004 max
	Estaño	0.003 max
	Zinc	95.688 r


Ing. Hemel Arribia López
Aseguramiento de la calidad