



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



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PERMANENTES EN
BRONCE PARA FABRICACION DE CABEZAS DE LEON
ORNAMENTALES DE ALUMINIO, EN LA EMPRESA
FABRIMETX, ESPINAR – CUSCO

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. RAUL WILBERT QUISPE TOLEDO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

Mi tesis se lo dedico con toda mi gratitud al divino creador, quien me dio la vida, salud y sabiduría el cual me ha concedido culminar con este propósito.

A mis estimados padres, Don ANICETO y Doña TOMASA, quienes han permitido llegar hasta este momento.

A mi estimada pareja LUCENDA quien me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento

A mis pequeños ÁNGEL, MILNER y ARELI. por ser el motor y motivo para conseguir el anhelado sueño en mi vida personal y profesional.

No puedo terminar sin antes expresar, que sin el apoyo de ustedes quizá no se habría logrado lo que siempre quisieron verme triunfando profesionalmente, y solo indicare solo sé que hoy aparece más retos que vencer y problemas que resolver.

R. Quispe



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, y mi gratitud a la gran familia de (docentes, administrativos) de mi Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica a mis estimados ingenieros docentes quienes con sus enseñanzas y conocimientos me ayudaron a forjar, pulir mis conocimientos y mi carácter como profesional.

Agradecer a mis jurados calificadores, al **Dr. Pedro Álvaro Edwin Gallegos Pasco**, Dra. Darssy Argelida Carpio Ramos. Ing. Hipólito Córdova Gutiérrez

A su vez, quiero mostrar mi reconocimiento y agradecimiento a mi director y asesor de tesis. Ing. Hugo Benito Fernández Ochoa, por su ardua predisposición al desarrollo de este trabajo y su espíritu de colaboración.

También agradecer la empresa FABRIMETX Por su confianza y las facilidades proporcionadas durante la elaboración de este proyecto de investigación. Gracias a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la elaboración del proyecto de investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1.	PROBLEMA GENERAL.....	17
1.2.2.	PROBLEMA ESPECIFICOS.....	17
1.3.	JUSTIFICACIÓN	17
1.4.	OBJETIVOS.....	18
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL	18
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5.	HIPÓTESIS	19
1.5.1.	HIPÓTESIS GENERAL	19
1.5.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICO.....	19

CAPITULO II

REVISION LITERARIA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.	20
2.2.	DISEÑO	24
2.3.	ROUTER CNC.....	31
2.4.	MOLDES METALICOS PERMANENTES.....	36
2.5.	TIPOS DE MOLDES PERMANENTES.....	39
2.6.	TIPOS DE HORNOS PARA LA FUSIÓN DE ALUMINIO	46
2.7.	BRONCE.....	52
2.8.	TIPOS DE BRONCES	54



2.9.	APLICACIONES MAS COMUNES DEL BRONCE.....	57
2.10.	METALURGIA DE LA ALEACIÓN DEL BRONCE.....	57
2.11.	PIEZAS ORNAMENTALES	62
2.12.	ALUMINIO.....	63
2.13.	USOS DEL ALUMINIO.....	82
2.14.	PROCESO DE RECICLAJE DE ALUMINIO	83
2.15-	SOLIDIFICACIÓN	85
2.16-	DISEÑO DE RISERS.....	90

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1-	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	97
3.2-	DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.	97
3.3-	PARAMETRO DE DISEÑO.	98
3.4-	PROCESO ACTUAL DE PRODUCCION DE ORNAMENTO.....	98
3.5-	FABRICACIÓN DEL MOLDE DE BRONCE.	102
3.6-	DISEÑO DE LEON:	110
3.7-	ENSAMBLADO DEL MOLDE:	122

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1-	PARÁMETROS EXPERIMENTALES.....	125
4.2-	FUNDICION DEL ALUMINIO.	126
4.3-	PRIMERA PRUEBA EXPERIMENTAL.....	127
4.4-	SEGUNDA PRUEBA EXPERIMENTAL.....	129
4.5-	TERCERA PRUEBA EXPERIMENTAL.	131
4.6-	CUARTA PRUEBA EXPERIMENTAL.	132
4.7-	CALCULO DE PRODUCCION.....	132
4.8-	CALCULO DE GAS CONSUMIDO.....	132
4.9-	CALCULO DE ALUMINIO CONSUMIDO.	132
4.10-	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.	133
4.11-	ACAVADO DE PIEZAS ORNAMENTALES.....	134
4.12-	ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO.....	135
4.13-	ANLISIS ECONOMICO DE FUNDICION EN ARENA.	141
4.14-	ANALISIS COMPARATIVO.....	145

V. CONCLUSIONES.....	146
-----------------------------	------------



VI. RECOMENDACIONES	147
VII. REFERENCIAS.....	148
ANEXOS.....	151

ÁREA : Metalurgia transformativa.

TEMA: Diseño y construcción de moldes permanentes.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 de enero 2020.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Router CNC.....	32
Figura 2.	Molde metálico.....	40
Figura 3.	Fundición al vacío.....	41
Figura 4.	Esquema de una máquina de alta presión con cámara caliente.....	44
Figura 5.	Esquema de una máquina de inyección a alta presión con cámara fría.....	45
Figura 6:	Horno de crisol.....	47
Figura 7.	Horno basculante.....	49
Figura 8.	Horno reverbero.....	49
Figura 9.	Horno de inducción magnética.....	51
Figura 10.	Toros de bronce en la avenida ejército "AREQUIPA".....	57
Figura 11.	Diagrama de fase de cobre estaño.....	58
Figura 12.	Metalografía de bronce fosforoso 90% Cu y 10% Sn. (Morral, 1985).....	59
Figura 13.	Microestructura de bronce emplomado.....	59
Figura 15.	Propiedades típicas a diferentes temperaturas.....	61
Figura 16.	Variación a la resistencia a la compresión con la temperatura.....	61
Figura 17.	Variación del módulo de elasticidad con la temperatura.....	62
Figura 18.	La bauxita.....	63
Figura 19.	Proceso de producción de aluminio primario.....	71
Figura 20.	Proceso de producción de alúmina.....	73
Figura 21.	Electrolisis de aluminio.....	75
Figura 22.	Usos del aluminio.....	83
Figura 23.	Simbología de reciclaje de aluminio.....	83
Figura 24.	Proceso de reciclaje del aluminio.....	84
Figura 25.	Curva de enfriamiento durante la solidificación.....	86
Figura 26.	Nucleación. fuente: (MARKS, 2014).....	86
Figura 27.	Curva de enfriamiento de un metal aleado. Fuente: (MOLSALVE, 2017) ..	87
Figura 28.	Vaciado del metal. Fuente: (MARKS, 2014).....	87
Figura 29.	Nucleación Fuente: (MARKS, 2014).....	88
Figura 30.	Solidificación de una aleación. la transición de líquido a sólido y descenso de la temperatura. Fuente: (MARKS, 2014).....	88
Figura 31.	Diferencia de solidificación de metales puros y aleados. Fuente: (MARKS, 2014).....	88



Figura 34.	Formas de risers. Fuente: (PARDO, 2019)	92
Figura 35.	Riser lateral, ovalado y ovalado Fuente: (PARDO, 2019).....	92
Figura 36.	Perdida de calor de riser. Fuente: (PARDO, 2019).....	93
Figura 37.	Dirección de perdida de calor. Fuente: (PARDO, 2019)	93
Figura 38.	Perdida de calor. Fuente: (PARDO, 2019).....	94
Figura 39.	Riser lateral. Fuente: (PARDO, 2019)	94
Figura 40.	Riser superior.	95
Figura 41.	Superior central	95
Figura 42.	Riser ciego. Fuente: (PARDO, 2019).....	96
Figura 43.	Anidamiento de leones. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	101
Figura 44.	Vista frontal lingotera de acero A36.	104
Figura 45.	Vista de planta de lingotera de acero A36.....	105
Figura 46:	Vista lateral de lingotera de acero A36.....	106
Figura 47.	Vista lateral de plataforma lingotera de acero A36.....	107
Figura 48:	Vista frontal plataforma de lingotera de acero A36.....	108
Figura 49.	Lingotera de acero A36. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	109
Figura 50.	Fundición de bronce.	110
Figura 51.	Dibujo en escala grises. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	111
Figura 52.	Levantamiento en 3D. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	111
Figura 53.	Programación del área de trabajo.	112
Figura 54.	Posicionamiento del diseño. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	113
Figura 55.	Vista lateral del diseño. Fina cortesía: Quispe Toledo.....	113
Figura 56.	Modelo invertido	114
Figura 57.	Elección de herramienta de desbaste 4mm.	115
Figura 58.	Dimensionamiento del material.	115
Figura 59.	Trayectoria de desbastado.	116
Figura 60.	Trayectoria con la herramienta de 0.6mm.....	116
Figura 61.	Mecanizado de acabado. con herramienta de 0.15mm.....	117
Figura 62.	Router CNC.....	117
Figura 63.	Cargando trayectoria de mecanizado.	118
Figura 64.	Controlador CNC A11S A11E 3 ejes.....	119
Figura 65.	Posicionamiento de la herramienta.	119
Figura 66.	Inicio de la mecanización.	120
Figura 67.	Mecanización finalizada. Fina cortesía: Quispe Toledo.	120



Figura 68.	Diseño de riser.....	122
Figura 69.	Perforando para perno de anclaje $\frac{1}{4}$	123
Figura 70.	Molde nuevo de bronce.	126
Figura 71.	Molde cerrado vista de planta.	127
Figura 72.	Apertura del molde y extracción del producto.	127
Figura 73.	Producto de la primera colada.	128
Figura 74.	Diferentes coladas.	129
Figura 75.	Colada en la segunda prueba.	130
Figura 76.	Producto de diferentes coladas.	130
Figura 77.	Molde a 400°C.	131
Figura 78.	Antes del proceso de pintado. Fina cortesía: Quispe Toledo.	134
Figura 79.	Aplicado con pintura.	134



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Pesos máximos, dimensiones máximas, márgenes de los espesores de pared y aspereza de las fundiciones a presión.	46
Tabla 2.	Datos para una aleación promedio con 89% de cobre y 11% de estaño.....	53
Tabla 3.	Aleaciones de bronce fosforosos.....	54
Tabla 4.	Aleación de bronce antifricción.....	55
Tabla 5.	Aleación bronce al aluminio.....	55
Tabla 6.	Aleaciones bronce al manganeso.....	56
Tabla 7.	Requerimientos mecánicos. (ASTM, 2000)	60
Tabla 8.	Propiedades físicas, más notables del aluminio puro.	66
Tabla 9.	Propiedades mecánicas más relevantes del aluminio.	68
Tabla 10.	Descripción de las propiedades más relevantes del aluminio.....	69
Tabla 11.	Menas no útiles.....	70
Tabla 12.	Menas de aluminio “óxidos hidratados”.....	70
Tabla 13.	Porcentaje de producción del aluminio por país, 2017.....	76
Tabla 14.	Producción de aluminio por principales productores,2017	76
Tabla 15.	Producción histórica del aluminio, 2008-2017	78
Tabla 16.	Producción histórica del aluminio, 2008-2017	78
Tabla 17.	Proyección de la producción de aluminio,2018-2035	80
Tabla 18.	Proyección de la producción de aluminio, 2018-2035	80
Tabla 19.	Puntos de fusión de metales puros.....	85
Tabla 20.	Contracción de solidificación de las aleaciones.	89
Tabla 21.	Contracción sólida, de las principales aleaciones.....	90
Tabla 22.	Herramientas para moldear leones.....	99
Tabla 23.	Procedimiento de fabricación de león ornamental.....	100
Tabla 24.	Propiedades generales del bronce y aluminio.....	102
Tabla 25:	Maquinas herramientas y materiales para elaborar la lingotera.	109
Tabla 26.	<i>Fundición de bronce.</i>	110
Tabla 27.	Cálculo de volúmenes.....	121
Tabla 28.	Datos Ts. y Cm.	121
Tabla 29:	Tiempos de solidificación.....	121
Tabla 30.	Precios de materiales para molde permanente.....	136
Tabla 31.	Implementos de seguridad.	137



Tabla 32.	Maquinas e equipos.	137
Tabla 33.	Equipos y herramientas de fundición.....	138
Tabla 34.	Cotización de fundición del bronce y aluminio	138
Tabla 35.	Lingote de bronce para molde	138
Tabla 36.	Costo de ensamblaje.	139
Tabla 37.	Costos de materiales indirectos.....	139
Tabla 38.	Costo de operarios.	139
Tabla 39.	Costo de materia prima.	140
Tabla 40.	Operación del Horno.....	140
Tabla 41.	Costo total para elaboración de moldes permanentes.....	140
Tabla 42.	Herramientas de fundición.....	141
Tabla 43.	Maquinas e equipos.	141
Tabla 44.	Equipos y herramientas de fundición.....	142
Tabla 45.	Costo de producción en arena.....	142
Tabla 46.	Costo de operarios.	144
Tabla 47.	Costo de materia prima.	144
Tabla 48.	Operación del Horno.....	144
Tabla 49.	Costos totales.	145
Tabla 50.	Comparativo de inversión directa e indirecta	145
Tabla 51.	Inversión para producir.	145
Tabla 52.	Costo de producción.	145



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- CAD:** Diseño asistido por computadora
- CNC:** Control numérico computarizado
- CAM:** Mecanización asistido por computador



RESUMEN

El presente estudio, trata del diseño y construcción de moldes permanentes en bronce para fabricar piezas ornamentales de aluminio. En la provincia de ESPINAR- región CUSCO existe un consumo de piezas ornamentales por los talleres de soldadura de portones, puertas, ventanas y rejas. El cual le brinda un decorado agradable a este tipo de productos, En la actualidad en la empresa Fabrimetx produce piezas ornamentales a través de la fundición en arena en verde. Este método de fundición tiene ventajas y desventajas frente a los moldes permanentes. Por lo cual el propósito de este estudio es fabricar molde permanente usando material reciclado para fabricar el molde de bronce y para la producción de ornamentos como materia prima el aluminio reciclado, a través de la fundición de metales no ferrosos. Usando el método experimental para la fabricación de molde permanente con lo cual reproducir piezas ornamentales, nuestras poblaciones de ornamentos son (Estrella, rombo, media esfera, leones, rosas, puntas de lanza, esferas y etc.), para este estudio se ha tomado como una muestra el ornamento que mayor acogida que tiene el (león). El diseño se logró realizar en el software artcam. Usando la máquina herramienta “router CNC” para la mecanización de la cavidad del molde, y el ensamblado del molde se desarrolló en una chapa de acero en dos mitades, usando este molde permanente de bronce, logramos producir los leones ornamentales por colada directa obteniendo la pieza con buen detalle de superficie y acabado.

Palabras Clave: Diseño, Moldes, permanentes, bronce, y aluminio



ABSTRACT

The present study deals with the design and construction of permanent molds in bronze for the manufacture of ornamental pieces of aluminum. In the province of ESPINAR - CUSCO region there is a consumption of ornamental pieces for the workshops on welding of gates, doors, windows, and gates. Which gives you a set nice to this type of products, currently the company Fabrimetx produces ornamental pieces through the foundry sand in green. This casting method has advantages and disadvantages compared to permanent molds. Thus the purpose of this study is to fabricate mold permanent using recycled material for the manufacture of the bronze mold and for the production of ornaments such as raw material, aluminum recycling, through the casting of non-ferrous metals. Using the experimental method for the manufacture of mold-standing, which reproduce ornamental pieces, our stocks of ornaments are (Star, diamond, half-sphere, lions, roses, spear tips, spheres and etc), for this study has been taken as a sample of the ornament that in greater host who has the (lion). The design was accomplished in the software artcam. Using the machine tool “CNC router” for the machining of the cavity of the mold, and the assembling of the mold is developed in a sheet of steel into two halves, using this mold, permanent bronze, we can produce the lions ornamental casting getting the piece with good detail and surface finish.

Key Words: Design, molds, permanent, bronze, and aluminum



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos de la civilización humana se han fabricado adornos en arcillas, piedras y metales en el mundo entero, y los países desarrollados industrialmente lo tecnificaron la producción de piezas ornamentales a través de la fundición de metales. Como todos sabemos, América latina no es tan mencionado en su desarrollo tecnológico, a diferencia de Estados Unidos, Japón, China y Rusia etc. El más desarrollado en la fundición en América latina es el país vecino Brasil, en Perú tenemos algunas fundiciones resaltantes como fundición Callao, Chilca y Alianza Metalúrgica, etc. Estas empresas realizan trabajos para minería y construcción. Dejando una gran oportunidad para emprendedores en la fundición de piezas ornamentales. En cualquier lugar del territorio nacional. Las empresas localizadas en Lima, Arequipa, aun no cubren el mercado de las regiones como CUSCO, MADRE DE DIOS y otras. En la provincia de ESPINAR región CUSCO existe una permanente demanda de piezas ornamentales para la decoración de productos elaborados a base de soldadura como son puertas, portones, ventanas, bancas y rejas, etc. Actualmente la empresa Fabrimetx que se dedica a la fabricación de piezas ornamentales, lo desarrolla en moldes de arena y de forma artesanal. Para revertir todo ello es que se propone el presente estudio.

Fabricación de moldes permanentes en bronce, el diseño y fabricación de estos moldes permitirán la producción en serie de piezas ornamentales.

El diseño de investigación que se utiliza es tecnológico, el tipo de investigación es de taller y bibliográfico y el nivel investigativo de carácter descriptiva-experimental, además para el cálculo e interpretación estadística se usará en el software MICRO SOFT EXCEL



Primer capítulo se desarrolla el planteamiento de la problemática por la cual nos ha motivado al desarrollo del presente estudio, y planteamiento de mis objetivos

Segundo capítulo: las bases teóricas son el soporte del desarrollo de este estudio en particular mencionando el diseño en general y el diseño industrial, el software que se usa en el diseño de los modelos y moldes, los moldes metálicos permanentes, el bronce y sus aplicaciones, el aluminio y sus aplicaciones, fundición de bronce, mecanización con en router CNC, piezas ornamentales, los tipos de hornos utilizados en la función de los metales, los procesos de solidificación, diseño de riser de los moldes. Y procesos de reciclaje de aluminio.

Tercer capítulo: materiales y métodos utilizados en este estudio, se desarrolla el diseño de la investigación. También describimos el proceso actual de fabricación de las piezas ornamentales en molde en arena y determinación del tiempo de producción, la elaboración del proceso del diseño de la figura del ornamento (león), fundición del lingote de bronce y la mecanización de la cavidad interna del molde metálico, y la mecanización del sistema de alimentación para un proceso de colada directa, el ensamblado del molde en chapas de acero en dos mitades para cerrar y abrir el molde después de la colada. Y su posterior desbarbado y pintado de las piezas.

Cuarto capítulo: en este apartado presento del desarrollo experimental y el análisis de costos del desarrollo del estudio.

Finalmente brindo las conclusiones de los objetivos planteados en este trabajo investigativo. Y con los resultados experimentales y la experiencia adquirida en este estudio me atrevo a brindar la recomendación correspondiente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sabiendo que en la provincia de ESPINAR- región CUSCO existe la generación de chátaras de bronce y aluminio por la misma presencia de mineras en su entorno y son



las que generan más desecho de piezas de aluminio como bujes, engranajes, rines de bronce, volantes, ejes, perfiles, carcasas de motores eléctricos, soporte de bolsas de aire, etc.

También la población genera un sin número de piezas tanto de bronce y aluminio, como engranajes, poleas ollas, cucharones perfiles de construcción, motores de vehículos, planchas, latas de bebidas, etc. Este problema de generación de desechos metálicos es un problema para el medio ambiente, y es aprovechado por los recicladores que los clasifican y envían a la fundición de AREQUIPA y LIMA.

Así mismo la empresa Fabrimetx dedicada a la fundición de bronce y aluminio, en su línea de fabricación de piezas ornamentales. Presenta inconvenientes en la producción de piezas por el método de fundición en arena, y requiere incrementar la producción en el menor tiempo posible y disminuir costos de operación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Es posible el diseño y construcción de moldes permanentes en bronce para fabricar piezas ornamentales de aluminio en la empresa Fabrimetx Espinar – Cusco?

1.2.2. PROBLEMA ESPECIFICOS.

- 1) ¿Es posible desarrollar el diseño de moldes en un software artcam?
- 2) ¿Es factible construir el molde en bronce?
- 3) ¿Es posible fabricar cabezas de león ornamental en aluminio?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Como sabemos la gran generación de chatarras de bronce y aluminio. Debemos aprovechar en su plenitud, usar como materia prima para desarrollar el proceso de la



transformación a través de la fundición. Y crear piezas nuevas que pueda ser beneficiosa para el público consumidor y generar un sin número de oportunidad de trabajo.

En la actualidad la fabricación de leones ornamentales, se realiza por el método de fundición en arena, en este proceso de moldeo solo se puede realizar una sola colada de metal fundido, y una vez solidificado el metal se tiene que destruir el molde para recuperar la pieza y su posterior acabado. Esta operación toma un tiempo largo y tedioso cuando se requiere producir un conjunto numeroso de piezas.

Se ha tomado en cuenta los diferentes tipos de moldes metálicos y costos de fabricación, este estudio busca matrices alternativas de costos mínimos de fabricación.

Por eso me he visto con la necesidad de fabricar los moldes permanentes en bronce. Por sus propiedades químicas, físicas y mecánicas que cuenta este metal aleado. Y será la matriz para la fabricación de piezas ornamentales. Aprovechando la chatarra de aluminio que se encuentra en la región de Cusco, contribuyendo así en el cuidado del medio ambiente y empleo local y desarrollo tecnológico para la provincia de Espinar - Cusco.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y construcción de moldes permanentes en bronce para fabricar cabezas de león ornamental de aluminio en la empresa Fabrimetx Espinar – Cusco.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Desarrollar el molde en un software artcam
- 2) Construir el molde en bronce
- 3) Fabricar cabezas de león ornamental en aluminio.



1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Con el diseño y construcción de moldes permanentes de bronce se fabrica cabezas de león ornamentales de aluminio, en la empresa Fabrimetx Espinar – Cusco

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO

- 1) Si es posible desarrollar el diseño usando el software artcam.
- 2) Si es factible construir el molde en bronce.
- 3) Si es posible fabricar cabezas de león ornamental en aluminio.



CAPITULO II

REVISION LITERARIA

1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

2.1.1- ANTECEDENTES

(Gangas, 2014) “estudio del proceso de solidificación en fundición de aluminio para brazos del sistema de freno de un ascensor mediante elementos finitos”

El presente trabajo contiene el estudio del proceso de fundición de aluminio para brazos del sistema de freno de un ascensor eléctrico mediante elementos finitos, con la utilización del software clic cast.

Se realiza un marco teórico sobre temas inherente al objeto de este trabajo, como son los procesos de fundición, aleaciones de aluminio, defectología en los procesos de fundición y solidificación de metales, así como una introducción a los ascensores y a sus partes constitutivas.

Así mismo, el presente proyecto contiene el análisis de esfuerzos mecánicos a los que se encuentra sometido el brazo del sistema de freno de un ascensor, mediante el método finito, utilizando el software Autodesk Simulation Multiphysics 2013, para lo cual se realiza el cálculo de las distintas reacciones físicas que se originan en el proceso de frenado del ascensor, mismas que constituyen las cargas nodales y condiciones de frontera aplicadas en el software citado.

Con base a lo expuesto en líneas anteriores, en este proyecto se simula las etapas de llenado y solidificación en el proceso de fundición de la aleación de aluminio AlSiMg, para lo cual, como parte del análisis se determina el punto adecuado de inyección de la colada, así como de la velocidad y consecuentemente del tiempo de llenado óptimo.



Las determinaciones de los parámetros de fundición son analizadas en base a las imperfecciones físicas producidas durante la etapa de llenado y solidificación, generadas por el aire atrapado, puntos fríos y contracciones producidas durante la etapa de solidificación. Para esto se realiza la variación en el tiempo de llenado y el Angulo de inyección de colada.

Además, se realiza la simulación seleccionando diferentes puntos de inyección de la colada, con el objetivo de determinar la sección más adecuada, de forma que no se genere turbulencia en el flujo del material liquido durante el llenado, variable que aumenta la posibilidad de defectos por aire atrapado. El análisis constituye con la comparación de los valores de tiempo de llenado obtenidos mediante el software click2cast y los cálculos mediante la aplicación de fórmulas que permiten predecir el comportamiento del proceso de fundición.

(Huichi, 2019) “Instalación de una fábrica de perfiles en la ciudad puno, usando como materia prima aluminio reciclado”

Resumen: desarrolla un óptimo Plan de Negocios para la creación de una nueva microempresa que se ubica en la ciudad de Puno, la misma que se dedicará a la fabricación de perfiles de aluminio. El objetivo general del presente trabajo de investigación es Instalar una fábrica de perfiles en la Ciudad Puno, usando como materia prima, aluminio reciclado; también se enuncian los antecedentes que corroboran la idea de crear una nueva microempresa, los datos macro y micro económicos que la sustentan, y una breve descripción de la investigación necesaria para su realización. Posteriormente, se expone la teoría de soporte para el desarrollo del proyecto, redactado a través del Marco Teórico. Comprendido la parte teórica, se realiza el desarrollo metodológico de la investigación de mercado, se define el segmento meta, y se obtiene la información necesaria por medio de un censo; además del análisis de la oferta y la



demanda del mercado a través de un análisis a la competencia se determina el precio, la forma de distribución y la promoción que manejará la empresa, para conseguir los objetivos de ventas en las condiciones esperadas. Se determina la rentabilidad y sustentabilidad del negocio por medio de los estados financieros de la microempresa, los cuales permiten realizar proyecciones de egresos e ingresos, así como el flujo de efectivo.

Finalmente se concluye que, definitivamente la instalación de una microempresa fortalece la economía local al ampliar las actividades de comercio y de producción, aportando de manera positiva a la riqueza local o del lugar en que se desarrollan actividades financieras y crecen nuevas microempresas.

(Javier, 2017) “Análisis del comportamiento de la productividad del área de moldes de la empresa Servicios Técnicos de Matriceria S.A.C. LIMA ”

Resumen: empresa que se dedica al rubro de la manufactura teniendo como actividad principal la fabricación de moldes de productos plásticos, en especial los moldes de soplado Sidel. El cual tiene como objetivo analizar el comportamiento de la productividad en el área de moldes. Por consecuencia el desarrollo de esta investigación es de carácter básico, con un enfoque cuantitativo con un diseño de investigación no experimental transversal con un alcance descriptivo. La población en estudio será durante 12 semanas, así mismo la muestra será igual que la población de estudio debido a la producción continua de la empresa por lo cual será la producción de moldes de soplado durante 12 semanas.

(SERRANO, 2015) “Propuesta De Negocio Para La Implementación De Una Fundición De Aluminio, Arequipa 2015”



Resumen: El presente estudio de negocio está desarrollado en base a (09) capítulos, los mismos que abarcan lo siguiente:

En el primer capítulo se desarrollan: las generalidades de la investigación, identificación del problema, desarrollo de la justificación de la investigación, planteamiento de los objetivos, elaboración de la hipótesis y finalmente el marco metodológico.

En el segundo capítulo se proporciona el marco teórico que incluye la terminología y conceptos claves en el desarrollo del estudio.

En el tercer capítulo se desarrolla todo lo referente a los productos ofrecidos por la empresa que incluirá una amplia descripción de cada uno de ellos.

En el cuarto capítulo, estudio de mercado y la competencia, se aplicaron técnicas para el acopio de datos que fueron interpretados para determinar la demanda y la oferta en el mercado.

En el quinto capítulo, estudio legal, se determinó el tipo de sociedad comercial, régimen tributario y los trámites gubernamentales, así como los trámites complementarios y los costos en los que se incurrieron.

El sexto capítulo, estudio técnico, describe el proceso productivo para la fundición de aluminio, los equipos, maquinarias, materia prima e insumos utilizados.

El séptimo capítulo, estudio de la organización, describe la administración y organización del negocio y la determinación de la cantidad de trabajadores.

En el octavo capítulo, se desarrolla lo referente a la seguridad de los trabajadores y la preservación del medio ambiente, mediante la identificación de los riesgos y peligros para los trabajadores y la sociedad.

El noveno y último capítulo, trata sobre el estudio económico financiero, calculando los diferentes indicadores económicos (VAN, TIR, B/C, PRI). Finalmente se presentan



las conclusiones a las cuales se ha llegado luego de haber realizado todo el estudio y se brindan las recomendaciones que se crean convenientes.

1.7. DISEÑO

Puedo iniciar la redacción de este trabajo de investigación diciendo y adentrándome en un tema de muy amplio que genero una gran duda y una perspectiva en la comunidad de diseño que vive en toda persona, pero no todos tenemos el talento de diseñar. Pero aparecen en los distintos eventos y en la aulas de formación intelectual, una de ellas es la responsabilidad del diseño, está vinculado con la megalomanía o la omnipotencia de una disciplina que siendo un servicio como cualquier otro suele omitir esta característica esta condición estructural de su existencia y pensarse como una actividad que puede auto programar su quehacer y tomar decisiones acerca de la sociedad como si tuviera los recursos reales económicos comunicacionales y políticos para incidir sobre esa sociedad, esto tiene un doble filo

Primero positivo en caso de la enseñanza mostrarle al estudiante que hay una incidencia positiva o negativa o neutra del diseño sobre la sociedad y por lo tanto ponerlos al día a divertirlo sobre esta circunstancia.

Segundo el riesgo de instalar en la cierta fantasía utópica de que él puede decidir el rumbo de los acontecimientos y aquí es que combinado las posibilidades con las limitaciones.

El conocimiento de la propia realidad o las limitaciones y las posibilidades individuales es también una de la fórmula del éxito, y no pedirse a sí mismo que no estamos en condiciones de producir y no pedir a la actividad profesional que aquello sola no puede producir.



Es tener una conciencia realista y no fantasiosa o falsamente idealista es una tarea permanente de cualquier profesional y la superación personal y está vinculada con la madurez profesional.

Nunca podemos partir de otra cosa que una demanda expectativa del mercado. Es una primera verdad que realmente fastidia al artista, si no hay demanda o expectativa en el mercado no nace el diseño por más que uno tenga la idea, pero hasta que no podamos vender no existirá el diseño.

Podría darse la posibilidad que yo pueda diseñar algo, pero si no he puesto en la palestra del mercado y que no haya podido vender entonces no soy diseñador. Solo llegado a la etapa de pre diseñador.

El diseño es una actividad productiva vinculada con un comitente con alguien que pueda comprar ese diseño.

La demanda expectativa latentes deseos insatisfechos es un depósito de potencialidades y que la sociedad lo manifiesta como mercado y demanda, por ende, los proveedores que detectan esta posibilidad, justamente se encuentra en el estudio del mercado o imagen opinión y márketing, por realizar esos estudios

A esa oferta que ha hecho estos estudios y tiene una demanda una necesidad para encontrarse con ese mercado

Aquí se encuentra dos actores el público consumidor o beneficiario y la oferta del cliente del diseño sin estos dos factores el diseño no aparece

De ahí nace el diseño cuando hay intenciones del cliente y que case con su necesidad ahí aparece el diseñador que tiene la necesidad de satisfacerla y produzca un recurso económico. (Scot, 1970)

La palabra diseño proviene del término italiano disegno, que significa delineación de una figura, realización de un dibujo.



En la actualidad, el concepto diseño tiene una amplitud considerable, de tal modo que especifica su campo de acción acompañándose de otros vocablos. Así tenemos: diseño industrial, diseño artesanal, diseño gráfico, diseño textil, diseño mecánico, diseño estructural, diseño de asentamientos humanos, diseño arquitectónico, diseño de plantas industriales, diseño de proceso.

La producción masiva a partir de la revolución industrial sentó los principios básicos para que el término diseño se entendiera como un nuevo concepto internacional desde los primeros años del presente siglo.

De acuerdo a lo que plantean Cross, Elliott y Roy; Diseño en la actualidad se toma como innovación, como creación, como avance, como solución renovadora, como un nuevo modo de relacionar un número de variables o factores, como una nueva forma de expresión, como el logro de una mayor eficacia. La dificultad de escribir (y de hablar) sobre diseño reside en que esta palabra tiene diferentes significados, y según quien la emplee, puede significar: (Rodrigues, 2007)

2.2.1- DEFINICIÓN DE DISEÑO INDUSTRIAL.

Así como es problemático dar una definición del concepto diseño, más lo es cuando se trata del término diseño industrial, ya que una somera mirada a la bibliografía en que se utiliza dicho concepto, nos dará una idea de las muy diversas maneras de concebir el papel y los objetivos de esta actividad.

Sin embargo, a continuación, se expresan dos concepciones del diseño industrial, no para que sean adoptadas sin más, sino para que se analicen a lo largo de la preparación académica en la universidad, de tal manera que al concluir su formación el profesional cuente con una concepción personal.



En primer lugar, enunciaremos la definición del término diseño industrial oficialmente reconocida por.

ICSID (International Council of Societies of Industrial Design), cuyo autor es el reconocido maestro de la teoría del diseño. Tomás Maldonado.

Él la dio a conocer en el año de 1961, en Venecia, Italia, durante una conferencia titulada Education for Design, en los siguientes términos:

El diseño industrial es una actividad proyectual que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. Por propiedades formales no hay que entender tan sólo las características exteriores, sino, sobre todo. Las relaciones funcionales y estructurales que hacen que un objeto tenga una unidad coherente desde el punto de vista tanto del productor como del usuario, puesto que, mientras la preocupación exclusiva por los rasgos exteriores de un objeto determinado conlleva el deseo de hacerlo aparecer más atractivo o también disimular sus debilidades constitutivas, las propiedades formales de un objeto, por lo menos tal como yo lo entiendo aquí son siempre el resultado de la integración de factores diversos, tanto si son de tipo funcional, cultural, tecnológico o económico. Dicho de otra manera, así como los caracteres exteriores hacen referencia a cualquier cosa como una realidad extraña, es decir, no ligada al objeto y que no se ha desarrollado con él, de manera contraria las propiedades formales constituyen una realidad que corresponde a su organización interna, vinculada a ella y desarrollada a partir de ella.

La segunda concepción que sobre el término diseño industrial es una disciplina proyectual, tecnológica y creativa, que se ocupa tanto de la proyección de productos aislados o sistemas de productos, como del estudio de las interacciones inmediatas que tienen los mismos con el hombre y con su modo particular de producción y distribución; todo ello con la finalidad de colaborar en la optimización de los recursos de una



empresa, en función de sus procesos de fabricación y comercialización (entendiéndose por empresa cualquier asociación con fines productivos). Se trata, pues, de proyectar productos o sistemas de productos que tengan una

Interacción directa con el usuario (pudiendo ser bienes de consumo, de capital o de uso público); que se brinden como servicio; que se encuentren estandarizados, normalizados y seriados en su producción, y que traten de ser innovadores o creativos dentro del terreno tecnológico (en cuanto a funcionamiento, técnica de realización y manejo de recursos), con la pretensión de incrementar su valor de uso. Estos productos y sistemas de productos deben ser concebidos a través de un proceso metodológico interdisciplinario y un modo de producción de acuerdo con la complejidad estructural y funcional que los distingue y los convierte en unidades coherentes. (Rodrigues, 2007)

2.2.2- TIPOS DE DISEÑO INDUSTRIAL

- Diseño de producto
- Diseño asistido por ordenador
- Ingeniería de Diseño
- Interiores y mobiliario
- Vehículos y componentes
- Diseño de Estructuras Metálicas
- Simulación de Prototipos (Mecánicos, eléctricos, automatizados, etc.)
- Matricería y Moldes
- Diseño digital y animación
- Diseño experiencial
- Comunicación y Social Media



- Marketing estratégico y publicidad

2.2.3- DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR

En la historia del CAD, se pueden encontrar precursores de estas técnicas en dibujos de antiguas civilizaciones como las de Egipto, Grecia o Roma. El trabajo de Leonardo da inicio muestran técnicas CAD actuales como el uso de perspectivas. Sin embargo, el desarrollo de estas técnicas está ligado a la evolución de los ordenadores que se produce a partir de los años 50. Hace tan sólo 40 años, casi todos los dibujos se ejecutaban utilizando lápiz y papel. Cuando se precisaba realizar cambios, era necesario borrar y volver a dibujar. Si el cambio era importante, se repetía el dibujo por completo. Si un cambio afectaba a otros documentos (planos de montaje, planos de conjunto, etc.) se tenía que buscar a mano en cada uno de ellos y modificarlos.

El diseño asistido por ordenador (Computer Aided Design – CAD) ha modificado este método de trabajo, mejorando la forma en que se llevan a cabo las tareas de diseño. Siendo originalmente una herramienta de dibujo 2D, ha evolucionado en el tiempo pasando por la fase intermedia de 2,5D, hasta la fase 3D y la realidad virtual.

2.2.4- SOFTWARE ARTCAM

ArtCAM es un programa de software único que permite a los usuarios Crear fácilmente productos 3D impresionantes y de alta calidad a partir de 2D ilustraciones basadas en mapas de bits o vectores. ArtCAM transforma ideas en productos terminados mucho más rápido que es posible utilizando convencionales métodos. Incluso en los casos en que se desea un aspecto acabado a mano, ArtCAM acelera la producción. Usando Artcam y una máquina herramienta o enrutador para mecanizar la mayor parte del trabajo, deja al artesano más tiempo para concentrarse en el diseño original y los



detalles finos, que juntos ayudan a diferenciar los productos en los competitivos de hoy mercados.

ArtCAM Pro permite la creación de relieves 3D, desde relieves asimétricos más complejos hasta las formas simétricas más simples, utilizando un conjunto de herramientas vectoriales de modelado de relieves de uso sencillo. El programa de control numérico se genera automáticamente a partir de los modelos 3D.

Las aplicaciones donde puedes usar ArtCAM Pro son:

Diseño y manufactura de grabados industriales, troqueles para piel, manufactura de bajo relieves en moldes, logotipos y marcas, joyería, imágenes corporativas, cerámica, decoración de envases, calzado, placas, monedas, moldes para galletas, chocolate.

2.2.5- REFERENCIAS Y MÉTODOS DE ARTCAM

En este espacio proporcionare instrucciones sobre cómo crear y manipular modelos 2D y 3D, y luego mecanizarlos. Esta referencia se divide en las siguientes secciones:

- **Visión de conjunto.**

Esta sección proporciona una descripción general de ArtCAM se puede utilizar para.

- **Diseño ArtCAM.**

Esta sección explica el diseño de ArtCAM , cómo usar sus ventanas de diseño y administrar sus preferencias.

- **Trabajando con Modelos.**

Esta sección explica cómo crear y administrar un modelo de ArtCAM, así como crear y editar fuentes para usar dentro de ArtCAM.



- **Trabajando con mapas de bits.**

Esta sección explica cómo crear y manipular imágenes de mapa de bits en un modelo. Estos pueden luego ser usados para crear objetos vectoriales o formas tridimensionales como todos o parte de un alivio en un modelo.

- **Trabajando con vectores.**

Esta sección explica cómo crear y manipular ilustraciones vectoriales en un modelo. Esto puede luego ser usado para crear una forma tridimensional como todo o parte de un relieve, o para mecanizar un modelo 2D.

- **Trabajando con Relieves.**

Esta sección explica cómo crear diferentes tipos de formas y combinarlas con cualquier relieve existente, cómo transformar, manipular, editar y administrar el alivio. El relieve se puede usar para mecanizar un modelo 3d.

- **Modelos de mecanizado.**

Esta sección explica cómo mecanizar un modelo de la ilustración vectorial o relieve tridimensional que has creado.

1.8. ROUTER CNC

2.3.1- DEFINICION

El Router CNC de control numérico es una herramienta muy útil al momento de cortar materiales como madera y una amplia variedad de materiales blandos, como pueden ser el acrílico, el MDF o algunos metales tales como el aluminio, el latón, el bronce, entre otros. Durante mucho tiempo, el corte y grabado con el apoyo de un Router CNC se ha utilizado para la fabricación de muebles, tallado de maderas, perfilado de cantos y corte de materiales.



Figura 1. Router CNC

Un Router CNC es una máquina controlada por una computadora y su función es realizar cortes de forma automatizada. Las trayectorias de los cortes son controladas mediante un sistema denominado de control numérico, mismo que envía desde el ordenador las coordenadas del corte con una precisión milimétrica.

Los Routers CNC son muy similares a las fresadoras, las cuales tienen el mismo uso pero la diferencia es que con los Router CNC prácticamente se elimina el factor humano durante el proceso de corte. Son muy útiles en la realización de trabajos idénticos y en gran volumen, puesto que suelen producir un trabajo consistente y de alta calidad.

2.3.2- FUNCION DE UN ROUTER CNC

El Router CNC consiste en un eje vertical manipulado por motores, los cuales, como mencionamos, siguen patrones preestablecidos. Por ello, es considerada una de las máquinas más versátiles para el corte en tres y dos dimensiones sobre cualquier tipo de superficie. Permite la materialización de diseños e ideas que anteriormente sólo se quedaban plasmados en el papel, por la falta de las herramientas para el corte en ciertos detalles.



La limitante de los diseños que puede realizar un Router CNC es prácticamente inexistente, puesto que realiza cortes en los distintos ejes. Para trabajar con esta máquina, tan sólo es necesario crear el diseño deseado en un software compatible con la programación por control numérico.

La versatilidad y sistema de última tecnología del Router CNC permite el uso de diseños realizados en programas como Indesign e Illustrator, de la suite de Adobe; también AutoCAD, FreeHand, Rhinoceros, Inventor, Google Sketchup, artcam, entre otros. El único requerimiento es que estén diseñados en vectores. Los diseños son traducidos por un programa de generación en código, los cuales lo convierten en un lenguaje que será leído por el Router CNC.

El sistema de control numérico, el cual es un sistema que permite controlar la posición de un elemento físico en tres ejes: X (largo), Y (alto) y Z (profundidad). Este sistema puede usarse en cualquier tipo de herramienta que se encuentre montada en una máquina. Mediante un software y un conjunto de órdenes, se controlan las coordenadas de posición de un punto específico, es decir la herramienta, respecto a una posición inicial (la cual es el 0,0,0 de la máquina). Se podría decir que es una especie de GPS, pero aplicado a la mecanización, y con mucha más precisión.

En un Router CNC de control numérico, este sistema funciona al mover la herramienta fresadora, de corte o de grabado para el diseño de una pieza. Para poder ejemplificarlos, imagina la imagen de un cubo: cada una de las aristas del cubo tiene una de las coordenadas. Así que si queremos dirigir la punta de la herramienta y tocar una de estas coordenadas lo único que requerimos es introducir la orden pertinente al programa y cargarlo en la máquina, la cual se encargará de traducir esa orden y mover la herramienta a la posición señalada. (sideco, 2018)



2.3.3- MATERIALES QUE PUEDE CORTAR UN ROUTER CNC

- PVC espumado.
- MDF.
- Triplay.
- Acrílico.
- Alucobond.
- Dibond.
- Madera sólida (blanda).
- Aglomerados melamínicos.
- Gatorfoam.
- Poliuretano.
- Nylamid.

También permite el corte y grabado de metales no ferrosos, por ejemplo:

- Aluminio.
- Cobre.
- Latón.
- Níquel.
- Bronce.

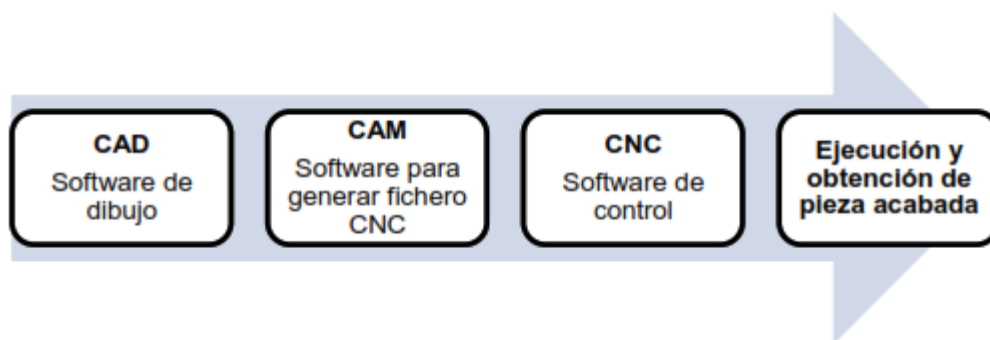
La mayoría de los modelos del Router CNC tienen en su mayoría una mesa de trabajo de 1.30 m x 2.50 m, con la posibilidad de desbastar, grabar y cortar profundidades de hasta 15 cm, dependiendo el tipo de material.

El Router CNC es usado también para la producción en masa de los productos, con un mayor detalle que suelen ser consistentes y de alta calidad. Así mismo, son capaces de reducir los residuos, la frecuencia de errores disminuye al mínimo, al igual que el tiempo en que el producto es acabado. (sideco, 2018).

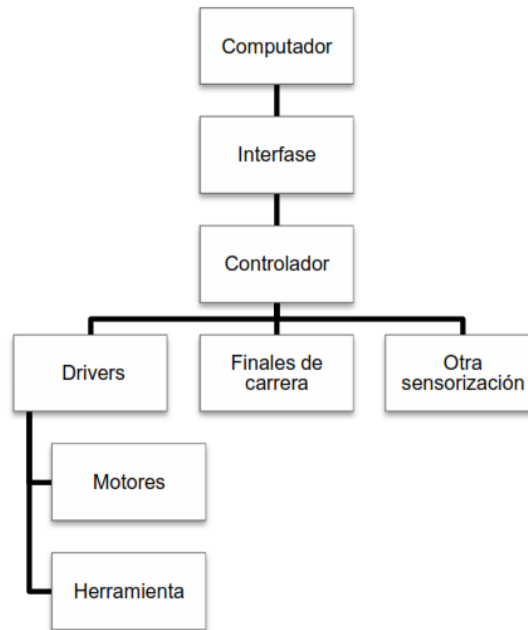
También se emplean sistemas CAD/CAM para generar el programa de mecanizado de forma automática. En el sistema CAD (diseño asistido por ordenador) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido.

Posteriormente el sistema CAM (fabricación asistida por ordenador) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de mecanizado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

A la hora de implementar un dispositivo de control numérico, existen multitud de soluciones.



Pero que en general todas cumplen con la siguiente estructura:



1.9. MOLDES METALICOS PERMANENTES

2.4.1- DEFINICIÓN

En las fundiciones con molde permanente, el molde se reutiliza muchas veces para producir fundiciones en grandes cantidades. Este hecho de un metal o de un refractario cerámico, que puede soportar las altas temperaturas de las operaciones de fundición.

Las coquillas pueden utilizarse en la fundición de piezas por gravedad, es decir cuando el metal fundido ingresa en el molde por su propio peso desde la cuchara de fusión, o bien puede montarse en una máquina, para fundir a presión.

Los moldes metálicos permanentes se pueden utilizar para realizar varios miles de piezas. A partir de ese momento el molde pierde precisión y debe cambiarse.

Estos moldes se construyen con acero, fundiciones y metales no ferrosos que tengan mayor punto de fusión que el material que se va a colar y recubiertos de material refractario por lo que se debe utilizar para el moldeo de piezas metálicas con menos temperatura de fusión que los materiales férricos como puede ser aluminio, moldeo de piezas metálicas, aleaciones de cobre, latón, zinc, magnesio, estaño, zamak, plomo,



también se puede moldear fundición gris, pero refrigerando el molde. Si se quiere fundir piezas de alto punto de fusión como el caso el acero se utiliza moldes de grafito.

2.4.2- PROCESOS BÁSICOS DE MOLDES PERMANENTES.

La fundición en moldes metálicos permanente construido en dos secciones que estando diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Los moldes hechos en acero o hierro fundido o metales no ferrosos, junto con el sistema de vaciado, dan forma por maquinado en dos mitades del molde a fin de lograr alta precisión dimensional y buen acabado superficial. Los metales que se funden comúnmente en molde permanente son: aluminio y sus aleaciones.

En este proceso es posible utilizar noyos para formar a superficie interior del producto de fundición. Los noyos pueden ser metálicos, pero su forma debe permitir esta operación. Si la remoción del noyo metálico es difícil o imposible se puede usar noyos de arena, en este caso el proceso de fundición es frecuentemente llamado fundición en molde semi-permanente:

- El molde se precalienta y se recubre.
- Se insertan los noyos (en el caso) y se cierra el molde.
- El metal fundido se vacía en el molde.
- Se abre y se remueve la pieza.

Los moldes se calientan primero para prepararlos, y se rocía la cavidad con un o más, recubrimientos facilita en flujo del metal a través del sistema de vaciado y de la cavidad. Los recubrimientos ayudan a disipar el calor y a lubricar la superficie del molde para separar fácilmente la fundición. Tan pronto como solidifica el metal, el molde se abre y se remueve la fundición. A diferencia de los moldes desechables los



moldes permanentes no se retraen, y se debe abrir antes de que ocurra la contracción por enfriamiento a fin de prevenir el desarrollo de grietas en la fundición.

Entre las ventajas de la fundición en coquilla esta, ante todo, la gran rapidez de fundición, con la consiguiente economía de los costos de producción. Es fácil darse cuenta del ahorro de tiempo que supone no tener que preparar un molde para cada pieza, sino que pueden fundirse piezas continuamente en un mismo molde. Además de esta gran ventaja, incluyen buen acabado de la superficie y control dimensional estrecho. Además, la solidificación más, rápida causada por el molde metálico. Hay que resaltar también el hecho de que, al utilizar un molde metálico la exactitud del mismo se mantiene invariable obteniéndose piezas fundidas de dimensiones constantes y sin deformaciones, con lo cual se puede reducir o eliminar en muchos casos los sobregruesos para mecanización, que en la fundición en arena sería indispensables. Ello se traduce también en un ahorro de material y de combustible que sobre todo cuando se trata de grandes series, tiene gran importancia. Por otra parte, la superficie metálica del molde proporciona piezas de un acabado perfecto, obteniéndose superficies más finas que las que se pueden conseguir de un molde de arena lo cual mejora la presentación de las piezas y reduce el costo de los acabados.

En cuanto a las características mecánicas se refiere, quedan estas mejoradas grandemente en la fundición en coquilla, observándose en la fractura de las piezas con la misma aleación en arena, obteniéndose una velocidad de enfriamiento mucho más rápida que en los moldes de arena, denominándose también a las coquillas por esta razón moldes fríos. Debido al costo sustancial del molde, el proceso se adapta mejor a producciones de alto volumen que puede automatizarse, cuerpos de bombas y ciertas fundiciones para aviones, proyectiles y otros.



A fin de incrementar la vida útil de los moldes permanentes, las superficies de la cavidad del molde por lo general están recubiertas con un barro refractario (como silicato de sodio y arcilla) o se rocía con grafito que da cierto, numero de coladas.

Estos recubrimientos también sirven como agentes de separación y como barreras térmicas, controlando la velocidad de enfriamiento de la fundición. Pueden ser necesarios eyectores mecánicos para la extracción de piezas complejas.

2.4.3- CARACTERÍSTICAS.

El molde permanente debe poseer las siguientes características:

- Debe ser lo suficientemente fuerte para sostener el peso del metal.
- Debe resistir la acción de la erosión del metal que fluye con rapidez durante la colada.
- Debe generar una cantidad mínima de gas cuando se llena con el metal fundido. Los gases contaminan el metal y pueden alterar el molde.
- Debe construirse de modo que cualquier gas pueda salir.
- Debe ser suficientemente refractario para soportar la alta temperatura del metal y poderse desprender fácilmente después del enfriamiento.

1.10. TIPOS DE MOLDES PERMANENTES.

2.5.1- MOLDES PERMANENTES POR COLADA POR GRAVEDAD.

En este tipo de procesos, los moldes suelen estar contruidos en metal (hierro fundido, acero, bronce o aleaciones refractarias) o de grafito. Al igual que en los moldes desechables, para producir piezas con cavidades internas se fabrican machos también en metal o grafito y, en algunas ocasiones, en arena. Es importante recubrir las cavidades

internas de estos moldes con materiales altamente refractarios como por ejemplo el silicato de sodio, arcillas o grafito.

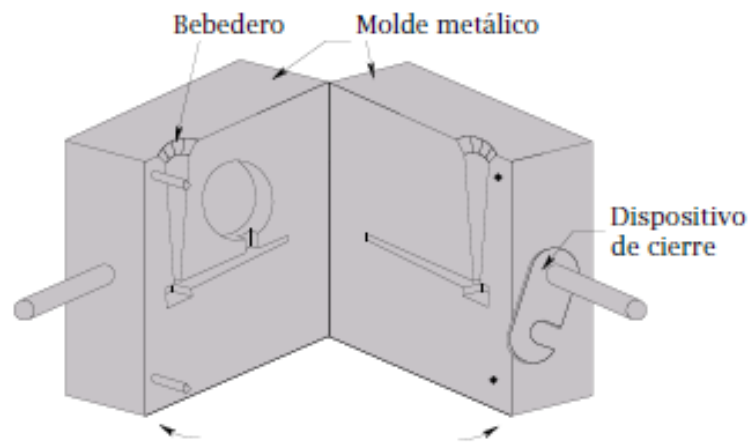


Figura 2. Molde metálico

Como se ha comentado anteriormente, este tipo de moldes se calientan hasta temperaturas entre 150 y 200 °C, lo que permite reducir el salto térmico entre el molde y el metal fundido que se vierte en su interior. En comparación con los moldes de arena desechables, estos procesos proporcionan piezas con mejores acabados superficiales, tolerancias dimensionales y propiedades mecánicas. Además, la velocidad de producción es mucho mayor en este caso, por ello son los empleados en procesos de producción en serie. Dentro de los moldes permanentes, el más antiguo y extendido es el molde en coquilla.

Por otro lado, desde principios del siglo XX se han estado desarrollando tecnologías que permiten reducir los tiempos de producción introduciendo a gran velocidad el metal líquido en moldes metálicos que generalmente están refrigerados. Dentro de los “nuevos” sistemas de producción podemos distinguir la fundición al vacío, por inyección a baja presión y por inyección a alta presión. (Miguel, 2013).

2.5.2- FUNDICIÓN AL VACÍO.

En el moldeo al vacío se utiliza un molde que se mantiene unido por presión de vacío en lugar de un aglutinante químico. El molde que está sujeto con un brazo robótico, se sumerge parcialmente en el metal fundido que se encuentra en un horno de inducción. El principio es el mismo que en el moldeo a baja presión o fundición a presión. La presión dentro del molde es disminuida por una bomba de vacío, y la diferencia de presión fuerza al metal fundido a entrar en el molde. El metal se puede fundir al aire o en vacío. El vacío reduce la presión del aire en el interior del molde a aproximadamente dos terceras partes de la presión atmosférica, succionando por tanto el metal fundido en las cavidades del molde a través de un canal de alimentación en la parte inferior del molde.

Una vez que se encuentra lleno el molde, se retira del metal fundido. Este método es parcialmente adecuado para formas complejas con pared delgada. Las piezas fundidas al aire se fabrican fácilmente en volúmenes elevados y a un coste relativamente bajo. Las piezas fundidas en vacío implican habitualmente el uso de metales reactivos, como aluminio, titanio o circonio. El proceso puede automatizarse y los costes de producción son similares a los de la fundición en arena verde.

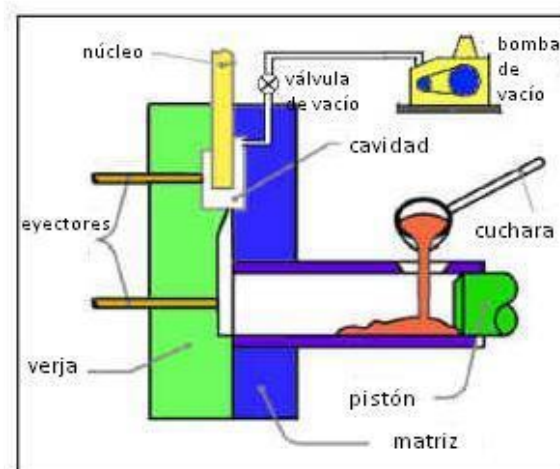


Figura 3. Fundición al vacío.



La gran ventaja y por lo que destaca este proceso, consiste en que el vacío de la cavidad reduce el gas atrapado durante la inyección de metales y por lo tanto la porosidad en la fundición. El resultado es un moldeo con un mayor nivel de calidad y con una mayor resistencia.

Aun así, es uno de los procesos menos empleados dada su complejidad. Sobre todo, su difícil automatización y la lentitud del proceso hacen que todavía no sea del todo rentable decantarse por este tipo de fabricación.

2.5.3- FUNDICIÓN A PRESIÓN.

La fundición a presión es un proceso que necesariamente utiliza moldes permanentes y se puede clasificar en: fundición en dados y fundición a baja presión, fundición con moldes permanentes al vacío.

Existen dos tipos principales de máquina de fundición en dado:

- 1.- de cámara caliente
- 2.- de cámara fría

Sus diferencias radican en la forma en que se inyecta el metal a la cavidad.

2.5.4- FUNDICIÓN CON CARA CALIENTE.

Este tipo de procesos de fundición comienza a tomar protagonismo a principios del siglo XX, cuando el sector de la automoción impulsa definitivamente el desarrollo de la fundición a alta presión. En la actualidad, estos procesos han adquirido una posición importante dentro de los procesos de fabricación en general, y en la industria de la automoción en particular. Esto se debe fundamentalmente al elevado ritmo de producción que permiten estos procesos, además de los aspectos relacionados con la



precisión dimensional, el acabado superficial, la capacidad para reproducir detalles y su bajo coste.

Como resultado de la excelente precisión dimensional (tolerancias lineales en torno al 0,3 % en aleaciones de aluminio) y la calidad superficial de las piezas, la mayoría de éstas no requieren mecanizados adicionales salvo un ligero desbarbado y, en ocasiones, operaciones de taladrado y roscado de orificios.

Los materiales más empleados para fabricar piezas mediante estos procesos abarcan desde las aleaciones de bajo y medio punto de fusión (estaño, plomo, zinc, aluminio o magnesio) hasta incluso aleaciones de hierro, tales como aceros inoxidables.

Dentro de este tipo de procesos se pueden distinguir dos grupos en función del lugar donde se realice la fusión del metal.

Para obtener piezas de aleaciones de bajo punto de fusión suelen emplearse máquinas de cámara caliente, en las que el horno forma parte del sistema de inyección y, por tanto, la fusión del metal se da en el interior del mismo. Por esta razón, tal y como se indica anteriormente, en este tipo de máquinas no se deben fabricar piezas en materiales como las aleaciones de aluminio, cobre o magnesio ya que por encima de su punto de fusión tienden a deteriorar los elementos férricos que componen el sistema de inyección.

Las principales ventajas de las máquinas con cámara caliente frente a las de cámara fría consisten en que el metal fundido es sometido a una menor oxidación y a una menor cantidad de contaminantes producidos en la exposición a la atmósfera y que, además, el hecho de que el cilindro esté sumergido en la colada hace que se llene automáticamente, elimina la variación, acorta el tiempo del ciclo y facilita el control de la temperatura del metal, lo que permite que las presiones de inyección sean menores y los equipos estén sometidos a menores esfuerzos.

El procedimiento en sí se realiza con el cilindro sumergido en el metal fundido y con el pistón que empuja un cierto volumen de metal hacia una salida (cuello de cisne y tobera), la cual descarga en una matriz que se encuentra caliente. El metal inyectado se mantiene en la cámara caliente hasta que se solidifica y luego es enfriado en una cámara de vaciado con agua o aceite. Durante el proceso, se llegan a alcanzar presiones máximas de hasta 35 MPa.

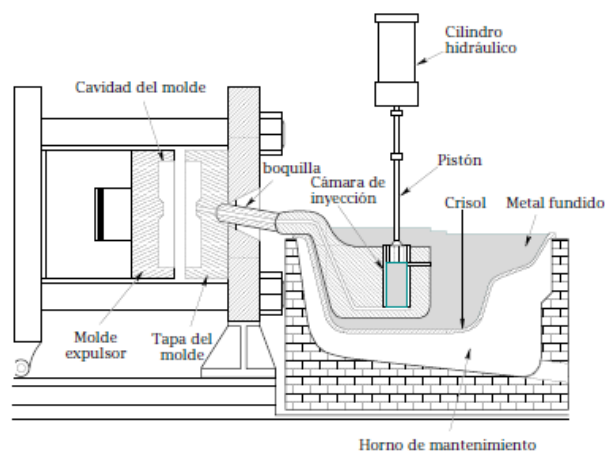


Figura 4. Esquema de una máquina de alta presión con cámara caliente.

En la actualidad se están empleando, cada vez más, máquinas de cámara fría en las que la fusión del metal se realiza fuera del sistema de inyección. El mecanismo de inyección se encuentra a una temperatura inferior a la de la colada de la aleación y el contacto con ella es breve. En ellas, la aleación se funde en un horno independiente y se vierte a continuación en la cámara de inyección con una cuchara o un dispositivo.

2.5.5- FUNDICIÓN CON CÁMARA FRÍA.

El proceso con cámara fría se lleva el metal fundido por medio de un cucharón hasta un cilindro por el cual corre un pistón que empuja al metal a la matriz de fundición, las piezas obtenidas son de unos cuantos gramos a 10 kg. Y solo es recomendable en trabajos de poca producción. (Castro Lisintuña, 2012)

Este tipo de máquinas pueden presentar la cámara de inyección en posición vertical u horizontal, permitiendo la fabricación de piezas de aleaciones ligeras de mayor punto de fusión que las de cámara caliente. Las máquinas con cámara horizontal permiten ejercer presiones más altas sobre el metal, lo que supone un tiempo de fabricación menor, que las máquinas con cámara vertical.

El uso de este tipo de máquinas ha experimentado un notable incremento, particularmente en el sector de automoción (aproximadamente un 65% de la producción de piezas de aluminio mediante FIAP) en el que compiten diversas aleaciones ligeras de aluminio. En un segundo lugar se encuentran los sectores dedicados a la producción de equipamiento informático y de telecomunicaciones, y los de dispositivos de instrumentación y medida.

A partir de ahora nos centraremos en el análisis de los procesos de fundición a alta presión con cámara fría horizontal ya que los moldes diseñados y fabricados en el presente proyecto serán de este tipo.

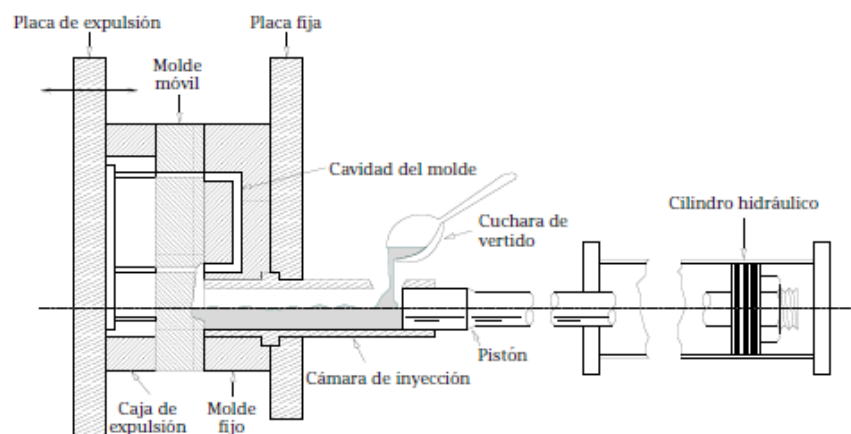


Figura 5. Esquema de una máquina de inyección a alta presión con cámara fría.

Tabla 1. Pesos máximos, dimensiones máximas, márgenes de los espesores de pared y aspereza de las fundiciones a presión.

Grupo de materiales	Peso de la fundición Kg	Medidas			Espesor de pared mm.
		Longitud mm.	Ancho mm.	Profundidad mm.	
Aluminio	35	1200	600	400	A partir de 1.0 - 3.0
Zinc	20	1200	600	400	A partir de 0.3 - 2.0
Magnesio	15	1200	600	400	1.0 - 3.0
Cobre	5	400	300	200	1.5 - 4.0

Fuente: <http://www.aprendizaje.com>

2.5.6- FUNDICIÓN A BAJA PRESIÓN.

En la fundición de baja presión, el metal líquido introduce dentro de la cavidad a una presión aproximada de 15lb/pulg², aplicada desde debajo de manera que el metal fluye así arriba. La ventaja de este método sobre el vaciado tradicional es que se introduce en el molde un metal limpio desde el centro del crisol, en lugar de un metal que ha sido expuesto al aire. Lo anterior reduce a la porosidad por el gas y los defectos generados por la oxidación, y se mejoran las propiedades mecánicas.

Con este procedimiento se pueden fabricar piezas hasta de treinta y es rentable para grandes cantidades de piezas sin grandes requerimientos de calidad.

1.11. TIPOS DE HORNOS PARA LA FUSIÓN DE ALUMINIO

Los tipos de hornos empleados para la fusión de aluminio y sus aleaciones varían desde los pequeños hornos de crisol, hasta los grandes hornos de reverbero con una capacidad de 25 toneladas cargándose los primeros a mano, mientras que los hornos de mayor tamaño se diseñan para una carga, agitación, y limpieza mecánica. El medio de calentamiento quizá sea gas, aceite, combustible o electricidad. La elección está sujeta a

las consideraciones de disponibilidad y costo del combustible, accesibilidad del control automático, eficiencia del combustible, requerimientos de mano de obra y costos de mantenimiento. (Beer y Johnston, 2007)

La selección de los refractarios para forrar los hornos de fundición de aluminio resulta muy crítica puesto que las reacciones entre el metal fundido y los constituyentes como el silicio, fierro o cromo presentes en los refractarios, pueden llevar a la contaminación perjudicial del metal que va a fundirse. Los refractarios de arcilla

refractaria que contienen de un 47% a un 99% de alúmina aún se usan debido a la disponibilidad de arcillas adecuadas en casi todas las partes del mundo.

2.6.1- HORNO DE CRISOL.

La unidad de fusión consiste de una cubierta circular o cuadrada de acero con un revestimiento refractario de 7.5 a 12.5 cm de espesor en el cual es colocado el crisol, cuya capacidad esta desde 15 kg hasta los 1000 kg. (Calvo, 2015)

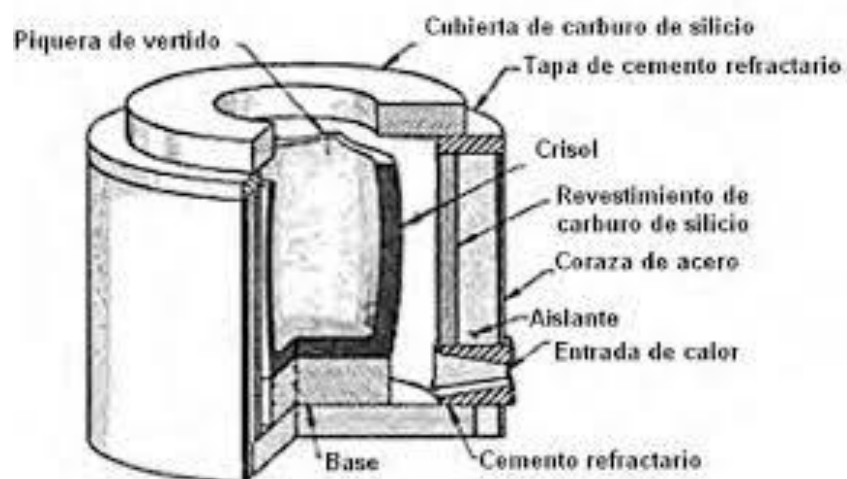


Figura 6: Horno de crisol.

Generalmente, el crisol se construye de grafito aglomerado con arcilla refractaria o de fundición gris perlítica de grano fino, como de específica a continuación: 0.5 % de



Mn; 2 a 2.5 % de Si; 0.4 % de P; < 0.12 % de S. Estos últimos son más económicas, pero el metal fundido en ellos se contamina lenta y continuamente con el hierro del crisol.

Sin embargo, esta impurificación puede ser evitada o minimizada si el crisol es recubierto con una mezcla conteniendo, por ejemplo: 50% de arcilla, 45% de agua, 5% de vidrio soluble, o mediante el uso de pinturas a base de caolín, las cuales previenen el contacto directo del metal líquido con el crisol. Los crisoles de grafito aglomerados con arcilla, impurifican menos que el metal, pero su menor capacidad de para reducir el calor y su progresiva destrucción por la combustión del grafito hace menos económico su empleo, especialmente en hornos calentados eléctricamente.

2.6.2- HORNOS FIJOS O ESTACIONARIOS

Son utilizados cuando solo han de colarse piezas pequeñas. En la forma más simple del horno de crisol, la cuba es estacionaria, y el metal fundido es vaciado desde el mismo para realizar la colada. En un horno de crisol, la cuba tiene un pico para verter el metal líquido, el cual es removido por media de pinzas como la mostrada en la colada. El basculamiento puede ser de tipo manual o de tipo mecánico (hidráulico o neumático).

2.6.3- HORNOS DE TIPO BASCULANTE.

Son usados cuando se moldean, piezas de mayor tamaño. En estos hornos, el crisol se construye dentro de la cámara de combustión con una cubierta refractaria. La disposición de los elementos constitutivos permite vaciar el crisol sin que sea necesario extraerlo, dado que el horno está apoyado en pivotes de oscilación que le permite bascular completamente sobre la cuchara o molde contaminación del metal con los gases de combustión (hornos que utilizan combustible).



Figura 7. Horno basculante.

2.6.4- HORNOS DE REVERBERO

Es un tipo de horno generalmente rectangular, cubierto por una bóveda de ladrillo refractario y con chimenea, que refleja (o reverbera) el calor producido en un sitio independiente del hogar donde se hace la lumbre. Es utilizado para realizar la fusión del concentrado de cobre y separar la escoria, así como para la fundición de mineral y el refinado o la fusión de metales de bajo punto de fusión como el aluminio. (Calvo, 2015)

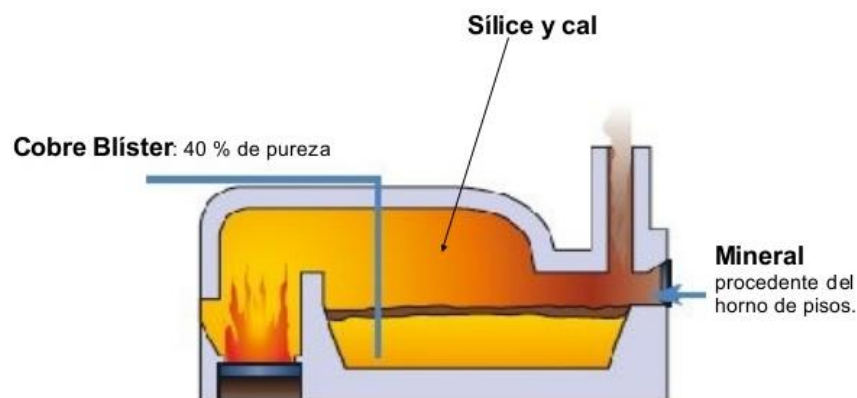


Figura 8. Horno reverbero.



Tales hornos se usan en la producción de cobre, estaño y níquel, en la producción de ciertos hormigones y cementos y en el reciclado del aluminio. Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición tanto de metales como de metales férricos como de metales no férricos, como cobre latón, bronce y aluminio.

2.6.5- HORNO DE INDUCCIÓN ELECTRICA.

El calor por inducción es un medio de calentamiento o de fundición de metal que utiliza corrientes eléctricas para calentar el material. El calor eléctrico es limpio y eficiente. Proporciona calor rápido y consistente a lo largo del horno y permite que el material se caliente uniformemente. El calor de inducción se basa en una bobina hecha con un tubo de cobre. El agua fluye a través de las bobinas que trabajan junto a los elementos de calefacción de cobre y ayudan a enfriar el horno según sea necesario. El tamaño y forma de la bobina puede ser determinada según la aplicación específica para la que se utilice el horno.

En los hornos de inducción el rango de frecuencias de operación va desde la frecuencia de red (50 ó 60 Hz) hasta los 10 kHz, en función del metal que se quiere fundir, la capacidad del horno y la velocidad de fundición deseada - normalmente un horno de frecuencia elevada (más de 3000 Hz) es más rápido, siendo utilizados generalmente en la fundición de aceros, dado que la elevada frecuencia disminuye la turbulencia y evita la oxidación. Frecuencias menores generan más turbulencias en el metal, reduciendo la potencia que puede aplicarse al metal fundido. (Faraday., 1831)



Figura 9. Horno de inducción magnética.

2.6.6- FUENTES DE CALOR.

La generación del calor necesario para la fusión, se obtiene a través del quemado de combustibles (coque, gas natural, gasoil) o mediante la utilización de resistencias eléctricas. Los hornos calentados con gas o gasoil, utilizan por lo general, uno o más quemadores dispuestos de tal forma que las llamas atacan tangencialmente la base del crisol, a fin de que los gases de combustión giren alrededor del mismo, favoreciendo así los intercambios térmicos, obteniendo un calentamiento uniforme.

En el caso de que los hornos que utilizan resistencia eléctrica, los elementos radiantes se ubican alrededor del crisol, de modo que el horno debe disociar de tal manera que, si rompe el crisol, debido a que los inutilizaría. Es conveniente disponer en el fondo del crisol una salida por la que pueda extraerse el metal y ser recogido en un molde apropiado.



1.12. BRONCE.

2.7.1- DEFINICION:

Bronce es toda aleación metálica de cobre y estaño en la que el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción del 3 al 20 por ciento.

El bronce fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre y da su nombre al período prehistórico conocido como Edad del bronce. Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas y utensilios, y orfebres de todas las épocas lo han utilizado en joyería, medallas y escultura. Las monedas acuñadas con aleaciones de bronce tuvieron un protagonismo relevante en el comercio y la economía mundial.

Cabe destacar entre sus aplicaciones actuales su uso en partes mecánicas resistentes al roce y a la corrosión, en instrumentos musicales de buena calidad como campanas, gongs, platillos de acompañamiento, saxofones, y en la fabricación de cuerdas de pianos, arpas y guitarras. (Cobos, 1996)

2.7.2- PROPIEDADES DEL BRONCE

Exceptuando al acero, las aleaciones de bronce son superiores a las de hierro en casi todas las aplicaciones.

Por su elevado calor específico, el mayor de todos los sólidos, se emplea en aplicaciones de transferencia del calor Comparación entre bronce y aceros. Aunque desarrollan pátina no se oxidan bajo la superficie, son más frágiles y tienen menor punto de fusión. Son aproximadamente un 10% más pesadas que el acero, a excepción de las compuestas por aluminio o sílice. También son menos rígidas, por lo tanto, en aplicaciones elásticas como resortes acumulan menos energía que las piezas similares de acero. Resisten la corrosión, incluso la de origen marino, el umbral de fatiga metálica es menor, y son mejores conductores del calor y la electricidad. Otra característica



diferencial de las aleaciones de bronce respecto al acero, es la ausencia de chispas cuando se le golpea contra superficies duras. Esta propiedad ha sido aprovechada para fabricar martillos, mazas, llaves ajustables y otras herramientas para uso en atmósferas explosivas o en presencia de gases inflamables. (Cobos, 1996)

2.7.3- PROPIEDADES FISICA DEL BRONCE

Tabla 2. Datos para una aleación promedio con 89% de cobre y 11% de estaño.

PROPIEDADES	VALORES
Densidad:	8,90 g/cm ³
Punto de fusión:	De 830 a 1020 °C
Punto de ebullición:	De 2230 a 2420 °C
Coefficiente de temperatura:	0,0006 K-1
Resistividad eléctrica:	De 14 a 16 μΩ/cm
Coefficiente de expansión térmica:	Entre 20 y 100 °C → 17,00 x 10-6 K-1

2.7.4- VERSATILIDAD

El cobre y sus aleaciones tienen una amplia variedad de usos como resultado de la versatilidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Téngase en cuenta, por ejemplo, la conductividad eléctrica del cobre puro, la excelente maleabilidad de los cartuchos de munición fabricados en latón, la baja fricción de aleaciones cobre-plomo, la sonoridad del bronce para campanas y la resistencia a la corrosión de la mayoría de sus aleaciones.

1.13. TIPOS DE BRONCES

2.8.1- BRONCES FOSFOROSOS

Tabla 3. Aleaciones de bronce fosforosos.

SAE	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES FISICAS			APLICACIONES GENERALES		
	ASTM	DIN	COBRE Cu	ESTAÑO Sn	PLOMO Pb	ZINC Zn	NIQUEL Ni	FOSFORO P	HIERRO Fe	ALUMINIO Al	MANGANESO Mn	RESIST. TRACCION KG/MM2		ALARGA- MIENTO%	DUREZA BRINELL
40	B145-4A	1705 Rg5	84 86	4 6	4 6	4 6	1 max	---	0.3	0.005	---	21	18	60	Bujas y piezas con cargas y velocidades normales: válvulas, cuerpos de bomba, rotores.
62	B143-1A	1705 Rg10	86 89	9 11	0.3	1 3	1 max	---	0.15	0.005	---	28	20	75	Cojinetes y piezas de fricción que soportan grandes esfuerzos y elevada temperatura. Anillos de empuje, discos de fricción, manguitos de bomba, crapodinas, anillos colectoros: bujas de pasadores de pistón y balancines, guías de válvulas, cojinetes, rotores, cuerpos de válvulas para elevadas presiones, peneas, stopes.
63			86 89	9 11	1 2.5	0.75	1 max	0.25	0.15	0.005	---	25	10	68	
65		1705 G.Sn Bz.10	88 90	10 12	0.5	0.5	1 max	0.1 0.3	0.15	0.005	---	25	10	75	Bronce de gran elasticidad muy apto para engranajes, coronas, tornillos simin, tuercas y piezas dentadas en general, madreavias de prensas de fricción o impacto, placas de fricción.
820	B143-1B		88 89	7.5 9	0.3	3 5	1 max	---	0.15	0.005	---	28	20	68	Material de grano fino resistente a la presión hidráulica y de vapor, camisas de bomba, válvulas de vapor, accesorios para calderas. Cojinetes y bujas de barcos, puentes, máquinas herramientas, pasadores de compresores, ruedas helicoidales con pequeñas velocidades de deslizamiento, engranajes menores, camisas de calandrias.
821	B143-2B		85 89	7.5 9	1	3 5	1 max	---	0.25	0.005	---	25	18	65	
822	B143-2A		88 90	5.5 6.5	1 2	3 5	1 max	---	0.25	0.005	---	24	22	63	
840		1705 G.Sn Bz.12	85 88	10 12	1 1.5	0.5	0.75 1.5	0.2 0.3	0.3	0.005	---	25	10	100	Bronces muy duros y excelentes anticorrosivos, especiales para soportar grandes esfuerzos, impactos y elevada temperatura. Impulsores de bombas centrífugas para agua con materiales en suspensión, guías de válvulas para motores de competición, asientos de válvulas: bujas de bielas, cajas de cambio, pistones, pistones de bombas, pistones de bombas, pistones, laminadores, prensas exocéntricas, guías. Engranajes, coronas, piones y piezas sometidas a grandes esfuerzos.
640A		1705 G.Sn Bz.14	85 87	13 15	1	0.5	1 max	0.2	0.2	0.005	---	18	3	115	

Fuente: (Tablas y medidas, s/a)

2.8.2- BRONCES ANTIFRICCIÓN

Tabla 4. Aleación de bronce antifricción.

SAE	NORMAS ASTM	DIN	COMPOSICION QUIMICA										PROPIEDADES FISICAS			APLICACIONES
			COBRE Cu	ESTAÑO Sn	PLOMO Pb	ZINC Zn	NIQUEL Ni	FOSFORO P	HIERRO Fe	ALUMINIO Al	MANGANESO Mn	RESIST. TRACCION KG/CM ²	ALARGA- MIENTO%	DUREZA BRINELL		
64	B144-3A	1716 G.Sn Pb Bz 10	78 82	9 11	8 11	0.75	0.5 max	0.25	0.15	0.005	---	20	8	60	Cojinetes que trabajan con mucha carga hasta 700 r.p.m. Bujes y descargas de usos severos: hornos para cemento, laminadoras, trapiches, palas mecánicas, perforadoras, equipo pesado.	
66	B144-3C		83 88	4.5 6	8 10	2	0.5 max	---	0.2	0.005	---	18	8	50	Material standard para aplicaciones generales en ejes semiduros con buena lubricación; motores eléctricos, maquinaria agrícola, rodillos de cintas transportadoras, maquinaria textil. Bujes de: montacargas y ascensores con cargas y velocidades normales, poleas, elásticos, roldanas.	
680	B144-3B Rg 7	1705 Rg 7	81 85	6.25 7.5	6 8	4	0.5 max	0.15	0.2	0.005	---	21	12	55		
7	B144-3D G.Sn Pb Bz 15	1716	76.5 79.5	5 7	14 18	1.5	0.75 max	0.05	0.4	0.005	---	15	10	45	Recomendado para velocidades que oscilan entre las 500 y 1.500 r.p.m con ejes blandos o lubricación deficiente.	

Fuente: (Tablas y medidas, s/a)

2.8.3- BRONCES AL ALUMINIO

Tabla 5. Aleación bronce al aluminio.

SAE	NORMAS ASTM	DIN	COMPOSICION QUIMICA										PROPIEDADES FISICAS			APLICACIONES GENERALES
			COBRE Cu	ESTAÑO Sn	PLOMO Pb	ZINC Zn	NIQUEL Ni	FOSFORO P	HIERRO Fe	ALUMINIO Al	MANGANESO Mn	RESIST. TRACCION KG/CM ²	ALARGA- MIENTO%	DUREZA BRINELL		
68 A	B148-9A/B	1714 G-Fe-Al Bz F50	86 89	---	---	---	---	---	1 4	8.5 11.5	0.5	46	20	130	88 A y B: Coronas, engranajes, tornillos sin fin, ruedas helicoidales, hélices de barcos, cuerpos e impulsores de bombas, bulonería para uso marino, piezas y tuberías para condensadores, cojinetes de empuje, cestas, cadenas y ganchos para decapado, industria química y papelería. Piezas mecánicas sometidas a golpes en medios corrosivos. 88 C: Cuerpos e impulsores de bombas, guías y colizas, matriceria para embudo de chapas de acero, matriceria para vidrio, mordazas para soldadura por resistencia, herramientas anticrispa, guías de válvulas para motores diesel de alta performance, pernos de pistón y biela para motores diesel.	
68 B	B148-8C		84 88	---	---	---	---	---	2 4	9 11	1	66	18	165		
68 C		1714	73	---	---	---	4.5	---	4	9	1.5	75	8	220		
		G-Ni-Al Bz F68	80	---	---	---	7	---	6	12	2.5					

Fuente: (Tablas y medidas, s/a)

2.8.4- BRONCES AL MANGANESO.

Tabla 6. Aleaciones bronce al manganeso.

NORMAS		COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES FISICAS			APLICACIONES GENERALES		
SAE	ASTM	COBRE Cu	ESTAÑO Sn	PLOMO Pb	ZINC Zn	NIQUEL Ni	FOSFORO P	HIERRO Fe	ALUMINIO Al	MANGANESO Mn	RESIST. TRACCION KG/MM2	ALARGA- MIENTO%	DUREZA BRINELL	
43	B147-3A	65 80	1	0.4	resto	0.5	---	0.4	0.5	1.5	40	20	120	Pernos, tuercas, brazos, vástagos y partes menores; piezas para la industria naval.
430A	B147-3B	60 88	0.2	0.2	resto	0.5	---	2	3	2.5	63	18	170	Aleaciones de gran dureza y resistencia al desgaste. Usos estructurales, engranajes, tornillos sin fin, levas, guías de válvulas, ejes, patines para trenes de laminación, marposas, piezas de cilindros hidráulicos, bujes de puentes, pernos y émbolos.
430B	B147-3C	60 88	0.2	0.2	resto	0.5	---	2	5 7.5	2.5 5	78	12	230	

Fuente: (Tablas y medidas, s/a)

1.14. APLICACIONES MAS COMUNES DEL BRONCE.

El bronce es utilizado para aplicaciones en cañerías, herrajes, chapos, carpintería metálica y en la fabricación de elementos cubiertos con niquel o cromo. Una de sus aplicaciones más comunes era la fabricación de monedas.

Y en usos artísticos la figura podemos apreciar los toros de la avenida ejército en la ciudad blanca de AREQUIPA.

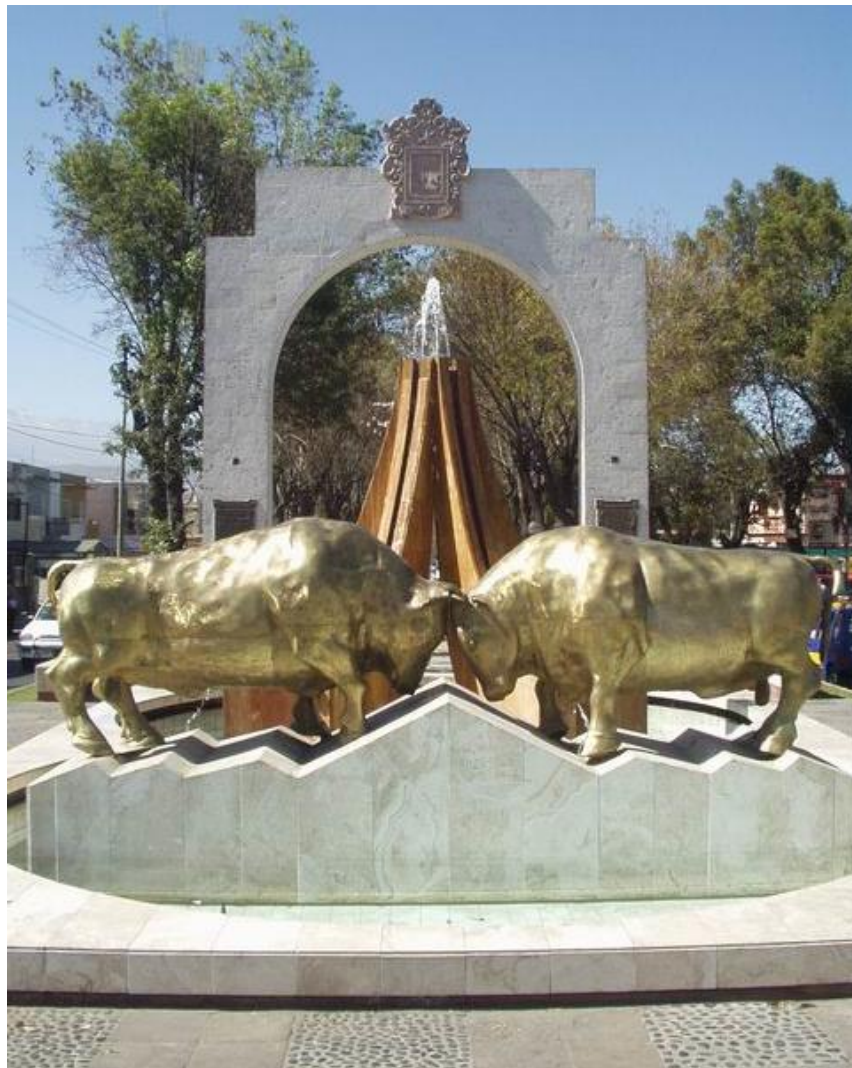


Figura 10. Toros de bronce en la avenida ejército "AREQUIPA".

1.15. METALURGIA DE LA ALEACIÓN DEL BRONCE

La aleación descrita es parte de los bronce al estaño. En la fig. 11 se puede apreciar la porción rica en cobre de esta aleación. La base β se forma como resultado de una

reacción peritética a 798°C. A 586°C, la fase β tiene una reacción eutectoide para formar la mezcla $(\alpha + \gamma)$. A 520°C, γ también sufre una transformación eutectoide a $(\alpha + \delta)$. El diagrama indica la descomposición de la fase δ , la que se da por una reacción eutectoide a 350°C, formando $(\alpha + \epsilon)$. Esta reacción es muy lenta, haciendo que la fase ϵ no exista en las aleaciones comerciales. La pendiente de la línea solvus por debajo de 520°C muestra una pérdida de solubilidad del estaño en la fase α . La precipitación de la fase δ o ϵ es lenta debido al cambio de solubilidad que se da

en la etapa antes mencionada. Es por ello que las fundiciones de bronce al estaño que se enfrían lentamente y que contienen menos del 7% de estaño, solo muestran una fase (solución α sólida). Pero en la mayor parte de las aleaciones que poseen más del 7% de estaño, se puede encontrar algo de la fase δ . (AVNER, 1981)

El proceso de fabricación más común de esta aleación es por medio de la fundición, la cual puede ser centrífuga, colada continua, fundición en arena, entre otros.

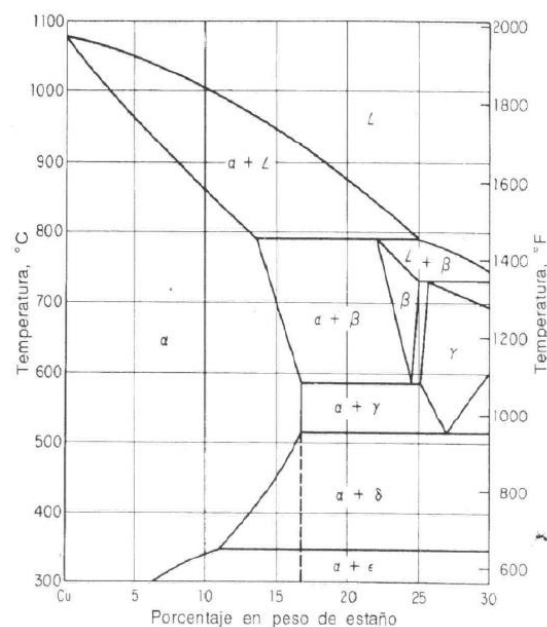


Figura 11. Diagrama de fase de cobre estaño

La metalografía que presenta un bronce especial de estaño en general es la siguiente:

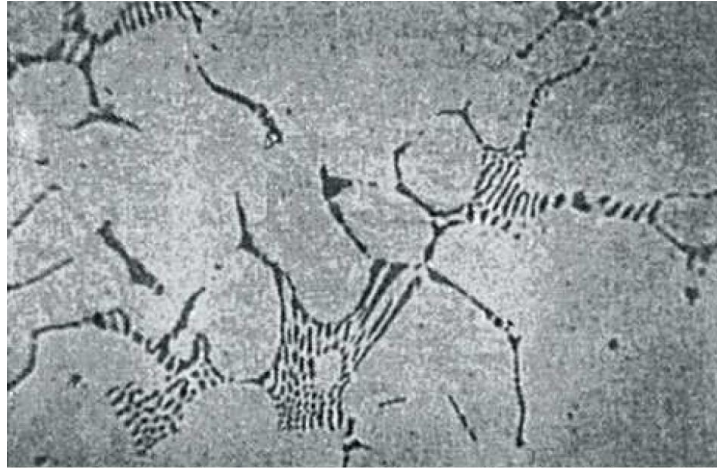


Figura 12. Metalografía de bronce fosforoso 90% Cu y 10% Sn. (Morrall, 1985)

La microestructura de un bronce emplomado muestra incrustaciones en color negro que son el plomo y la parte blanca de la misma es el cobre. Estos dos elementos son inmiscibles, es decir, no se mezclan entre sí.

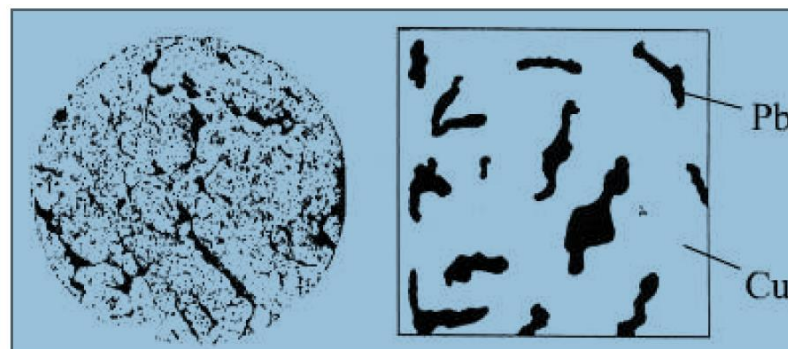


Figura 13. Microestructura de bronce emplomado.

Este bronce en específico tiene una composición química que está entre los límites de: 78 a 82 Cu, 9 a 11 Sn, 8 a 11 Pb, 0.8 Zn max, 1.0 Ni max, 0.15 Fe max, 0.5 Sb max, 0.08 S max, 0.15 P max, 0.005 Al max, 0.005 Si max; según la norma ASTM B584, como se muestra en la fig. 2.5:

2.10.1- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN.

Las propiedades mecánicas vienen dadas por la composición química de la aleación. Para determinar estas propiedades, se deben realizar pruebas de forma separada en

barras fundidas y los resultados de las mismas deben cumplir con los requisitos que la norma ASTM B584 presenta en la siguiente figura. (ASTM, 2000).

Tabla 7. Requerimientos mecánicos. (ASTM, 2000)

Copper Alloy UNS No.	Tensile Strength, min		Yield Strength, ^A min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %
	ksi ^B	MPa ^C	ksi ^B	MPa ^C	
C83450	30	207	14	97	25
C83600	30	207	14	97	20
C83800	30	207	13	90	20
C84400	29	200	13	90	18
C84800	28	193	12	83	16
C85200	35	241	12	83	25
C85400	30	207	11	76	20
C85700	40	276	14	97	15
C86200	90	621	45	310	18
C86300	110	758	60	414	12
C86400	60	414	20	138	15
C86500	65	448	25	172	20
C86700	80	552	32	221	15
C87300	45	310	18	124	20
C87400	50	345	21	145	18
C87500	60	414	24	165	16
C87600	60	414	30	207	16
C87610	45	310	18	124	20
C89510	26	184	17	120	8
C89520	25	176	17	120	6
C89644	28	193	13	90	15
C90300	40	276	18	124	20
C90500	40	276	18	124	20
C92200	34	234	16	110	22
C92210	32	225	15	103	20
C92300	36	248	16	110	18
C92600	40	276	18	124	20
C93200	30	207	14	97	15
C93500	28	193	12	83	15
C93700	30	207	12	83	15
C93800	26	179	14	97	12
C94300	24	165	10

La resistencia a la tracción es de 207 MPa (30 ksi), la resistencia a la fluencia es de 83 MPa (12 ksi), y la elongación en 2 pulgadas o 50 mm es del 15% mínimo. La dureza no es un factor determinante para esta norma, pero según la ASM la dureza del C93700 es de 60 HB.

Estas propiedades varían según la temperatura a la que el material esté sometido y se ven reflejadas de mejor manera en las siguientes gráficas: Fig 2. 7 Propiedades mecánicas típicas del C93700 a diferentes temperaturas

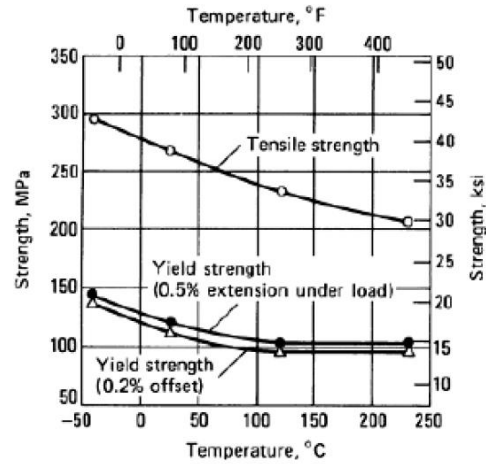


Figura 14. Propiedades típicas a diferentes temperaturas.

Otra de las propiedades mecánicas de esta aleación es la resistencia a la compresión, que es de 90 MPa (13 ksi) en un conjunto permanente de 0.1%; 325 MPa (47 ksi) en un conjunto permanente de 10%. (ASM, 1992)

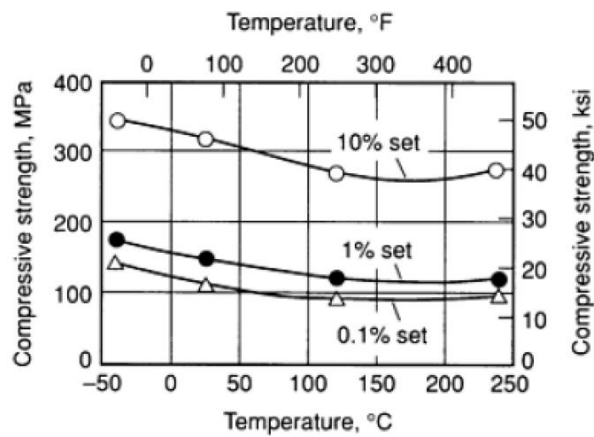


Figura 15. Variación a la resistencia a la compresión con la temperatura.

El módulo de elasticidad de este material también se ve afectado conforme varía la temperatura.

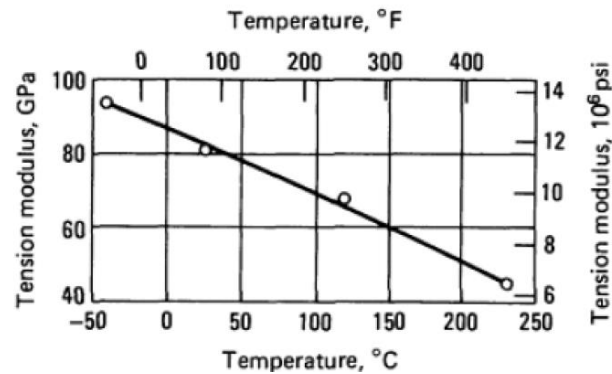


Figura 16. Variación del módulo de elasticidad con la temperatura.

1.16. PIEZAS ORNAMENTALES

2.11.1- DEFINICIÓN

Es un adorno que sirve para embellecer personas o cosas. Compostura que hace vistosa una cosa.

El variadísimo conjunto de ornamentos utilizados por los artistas para embellecer objetos u obras puede distribuirse en dos clases: simples y compuestos. Los primeros consisten en un solo motivo, Los segundos son una combinación de los simples.

Los adornos simples se dividen a su vez en:

- **Caligráficos**, cuyos motivos son trazos de escritura;
- **Geométricos**, compuestos por líneas de la geometría; los hay a su vez de dos

tipos:

O el de la línea continua; o el de línea interrumpida o adorno geométrico simplemente dicho;

- **Orgánicos**, que pueden corresponder a seres del reino vegetal o del reino animal y se denominan, respectivamente. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Ornamento>)

1.17. ALUMINIO

2.12.1- HISTORIA DEL DESCUBRIMIENTO

Debe considerarse al químico inglés Sir Humphrey Davy (1807) como el primer investigador que de una forma sistemática intentó el aislamiento de este misterioso metal hasta entonces. Su trabajo estuvo basado en métodos electrolíticos y de fusión al arco eléctrico, pero su esfuerzo no lo llevó al éxito. El mismo sugirió que el metal debería llamarse “alumium”, ya que estaba indudablemente presente en la alúmina.

En 1821, el francés Pierre Berthier descubrió una roca de color rojizo, en “Les Baux” (Francia), por lo que llamó bauxita, al mineral más común de aluminio.



Figura 17. La bauxita

En ese mismo año, el científico danés Hans Christian Oersted obtiene por primera vez el cloruro de aluminio. En 1825, Oersted consigue al fin aislar unos pequeños granos metálicos de color y aspecto similar al estaño. En abril de ese mismo año, Oersted presenta en la Real Academia de Ciencias danesa los granos del nuevo elemento. En 1827, el investigador alemán Friedrich Wöhler, que había conocido los trabajos de Oersted, continuó con los experimentos en su laboratorio de Berlín. Tras años de dedicación, es en 1829, que consigue aislar por primera vez partículas de aluminio puro (que en total pesaban la cantidad de 32 mg). En 1845, en base a estas



partículas, determinó sus principales propiedades como densidad, conductividad, su notable luminosidad, resistencia a la corrosión, etc.

Partiendo de los trabajos de Wöhler, el francés, Henri Sainte-Claire Deville, presenta en febrero de 1854 ante la Academia de Ciencias francesa un sistema mejorado de obtención, que permite conseguir producción de metales de alto costo en cantidades limitadas y que significa ya un paso importante hacia el uso industrial del aluminio.

En 1855 es presentado como metal precioso, junto con las joyas de la corona de Francia, en la Exposición Universal de París. Ese mismo año, dos colaboradores de Deville instalan en “Amfreville-la-Mi-Voie” una pequeña fábrica.

Los trabajos de Saint - Claire, apoyados por el propio emperador Napoleón III, progresan hacia métodos cada vez más perfeccionados. En 1857 se constituye la primera sociedad de producción de aluminio, obteniéndose en la fábrica de “Nanterre” una producción de 40 kg diarios y en 1860 una producción de 500 kg a un precio de 100 francos el kilo.

Las primeras aplicaciones de este metal precioso se destinaron a la fabricación de artículos de lujo: una cubertería para la mesa del Emperador, un sonajero para su hijo, también se usaba para material de joyas, e incluso, el monumento a George Washington en los Estados Unidos, fue coronado con una plancha del valioso metal. El aluminio era algo exótico que llamaba la atención de la gente.

Sin embargo, a pesar de las mejoras realizadas al sistema de Sainte-Claire Deville, sólo permitía la obtención de pequeñas cantidades de aluminio a un costo muy elevado. La verdadera revolución en el campo de la obtención de aluminio llegó en el año 1886, con la puesta en marcha del método de electrólisis de la alúmina fundida en criolita (sales de ácido fluorhídrico Na_3AlF_6), realizado por el francés Paul Louis Toussaint



Heroult y el norteamericano Martin Hall, trabajando de forma completamente independiente.

La invención del proceso ideado por Heroult y Hall, permitió un importante descenso en el precio de la extracción del aluminio a partir del mineral, abriéndole las puertas a este metal para su creciente utilización a escala industrial en las más diversas áreas tecnológicas. Los primeros vehículos con motor de combustión interna fueron apareciendo, y el aluminio podía desempeñar un papel de cada vez mayor valor como material de ingeniería en la industria automotriz. Ya en 1888 son fundadas las primeras empresas del aluminio en Francia, Suiza y los Estados Unidos

El éxito del proceso Hall / Héroult se adelantó cuando poco después Karl Bayer, un austriaco, mejoró el método preliminar de tratamiento de la bauxita con soda cáustica. Estas invenciones sellaron el destino del aluminio en 1890, el costo del aluminio había caído un 80 por ciento desde los precios de Deville.

La producción mundial alcanzó las 6.700 toneladas hacia 1900, 700.000 en 1939 y en 1943 llegó a los dos millones debido al impulso de la II Guerra Mundial.

Es a finales del siglo XIX, que el aluminio se convierte en un competidor económico gracias a sus aplicaciones en la ingeniería, y a la necesidad de nuevos desarrollos industriales.

El aluminio es el tercer elemento más abundante de la tierra. Constituye aproximadamente el 8 % de su corteza. Solo el silicio y el oxígeno son más abundantes.

Solo existe en la naturaleza en combinación con otros metales-silicatos y óxidos, muy estables, que dificultaron el desarrollo de métodos para obtener el aluminio puro. Como metal su uso es muy reciente.

2.12.2- PROPIEDADES DEL ALUMINIO

Pese a las grandes características que posee el aluminio en su estado natural, que al combinarse con otros aleantes se generan propiedades que lo hacen muy eficiente para trabajos de manufactura en la industria entre ellos está su dureza la resistencia que posee frente a otros y sobre todo se toma en cuenta que el material no ferroso se lo puede volver a reutilizar por el proceso de reciclaje. A continuación, se presenta algunas de las propiedades más importantes.

2.12.3- PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas más destacables del aluminio puro son su elevada conductividad térmica y eléctrica, y su gran ligereza. Su densidad de 2,7 g/cm³, aproximadamente un tercio de la del acero (7,83 g/cm³), permitirá la construcción de elementos estructurales más ligeros al disminuir la masa total. En la Tabla 6 se detallan las propiedades físicas más características del aluminio.

Tabla 8. Propiedades físicas, más notables del aluminio puro.

propiedad	Características - valores
Símbolo	Al
Color	Plateado blanco
Estructura cristalina	FCC
Estado ordinario	solido
Densidad	2698,4 kg/m ³
Punto de fusión	933,47 K (660 °C)
Punto de ebullición	2.792 K (2.519 °C)
Entalpía de vaporización	293,4 kJ/mol
Entalpía de fusión	10,79 kJ/mol
Presión de vapor	2,42 × 10 ⁻⁶ Pa a 577 K
Volumen molar	10,00×10 ⁻⁶ m ³ /mol

Fuente: ardilla López



2.12.4- PROPIEDADES QUIMICAS

El aluminio, es un metal químicamente activo, esto quiere decir que se oxida rápido debido a la afinidad del oxígeno con el aluminio. Una vez formada la capa de óxido en la superficie, ésta actúa como un escudo, ya que es muy dura y compacta, evitando de esta forma la progresión de la oxidación hacia el interior. Tal es la capacidad de protección de esta capa de alúmina (Al_2O_3), que se han desarrollado sistemas de protección -anodizados- basados en una oxidación controlada de piezas de aluminio con objeto de obtener mayores espesores de óxido y más compactos, para aumentar su resistencia a la intemperie.

Los ácidos clorhídricos, fluorhídricos y sulfúricos concentrados pueden atacar fácilmente al aluminio y a sus aleaciones, mientras que las soluciones de ácido nítrico, amoníaco y la mayoría de ácidos orgánicos, los atacan ligeramente. La resistencia química del aluminio depende de la composición química y concentración de la solución, así como de la pureza del metal. Por ejemplo, en ácido nítrico el aluminio de pureza 99,99% es mucho más resistente al ataque que el aluminio de pureza 99,5%.

Según el efecto que tienen los elementos aleantes sobre la resistencia a la corrosión, éstos se pueden clasificar en:

- Elementos que mejoran la resistencia a la corrosión: Cr, Mg y Mn.
- Elementos que empeoran la resistencia a la corrosión: Cu, Ni, Sn, Pb y Co.
- Elementos que tienen poca influencia: Si, Ti, Zn, Cd y Zr.

El aluminio, es no pirofórico, lo cual es importante en aplicaciones que involucran manipulación de materiales inflamables o explosivos.



2.12.5- PROPIEDADES MECANICAS DEL ALUMINIO

Mecánicamente es un material blando y maleable. En estado puro tienen un límite de resistencia en tracción de 160-200 N/mm². A pesar de ello sigue siendo inadecuado como elemento estructural, por lo que se alea con otros metales, lo que permite realizar sobre él operaciones de fundición, forja o extrusión.

Tabla 9. Propiedades mecánicas más relevantes del aluminio.

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS - VALORES
Módulo de elasticidad (grado de pureza 99.99%)	64.200 N/mm ²
Módulo de elasticidad (grado de pureza 99.99%)	69.000 N/mm ²
Módulo de rigidez	17.000 N/mm ²
Coefficiente de poisson	0.32 ÷ 0.36

Fuente: Ardilla López.

La selección de las aleaciones deberá tomar un compromiso entre la maximización de las propiedades mecánicas y las propiedades de conformado de éstas, para la fabricación de las estructuras de aluminio.



Tabla 10. Descripción de las propiedades más relevantes del aluminio.

PROPIEDAD	CARACTERISTICAS
Ligero, resistente	El aluminio es un metal muy ligero con un peso específico de 2,7/cm ³ un tercio el peso del acero. Su resistencia puede adaptarse a la aplicación que se desee modificando la composición de su aleación.
Muy resistente a la corrosión	El aluminio genera de forma natural una capa de óxido que lo hace muy resistente a la corrosión. Los diferentes tipos de tratamiento de revestimiento pueden mejorar aún más esta propiedad. Resulta especialmente útil para aquellos productos que requieren de protección y conservación.
Excelente conductor de la electricidad	El aluminio es un excelente conductor del calor y la electricidad y, en relación con su peso, es casi dos veces mejor que el cobre.
Buenas propiedades de reflexión	El aluminio es un buen reflector tanto de la luz como del calor. Esta característica, junto con su bajo peso, hace de él el material ideal para reflectores, por ejemplo, de la instalación de tubos fluorescente, bombillas o mantas de rescate.
Muy dúctil	El aluminio es dúctil y tiene una densidad y un punto de fusión bajos. Esta situación de fundido, puede procesarse de diferente manera. Su ductilidad permite que los productos de aluminio se fabriquen en una fase muy próxima al diseño final del producto.
Completamente impermeable e inocuo	La lámina de aluminio, incluso cuando se lamina a un grosor de 0,007 mm. sigue siendo completamente impermeable y no permite que las sustancias pierdan ni el más mínimo aroma o sabor. Además, el metal no es tóxico, ni desprende olor o sabor.
Totalmente reciclable	El aluminio es cien por cien reciclable sin merma de sus cualidades. El refundido del aluminio necesita poca energía. El proceso de reciclado requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial.

Fuente : resistencia de materiales
Autor: Jorge medina P.

2.12.6- MENAS DEL ALUMINIO

Se encuentra normalmente en forma de silicato de aluminio puro o mezclado con otros metales como sodio, potasio, hierro, calcio y magnesio, pero nunca como metal libre. Los silicatos no son menas útiles, porque es extremadamente difícil y caro extraer el aluminio de ellas.

Entre estas combinaciones naturales destacan:

Tabla 11. Menas no útiles.

MENAS	FORMULA
Ortosa o feldespato potasio	$KAlSi_3O_3$
Albita o feldespato sódico	$KAlSi_3O_8$
Anortita o feldespato cálcico	$CaAl_2Si_3O_8$
Moscovita o mica de potasio	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$
Caolín o caolinita	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$
Corindón	Al_2O_3 y arcillas

Fuente: CRU

(mezclas de productos de descomposición de silicatos de aluminio “granito, gneis, feldespatos” por acción del agua, dióxido de carbono, calor, etc.).

En la actualidad la única MENA de aluminio que se emplea es la bauxita, constituida por óxidos de aluminio hidratados. Se han identificado tres óxidos hidratados:

Tabla 12. Menas de aluminio “óxidos hidratados”.

mena	formula
Bohemita (el alfa monohidratado)	$Al_3O_3 \cdot H_2O$ (85,1 %Al)
Diásporo (el beta monohidratado)	$Al_3O_3 \cdot H_2O$
Gibbsita o laterita (el alfa trihidratado)	$Al_3O_3 \cdot H_2O$ (65,4 %Al)

Fuente: CRU

2.12.7- PRODUCCION DE ALUMINIO PRIMARIO.

Cabe destacar el proceso de obtención del aluminio primario, pues el metal resultante es la base de todas las aleaciones de aluminio, y sus propiedades se ven afectadas en mayor o menor grado dependiendo de la presencia de impurezas. La producción de aluminio consiste de tres pasos:

- extracción de bauxita.
- producción de alúmina.
- electrólisis de aluminio.

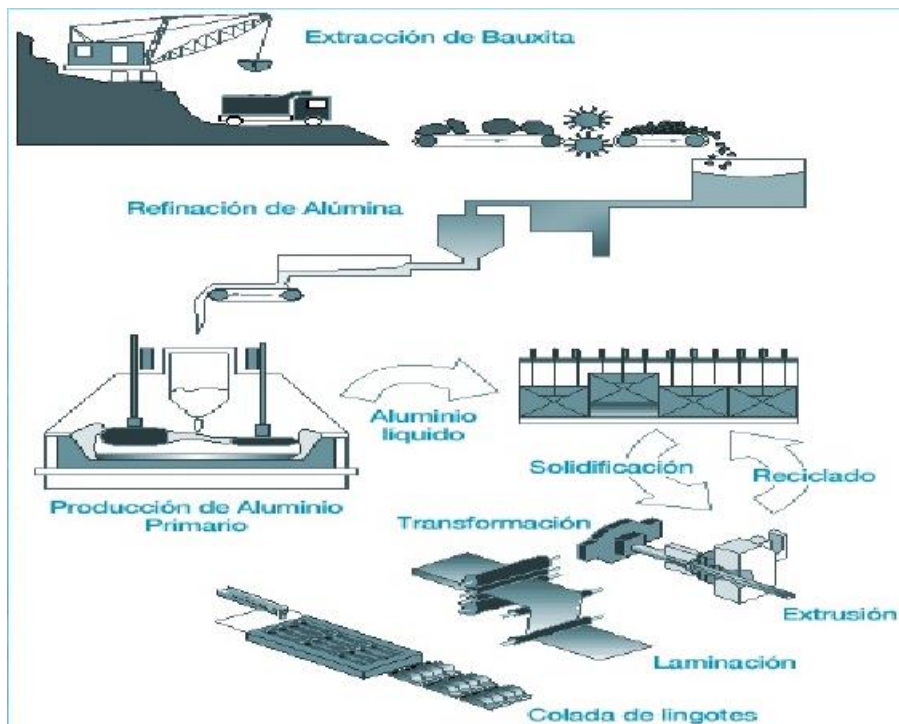


Figura 18. Proceso de producción de aluminio primario.

2.12.8- EXTRACCIÓN DE BAUXITA

Más de 160 millones de toneladas de bauxita se extraen cada año. Los lugares principales de depósitos se encuentran en zonas tropicales y sub-tropicales. La Bauxita actualmente se extrae en Australia, América Central y América del Sur (Jamaica, Brasil, Surinam, Venezuela, Guyana), África (Guinea), Asia (India, China), Rusia y hay también algunas minas de bauxita en Europa (Grecia).

La bauxita se refina para obtener óxido de aluminio (alúmina) y luego a través de un proceso electrolítico ser reducida a aluminio metálico.

La bauxita es extraída principalmente por el método de minería a cielo abierto, aproximadamente a unos 4 a 6 metros de profundidad, los cuales tienen un impacto en el ambiente. Los principales aspectos ecológicos a considerar están relacionados con la limpieza del suelo, impacto en la flora y fauna local y la erosión del suelo.



La industria está comprometida con la reforestación de los sitios de extracción. El 80% de todas las áreas forestales explotadas para fines de extracción de bauxita son reforestadas y el 20% restante es convertido en tierra agrícola en beneficio de las comunidades locales.

2.12.9- PRODUCCIÓN DE ALÚMINA

Esto es realizado a través del uso del proceso químico Bayer en las refinerías de alúmina. El óxido de aluminio es separado de las otras sustancias de la bauxita mediante solución de soda caustica (hidróxido de sodio) a alta presión y temperatura. La mezcla obtenida, contiene una solución de aluminato de sodio y partículas insolubles de bauxita (como son hierro, silicio y titanio), es filtrada para remover todas las partículas, estos residuos caen al fondo del tanque y se retiran. Se les conoce coloquialmente como barro rojo.

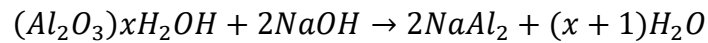
La solución de aluminato de sodio claro es bombeada a un enorme tanque llamado precipitados, y luego pasan a través de un horno de calcinación rotatorio a 1100°C para expulsar el agua contaminada químicamente. Después de la calcinación, el producto final (alúmina pura), es un fino polvo blanco.

El proceso para obtener alúmina pura a partir de la bauxita ha cambiado muy poco desde finales del siglo XIX. El proceso Bayer puede ser considerado en tres etapas:

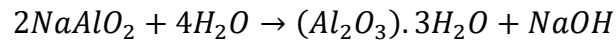
La bauxita tiene que ser convertida en óxido de aluminio puro (alúmina) antes de que pueda ser transformada en aluminio por medio del electrólisis.

1. Extracción: las condiciones dentro del digestor (concentración, temperatura o presión) varían según las propiedades de la bauxita utilizada. Las plantas modernas

operan entre unos 200 a 240°C y pueden implicar presiones de aproximadamente 30 atm.



2. Precipitación: los cristales de hidrato son clasificados en fracciones por tamaño e introducidos dentro de un horno rotativo o un lecho fluidificado para su calcinación.



3. Calcinación: $Al(OH) \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$

En el mundo, el rango promedio es de 4 a 5 toneladas de bauxita necesarios para producir 2 toneladas de alúmina, las cuales producirán 1 tonelada de aluminio en la fundición primaria. En el 2010, 87.4 mil toneladas de alúmina se produjeron en todo el mundo. Para incrementar la producción de aluminio se necesita una bauxita con la más baja cantidad sílice, debido a que ésta reacciona produciendo aluminio silicato de sodio, el cual es insoluble y produce una pérdida de alúmina.

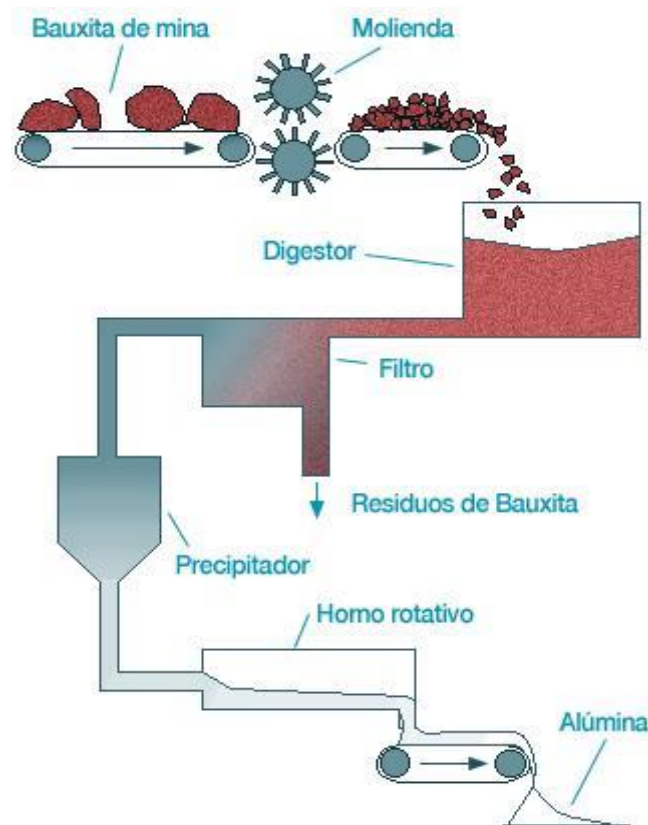
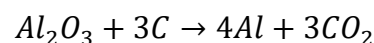


Figura 19. Proceso de producción de alúmina.



2.12.10- ELECTRÓLISIS DE ALUMINIO

El aluminio primario se produce en plantas de reducción, donde el aluminio metálico es extraído de la alúmina por medio del proceso Hall-Hérault, inventado en 1886. Para la producción electrolítica del aluminio se opera sobre una solución particular, obtenida disolviendo alúmina en criolita fundida (Na_3AlF_6) y se electroliza en una celda electrolítica usando ánodos (electrodo positivo) y cátodos (electrodo negativo) de carbono. Se realiza de esta manera, ya que la alúmina proveniente del proceso Bayer tiene un punto de fusión extremadamente alto (por encima de los 2000°C), muy caro y difícil de alcanzar en la práctica industrial. La mezcla con la criolita da una mezcla eutéctica, que logra reducir el punto de fusión, a temperaturas del orden de 950°C a 1000°C . Esta mezcla de masa fundida se electroliza a baja tensión de 4.5 Voltios, pero con una elevada corriente de 50KA – 350KA. Durante la electrólisis el carbono del ánodo reacciona con el oxígeno de la alúmina y, en una reacción secundaria, se produce aluminio metálico con la formación de dióxido de carbono:



A intervalos regulares, el aluminio fundido o metal líquido, es retirado de las celdas electrolíticas y llevado a un horno donde se mezcla de manera precisa con otros metales para formar diversas aleaciones, y ser sometido a diferentes pruebas de calidad, limpieza de óxidos y gases, mediante adición de fundentes. Después se vierte en moldes o se funde directamente en lingotes. Estos pueden adoptar la forma de tochos de extrusión, para los productos extruidos, o laminado de lingotes, para los productos laminados, dependiendo de la forma en que se quiera procesar. El aluminio fundido tiene una densidad mayor que el electrolito de fusión y se asienta en el fondo de la cuba o celda electrolítica.

Por esta razón el consumo energético que se utiliza para obtener aluminio es muy elevado y lo convierte en uno de los metales más caros de obtener, ya que es necesario gastar entre 16 y 20 Kw/h por cada kilo de metal de aluminio.

De estos baños se obtiene aluminio metálico en estado líquido con una pureza entre 99.5 y un 99.9%, quedando trazas de hierro y silicio como impurezas principales.

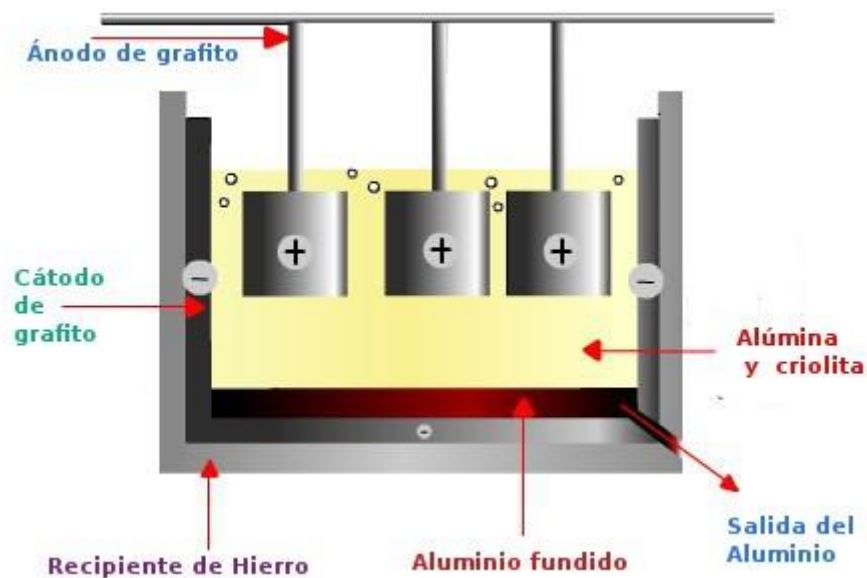


Figura 20. Electrolisis de aluminio.

2.12.11- PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE ALUMINIO PRIMARIO

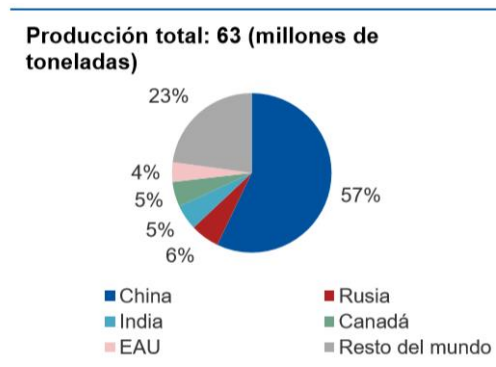
Respecto al aluminio, la composición de los principales productores incluye países que no se encuentran entre los principales productores de bauxita y/o alúmina. Como se puede ver en el gráfico siguiente, los principales productores de Aluminio para el año 2017 fueron China, Rusia, India, Canadá y Emiratos Árabes Unidos (EAU). La producción mundial para ese año fue de 63,4 millones de toneladas, de las cuales 36,2 millones de toneladas fueron producidas por China, clasificándolo como el líder mundial en producción con un 61% a nivel mundial. Rusia e India, se consolidaron en el

segundo y tercer lugar respectivamente. Sin embargo, comparativamente con China sus niveles de producción de aluminio son bajos con tan sólo 3,7 y 3,3 millones de toneladas, entre 6% y 5% de la producción mundial respectivamente.

Canadá y EAU sumaron un 9% de la producción mundial para 2017. De manera individual, Canadá produjo 3,2 millones de toneladas y EAU 2,5 millones de toneladas.

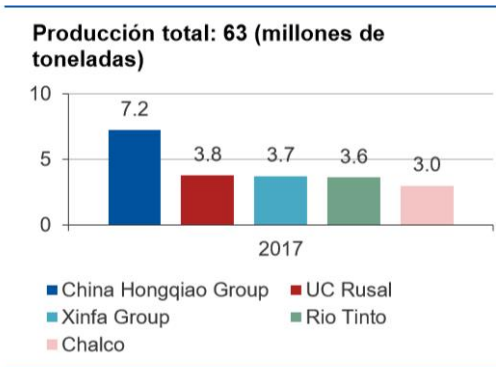
A nivel empresarial, el Grupo China Hongqiao es el mayor productor de aluminio con ~7Mt de producción en 2017. Le siguen el UC Rusal, Grupo Xinha y Río Tinto, los cuales produjeron entre 3,5 y 4 millones de toneladas el mismo año.

Tabla 13. Porcentaje de producción del aluminio por país, 2017.



Fuente: CRU

Tabla 14. Producción de aluminio por principales productores, 2017



Fuente: CRU

La producción anual de aluminio a nivel mundial ha aumentado en un 59% en la última década. En 2008 la producción de aluminio alcanzó los 39,8 millones de



toneladas. Para 2017, este valor llegó a los 63,4 millones de toneladas producidas. Si bien la producción presentó un decrecimiento del 6% en 2009 debido a la crisis financiera, ésta se recuperó rápidamente y ha mantenido un crecimiento estable a partir de ese año.

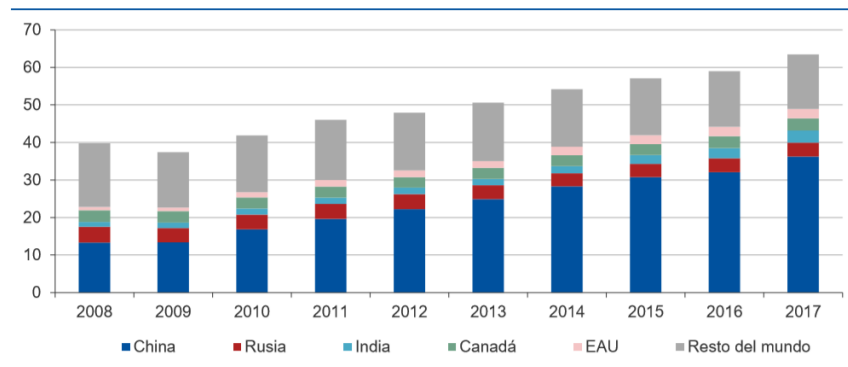
China se ha mantenido como el líder indiscutido de la última década, incrementando rápidamente sus niveles de producción con valores de 13,3 millones de toneladas (33% de la producción mundial) en 2008 y 36,2 millones de toneladas (57% de la producción mundial) para 2017. El aumento fue impulsado principalmente por la gran demanda de aluminio de este país y por políticas gubernamentales de incentivo a esta industria.

Rusia fue el segundo mayor productor de aluminio en el período 2008-2017. Sin embargo, sus niveles de producción disminuyeron desde los 4,2 millones de toneladas en 2008, hasta 3,7 millones de toneladas en 2017.

Si bien Canadá ha mantenido su producción de aluminio relativamente constante en torno a los 3 millones de toneladas de aluminio, India, que ha tenido un gran crecimiento en producción de procesamiento, superó a Canadá ubicándose en tercer lugar como mayor productor a partir de 2017. Este cambio se dio por el aumento de casi 530 mil toneladas más producidas por India en 2017 versus 2016, principalmente por el aumento de producción de las fundiciones de Vedanta e HINDALCO, llegando a un total de 3,3 millones de toneladas producidas para 2017. Si bien India ha presentado un crecimiento importante durante todo el período, el aumento entre 2016 y 2017 fue el mayor de la última década.

Al igual que India, EAU ha tenido un rápido crecimiento, aumentando su producción de 1,6 millones de toneladas entre 2008 y 2017.

Tabla 15. Producción histórica del aluminio, 2008-2017



Fuente: CRU

Tabla 16. Producción histórica del aluminio, 2008-2017

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	13,3	13,4	16,8	19,6	22,2	24,9	28,3	30,8	32,1	36,2	11,7%
Rusia	4,2	3,8	4,0	4,0	4,0	3,7	3,5	3,5	3,7	3,7	-1,3%
India	1,3	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	2,4	2,7	3,3	11,0%
Canadá	3,1	3,0	3,0	3,0	2,8	3,0	2,9	2,9	3,2	3,2	0,3%
EAU	0,9	1,0	1,4	1,8	1,8	1,8	2,3	2,4	2,4	2,5	12,1%
Resto del mundo	17,0	14,7	15,1	16,0	15,4	15,6	15,3	15,1	14,9	14,5	-1,7%
Total mundial	39,8	37,4	41,8	46,0	48,0	50,6	54,2	57,1	59,0	63,4	5,3%
<i>% cambio anual</i>		-6%	12%	10%	4%	6%	7%	5%	3%	8%	

Fuentes: CRU

2.12.12- PROYECCION DE PRODUCCION DE ALUMINIO

Se estima que la oferta de aluminio en el largo plazo aumentará desde los 64 millones de toneladas de aluminio, llegando a los 93 millones de toneladas de aluminio a 2035. Esto implica una TCAC de 2,2% a nivel mundial para el período 2018-2035, en línea con la producción de alúmina y bauxita.

China se mantendrá como líder en la producción de aluminio al igual que en la última década. Con una producción de 36,6 millones de toneladas en 2018, se estima que aumentará su producción en 6 millones de toneladas en el mediano plazo, llegando a los 42,8 millones de toneladas de aluminio en 2022. Entre 2023 a 2035, se estima que las tasas de crecimiento de producción China disminuirán comparativamente con el



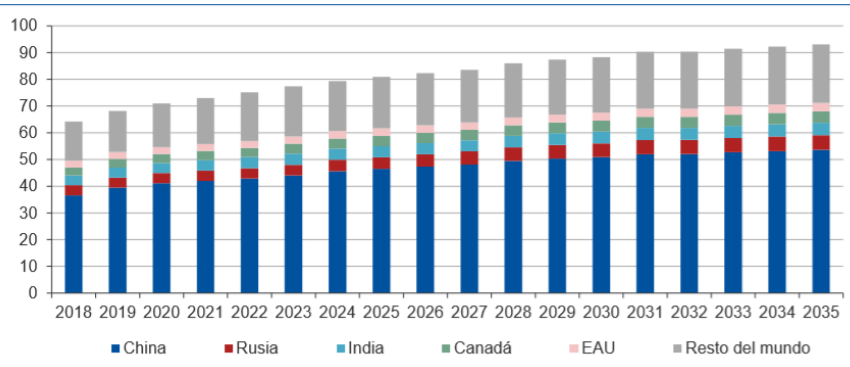
mediano plazo. Entre 2023 y 2035, se espera que el aumento promedio anual en producción para este período sea de 700 mil toneladas de aluminio, versus 1,6 millones de toneladas anuales entre 2018 y 2022.

A nivel de producción y nuevos proyectos, las tasas de crecimiento de China debiesen disminuir considerablemente debido a los nuevos lineamientos económicos y medioambientales adoptados por el gobierno chino. Entre estos, la reducción de emisiones por parte de las fundiciones, sumado a un mayor control por parte del gobierno chino en la apertura de nuevas fundiciones controladas por empresas extranjeras, restringiría la oferta de aluminio con el objetivo final de mantener la producción en línea con la demanda interna. Dado este escenario, se espera que los nuevos

proyectos de fundiciones se ubiquen fuera de China, en áreas con exceso de energía. Entre las principales regiones para el desarrollo de mayor capacidad de fundición se encuentran Rusia, Medio Oriente, Canadá, Indonesia y Malasia. Las principales inversiones en materia de fundiciones, se espera provengan de empresas como US Rusal, Rio Tinto y Alcoa.

Rusia e India se mantendrán como los productores de aluminio más relevantes después de China. La producción rusa se estima en 3,7 millones de toneladas en 2018 y llegaría a los 5,5 millones de toneladas de aluminio primario producido en 2035. India, por su parte, aumentará su producción de 3,7 a 4,3 millones de toneladas entre 2018 y 2035.

Tabla 17. Proyección de la producción de aluminio, 2018-2035



Fuente: CRU

Tabla 18. Proyección de la producción de aluminio, 2018-2035

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
China	36,6	39,5	41,1	42,0	42,8	44,1	45,6	46,5	47,4	48,1
Rusia	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,3	4,3	4,6	4,9
India	3,7	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Canadá	3,0	3,3	3,4	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9	3,9	3,9
EAU	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
Resto del mundo	14,7	15,4	16,3	17,2	18,2	18,8	18,8	19,3	19,5	19,7
Total mundial	64,2	68,2	71,0	72,9	75,1	77,3	79,4	80,9	82,3	83,5
% cambio anual		6%	4%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	1%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
China	49,5	50,4	50,9	52,0	52,0	52,7	53,2	53,6	2,3%
Rusia	5,0	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	2,2%
India	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	1,3%
Canadá	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	2,2%
EAU	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	1,2%
Resto del mundo	20,3	20,6	20,8	21,3	21,3	21,5	21,8	21,9	2,4%
Total mundial	85,9	87,4	88,3	90,3	90,3	91,4	92,3	93,1	2,2%
% cambio anual		3%	2%	1%	2%	0%	1%	1%	

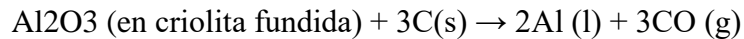
Fuente: CRU

2.12.13- PRODUCCION DE ALUMINIO SECUNDARIO

La fuente de producción secundaria de aluminio es la chatarra en todas sus formas. Casi la totalidad de los productos de aluminio pueden desde un punto de vista técnico (factibilidad) y económico (rentabilidad) ser reciclados repetidamente para producir nuevos productos, sin perder el metal su calidad y propiedades. La utilización de metales reciclados ahorra energía y preserva las fuentes de recursos naturales. El Aluminio hace una contribución importante y única para apoyar el reciclaje de productos en el futuro y en beneficio de la sociedad en su conjunto.



Es importante comparar la energía consumida en la producción de aluminio a partir de la bauxita con la que se requiere en el reciclaje del aluminio. La reacción global para el proceso Hall se puede representar por:



Para lo cual la variación de $\Delta H^\circ = 1340\text{kJ}$ y $\Delta S^\circ = 586\text{ J/K}$. a $1000\text{ }^\circ\text{C}$, que es la temperatura del proceso, el cambio estándar de energía libre está dado por:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = 1340\text{kJ} - (1273\text{K}) * (586\text{J/K}) * (1\text{kJ}/1000\text{J})$$

$$\Delta G^\circ = 594\text{kJ}$$

Tomando en cuenta este resultado y la ecuación química del proceso, se observa que la cantidad de energía requerida para producir un mol de aluminio a partir de la bauxita por electrólisis es $Q_e = 297\text{kJ}$.

Cuando el aluminio metálico se recicla, la única energía requerida es el calor necesario para llevar la lata a su punto de fusión ($660\text{ }^\circ\text{C}$) más el calor de fusión ($10,7\text{kJ/mol}$). La cantidad de calor necesaria para calentar un mol de metal de $25\text{ }^\circ\text{C}$ a $660\text{ }^\circ\text{C}$ es:

$$Q = M \cdot c_e \cdot \Delta T$$

$$Q = (27\text{g}) * (0,9\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}) * (660 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q = 15,4\text{kJ}$$

Por lo tanto, la energía necesaria para reciclar un mol de Al está dada por:

$$Q_t = 15,4\text{kJ} + 10,7\text{kJ}$$

$$Q_t = 26,1\text{kJ}$$

Para comparar los requerimientos energéticos de los dos métodos se encuentra la relación:



$$R = (Q_t / Q_e) \times 100$$

$$R = [(26.1 \text{ kJ}) / (297 \text{ kJ})] \times 100$$

$$R = 8.8\%$$

1.18. USOS DEL ALUMINIO

- Fabricación de espejos.
- Telescopios reflectores.
- Papel aluminio.
- Latas y tetrabriks
- Aeronáutica, por su baja densidad.
- Automotriz
- Contenedores criogénicos a bajas temperaturas.
- Gastronomía.
- Construcción.
- Electrónica. Etc.



Figura 21. Usos del aluminio.

1.19. PROCESO DE RECICLAJE DE ALUMINIO

El reciclado del aluminio constituye uno de los programas más exitosos de comercialización e inclusión dentro de la sociedad y del sector industrial para el logro de los objetivos de preservación de la energía y del medio ambiente.



Figura 22. Simbología de reciclaje de aluminio.

¿Qué es reciclar?

Se piensa que la popularidad del término reciclar ayuda al acuerdo global de una verdadera definición. Sin embargo, en nuestros tiempos encontramos que no existe una verdadera definición de lo que este término implica.

Para el público en general, reciclar es sinónimo de recolectar materiales para volverlos a usar. Sin embargo, la recolección es sólo el principio del proceso de reciclaje.



Figura 23. Proceso de reciclaje del aluminio

Una definición bastante acertada nos indica que reciclar es cualquier proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

• ¿Por qué reciclar?

Reciclar es un proceso simple que nos puede ayudar a resolver muchos de los problemas creados por la forma de vida moderna. Se pueden salvar grandes cantidades



de recursos naturales no renovables cuando en los procesos de producción se utilizan materiales reciclados. Los recursos renovables, como los árboles, también pueden ser salvados. La utilización de productos reciclados disminuye el consumo de energía. Cuando se consuman menos combustibles fósiles, se generará menos CO₂ y por lo tanto no habrá lluvia ácida y se reducirá el efecto invernadero.

En el aspecto financiero, podemos decir que el reciclaje puede generar muchos empleos. Se necesita una gran fuerza laboral para recolectar los materiales aptos para el reciclaje y para su clasificación. Un buen proceso de reciclaje es capaz de generar ingentes ingresos a una gran cantidad de involucrados en cada uno de los eslabones de la cadena de valor.

2.15- SOLIDIFICACIÓN

Es el proceso del paso de un metal o aleación líquida a sólida. La solidificación es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia de líquido a sólido producido por una disminución en la temperatura. Es el proceso inverso a la fusión

Existen dos tipos de solidificación:

- Solidificación en metales puros:
- Solidificación en metales aleados:

2.15.1- SOLIDIFICACIÓN EN METALES PUROS

Un metal puro solidifica a una temperatura constante que constituye su punto de congelación o punto de fusión. Los puntos de fusión de los metales puros son bien conocidos y están documentados en la literatura. (COMIMSA, 2015)

Tabla 19. Puntos de fusión de metales puros.

Material	Densidad		Coeficiente de expansión térmica		Punto de fusión	
	lb/pulg ³	g/cm ³	°F ⁻¹ × 10 ⁻⁶	(°C ⁻¹ × 10 ⁻⁶)	°F	(°C)
Metales						
Aluminio	0.098	(2.70)	13.3	(24)	1220	(660)
Cobre	0.324	(8.97)	9.4	(17)	1981	(1083)
Hierro	0.284	(7.87)	6.7	(12.1)	2802	(1539)
Plomo	0.410	(11.35)	16.1	(29)	621	(327)
Magnesio	0.063	(1.74)	14.4	(26)	1202	(650)
Níquel	0.322	(8.92)	7.4	(13.3)	2651	(1455)
Acero	0.284	(7.87)	6.7	(12)	*	*
Estaño	0.264	(7.31)	12.7	(23)	449	(232)
Tungsteno	0.697	(19.30)	2.2	(4.0)	6170	(3410)
Zinc	0.258	(7.15)	22.2	(40)	787	(420)

Fuente: comimsa.

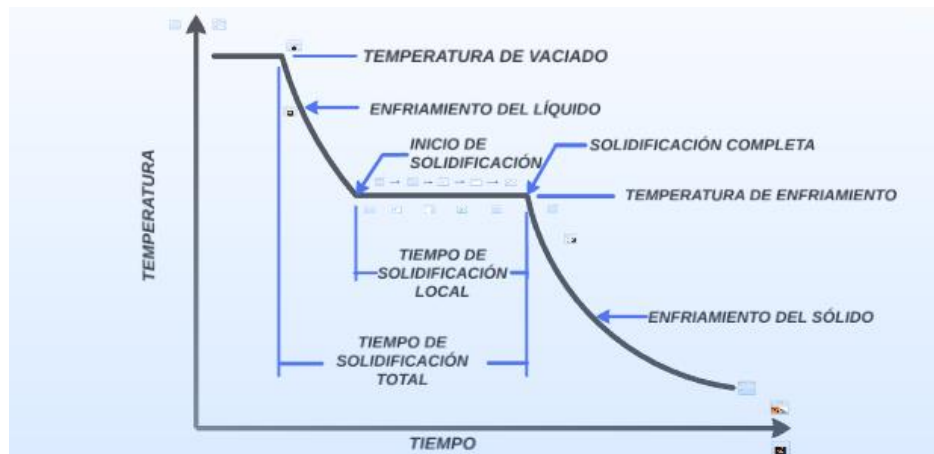


Figura 24. Curva de enfriamiento durante la solidificación.

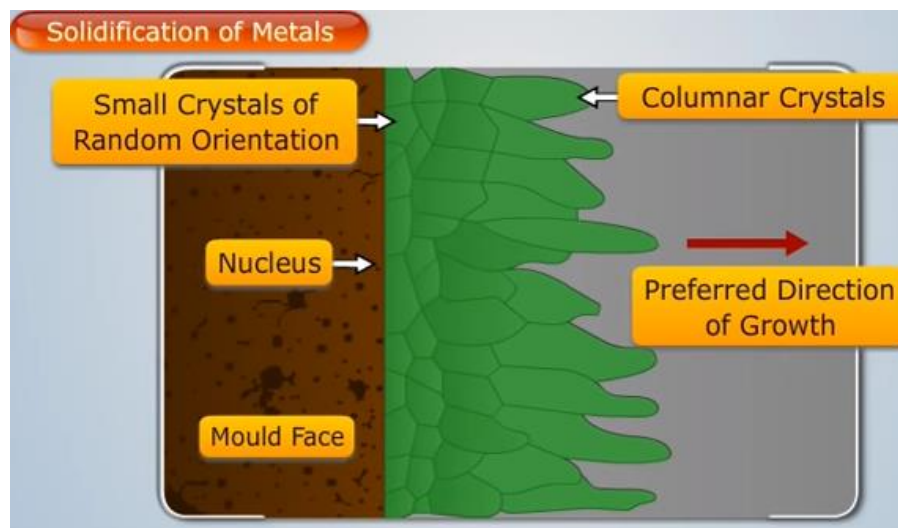


Figura 25. Nucleación.
fuente: (MARKS, 2014)

2.15.2- SOLIDIFICACIÓN EN METALES ALEADOS

Los componentes de una aleación rara vez tienen igual punto de fusión, por lo que el metal de temperatura más alta tiende a solidificarse antes, y el de punto de fusión menor aguanta más en estado líquido. Esto significa que la solidificación de una aleación no se realiza a temperatura constante, sino en un intervalo de temperaturas.

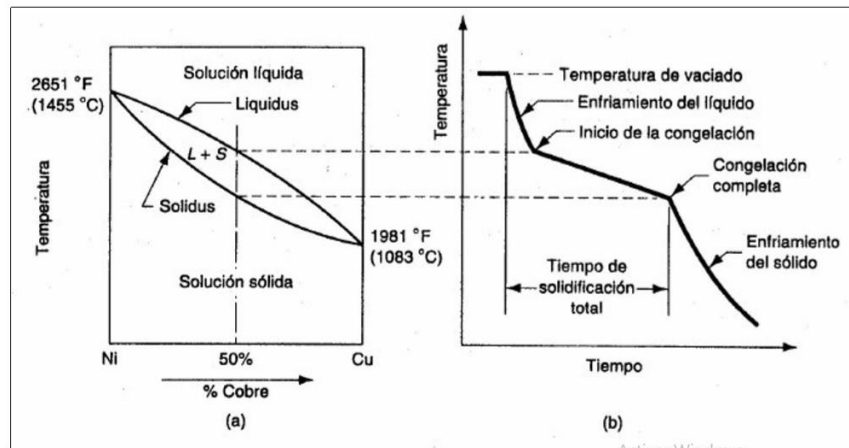


Figura 26. Curva de enfriamiento de un metal aleado.
Fuente: (MOLSALVE, 2017)

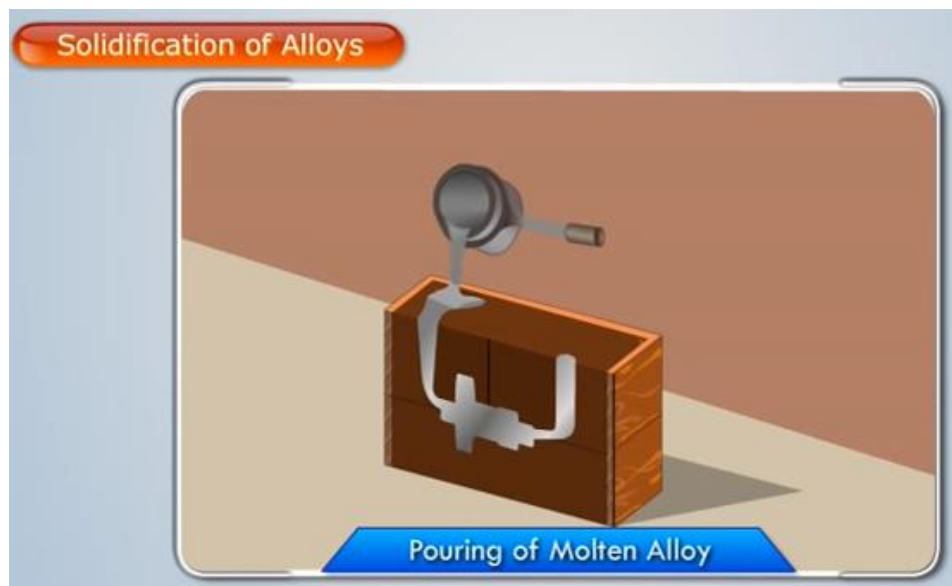


Figura 27. Vaciado del metal.
Fuente: (MARKS, 2014)

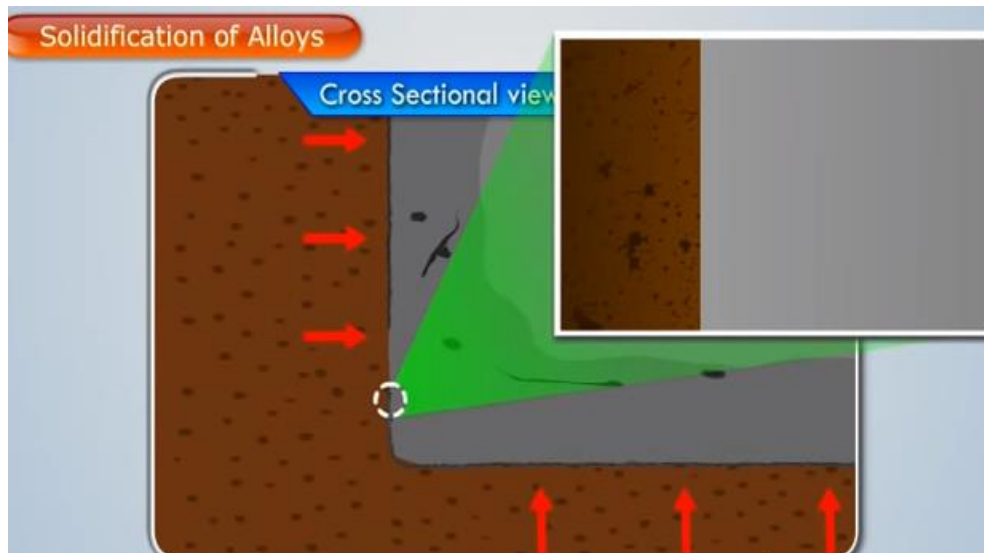


Figura 28. Nucleación
Fuente: (MARKS, 2014)

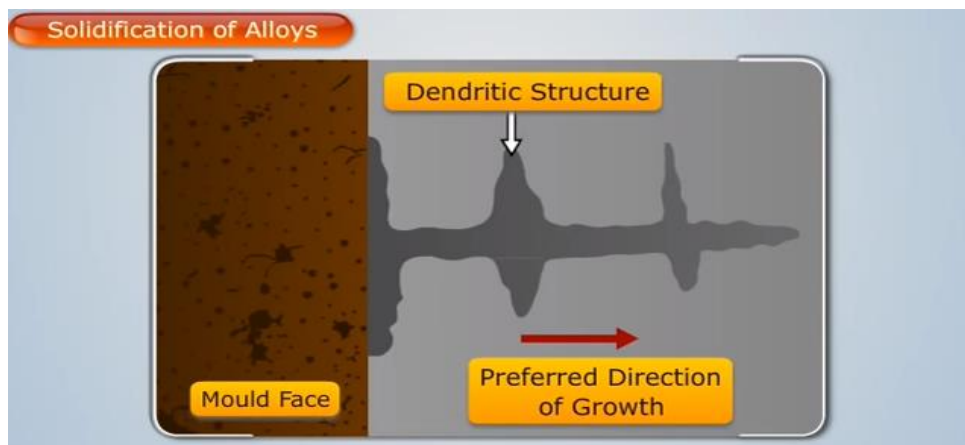


Figura 29. Solidificación de una aleación. la transición de líquido a sólido y descenso de la temperatura.
Fuente: (MARKS, 2014)

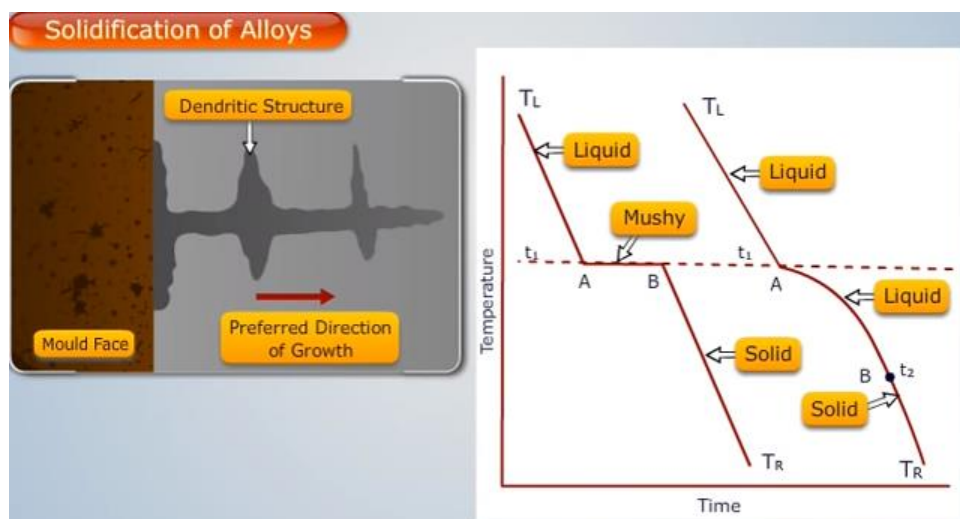


Figura 30. Diferencia de solidificación de metales puros y aleados.
Fuente: (MARKS, 2014)

2.15.3- CONTRACCION VOLUMETRICA DE LAS FUNDICIONES

Cuando los metales o aleaciones solidifican sufren una contracción volumétrica (a excepción del Bi y la fundición gris).

Esta contracción volumétrica consiste de 3 contracciones:

- Contracción líquida ($T_{\text{vaciado}} - T_{\text{liquidus}}$)
- Contracción de solidificación ($T_{\text{liquidus}} - T_{\text{solidus}}$)
- Contracción sólida ($T_{\text{solidus}} - T_{\text{ambiente}}$)

Tabla 20. Contracción de solidificación de las aleaciones.

Aleaciones	Contracción de solidificación, %
Acero al carbono	2.5 a 3.0
Acero con 1 %C	4.0
Fundición blanca	4.0 a 5.5
Fundición gris	Expansión a 2.5
Cobre	4.9
70 %Cu – 30 %Zn	4.5
90 %Cu – 10 %Al	4.0
Aluminio	6.6
Al – 4.5 %Cu	6.3
Al – 12 %Si	3.8
Magnesio	4.2
Zinc	6.5

Fuente: (SALDA, 2011)

Tabla 21. Contracción sólida, de las principales aleaciones.

Aleaciones	Contracción sólida, mm/m	
	Arena	Coquilla
Acero	16	22
Aluminio	17	19
Al – Cu (10%)	13	14
Al – Si	13	14
Cobre	16	20
Latón (90 %Cu)	18	20
Latón (70 %Cu – 30 %Zn)	13	16
Bronce	13	15
Bronce al Al	14	20
Cu – Ni	18	23
Estaño	7,5	9,5
Fundición blanca	16	20
Fundición gris	9	12
Níquel	20	16
Zinc	11	16
Zamak (3 y 5)	10	12

Fuente: (SALDA, 2011)

2.16- DISEÑO DE RISERS

El diseño de risers es de fundamental importancia, en la obtención de piezas sanas, ya que estos son empleados, fundamentalmente, para prevenir el defecto del rechupe en la pieza.

Normalmente, los risers se colocan en la sección más pesada de la pieza. En el caso de piezas complejas o muy grandes, éstas se dividen en varias secciones y el problema de la ubicación de los risers se examina en conexión con la distancia de alimentación. (PARDO, 2019)

El tamaño y forma del riser debe satisfacer los siguientes requerimientos

- a) El riser debe enfriarse muy lentamente con respecto a la pieza, para asegurar que el metal líquido será suministrado a la pieza durante todo el tiempo que dure su solidificación (tiempo de solidificación)
- b) Debe tener un volumen suficiente de metal para compensar la contracción total (volumen del metal)
- c) Ha de cubrir completamente el área de moldeo que requiere alimentación



- d) Ha de mantener la fluidez del metal y penetrar hasta la última cavidad de contracción.
- e) Ha de establecer un gradiente de temperatura pronunciado dentro del molde, de modo que la pieza solidifique en dirección al riser

Otros factores que intervienen en el funcionamiento efectivo del riser son:

- La diferencia de presión en el sistema.
- El correcto dimensionamiento de la unión del riser y la pieza (neck) (distancia de alimentación)

Resumiendo, podemos decir que hay 3 factores principales a considerar en el diseño de risers:

- Tiempo de solidificación
- Volumen de alimentación
- Distancia de alimentación

2.16.4- FORMAS DE RISERS

- Cilíndricos
- Esféricos
- Semiesféricos
- Ovalados

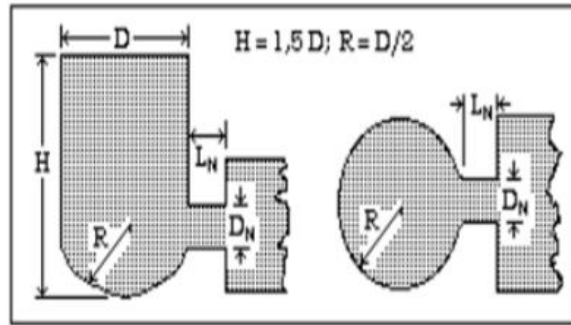
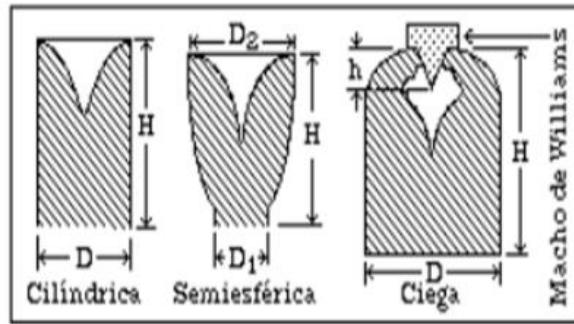


Figura 31. Formas de risers.
Fuente: (PARDO, 2019)

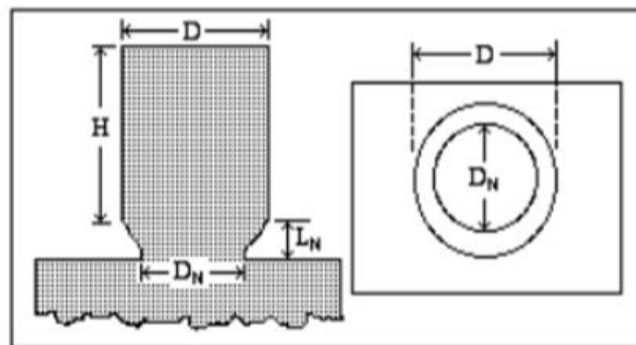
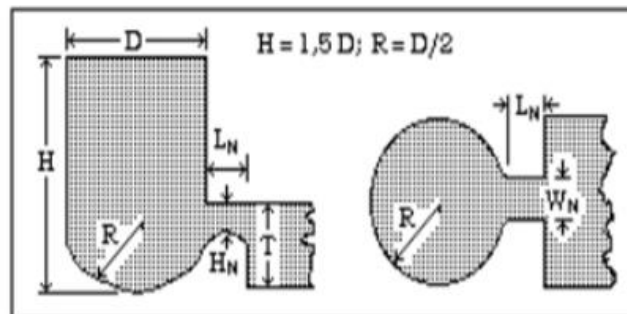
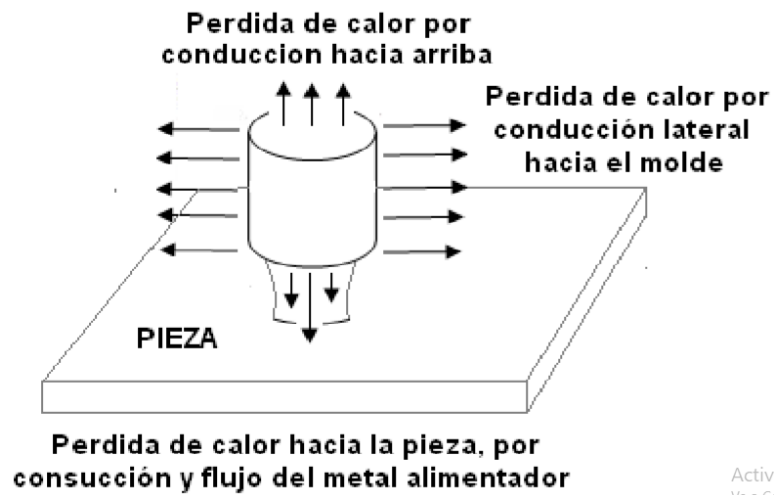


Figura 32. Riser lateral, ovalado y ovalado
Fuente: (PARDO, 2019)

2.16.5- PERDIDA DE CALOR

La pérdida de calor siempre será en forma perpendicular al risers



Activ.
Ve a Cc

Figura 33. Pérdida de calor de riser.

Fuente: (PARDO, 2019)

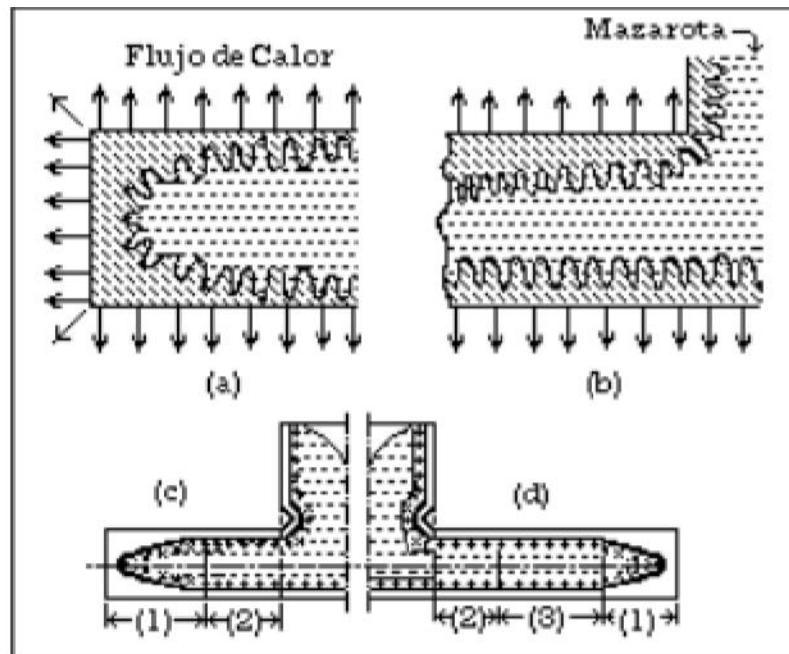


Figura 34. Dirección de pérdida de calor.

Fuente: (PARDO, 2019)

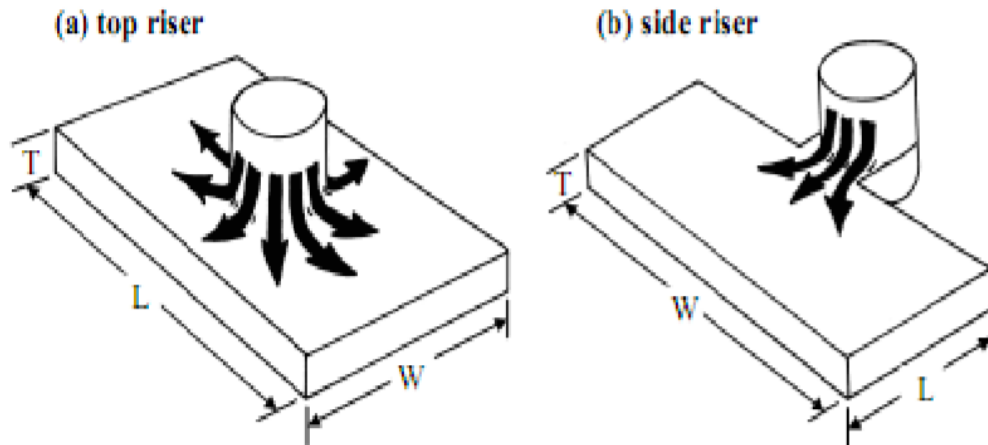


Figura 35. Pérdida de calor.
Fuente: (PARDO, 2019)

2.16.6- TIPOS DE RISERS

Los risers son de dos tipos:

- Riser abierto.
- Riser ciego.
- Los abiertos pueden estar ubicados a un lado de la pieza,
- Los abiertos pueden estar ubicados en la parte central superior

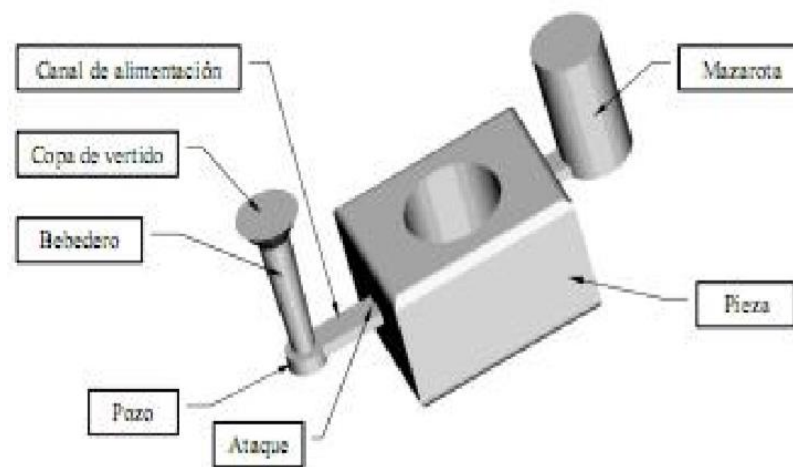


Figura 36. Riser lateral.
Fuente: (PARDO, 2019)

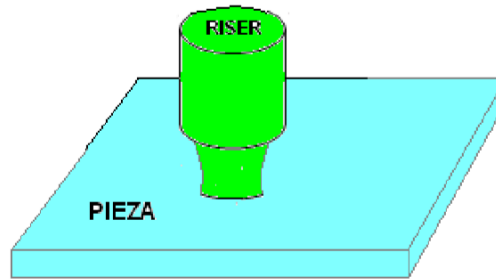


Figura 37. Riser superior.

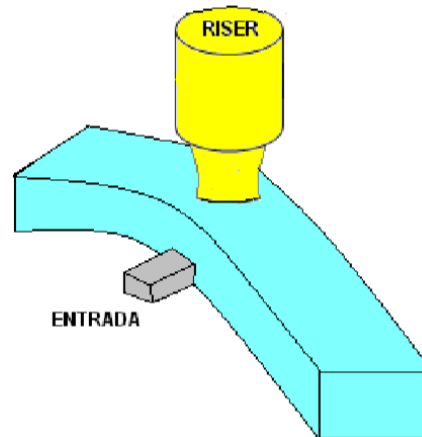


Figura 38. Superior central

Mientras el riser ciego tiene sus propias características de función:

- Son usados frecuentemente para alimentar secciones pesadas de la pieza, ubicados en la parte más baja de la cavidad del molde
- Solamente después que la parte intermedia de la pieza haya solidificada, el riser ciego actúa independientemente
- Cerca del 66 a 75 % del peso del riser ciego debe sumarse al peso de la pieza, cuando se calcula el tamaño del riser abierto.

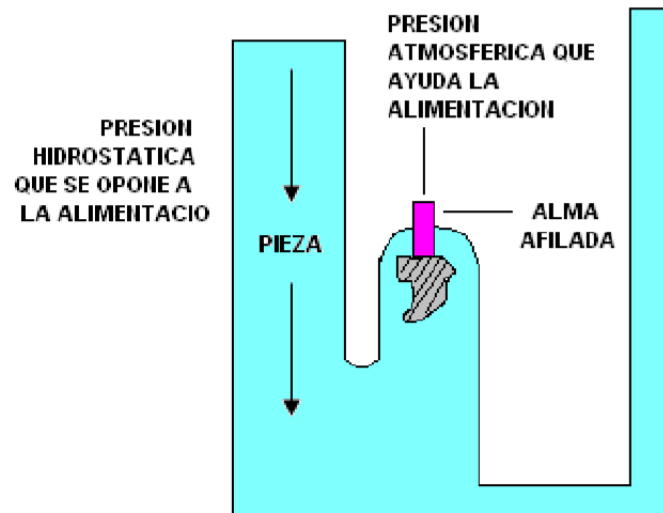


Figura 39. Riser ciego.
Fuente: (PARDO, 2019)



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS.

3.1- DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

Toda investigación se concibe por algún problema observado en la cadena productiva del proceso de fundición, para dar a luz un nuevo método de desarrollo de producción y para poder hacerlo se requiere de conocimientos y habilidades por parte del ingeniero, siendo necesario brindar toda la concentración en relación al tema que se va a tratar. En función de ello, este trabajo pretende ofrecer una visión amplia sobre las actividades de trabajo que debe hacer el ingeniero. Basados en conceptos y experiencia, se estudia la información para ser manejada con criterios natos del ingeniero, El estudio presenta distintas etapas de diseño que deben aplicarse al proyecto, donde el diseño empieza a tomar forma a medida que avanza el proceso y al mismo tiempo se genera la información cualitativa y cuantitativa para poder controlar su desarrollo experimental.

3.2- DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

La construcción del molde permanente se ha desarrollado en distintas etapas:

- Proceso actual de producción de ornamentos.
- Diseño de los planos de lingotera del bronce.
- Selección de materiales.
- Fundición del bronce.
- Diseño del modelo “LEON” en ARTCAM.
- Mecanizado en router.
- Diseño de alimentador de colada.
- Ensamblaje del molde permanente.



- Pruebas de fundición y colada en el molde de bronce.
- Evaluación de los defectos de colada.

De esta forma presento esta investigación experimental de producción de piezas ornamentales. Acompañado de fotografías que darán más realce al desarrollo del proyecto de metalurgia transformativa.

3.3- PARAMETRO DE DISEÑO.

Para el diseño del molde permanente, se debe considerar factores que faciliten el dinámico funcionamiento cuando se realiza una colada de aluminio fundido.

Importante mencionar el molde de bronce se debe llevar un estricto control de temperaturas del molde de bronce y temperatura de colada, para que el molde no se dañe en cierta cantidad de coladas.

El canal de alimentación debe ser ligeramente superior a la cavidad del ornamento, para evitar las contracciones heterogéneas y saliendo a la luz los defectos de colada.

3.4- PROCESO ACTUAL DE PRODUCCION DE ORNAMENTO.

En este trabajo creemos brindar esta información para que su propósito del molde permanente tenga sentido innovador para reemplazar a tal proceso de producción de ornamentos.

En la actualidad el taller de fundición, fabrica piezas ornamentales de todo tipo para cubrir la necesidad de los clientes que lo encomiendan.

El método que se usa, es fundición en moldes desechables. Fundición en arena en verde y a continuación realizare el procedimiento de fabricación de piezas ornamentales.



3.4.1- PROCESO DE FABRICACION.

Los operarios inician verificando sus implementos de trabajo (EPPS), en seguida los operarios habilitan del área donde se va realizar el trabajo, posteriormente reúnen todo las herramientas e insumos requeridas para tal fin de producción de piezas ornamentales. (Pala, mallas. Pisones, caños de alimentación. Cucharones, talco, cajas de moldeo, regleta, cuchara, modelos, Comprensora y atomizador de agua).

Uno de los operarios habilita el horno de fundición abasteciendo de combustible y verificando el inyector de aire y control de temperatura. Y también alista el aluminio para la fundición.

En el siguiente cuadro estimaremos el procedimiento de operación y tiempo y valor unitario de la operación de fundición en arena. Considerando un juego de 7 modelos de leones.

3.4.2- HERRAMIENTA DE FUNDICION.

Esta es la selección de herramienta para la producción de ornamentos.

Tabla 22. Herramientas para moldear leones.

Herramienta	Descripción
Mesa de moldeo	800*600 mm h=850 mm
Caja de fundición (madera)	250* 350 mm h=150 mm
Pala metálica	
Malla	100
Modelo	León
Pisón	
Regleta	500 mm
cuchara	

3.4.3- PROCESO DE FABRICACION DE LEON ORNAMENTAL.

Para una mejor performance del proceso les presento en forma desarrollada de la operación y manufactura, considerando el tiempo de cada operación del proceso de la producción.

Tabla 23. Procedimiento de fabricación de león ornamental.

PROCEDIMIENTO	OPERACIÓN	TIEMPO
▪ Acondicionamiento de arena de fundición	▪ Mezclar la arena con agua hasta conseguir la humedad requerida	▪ 15 min - 20 min ▪ 17 ½ min.
▪ Modelo y caja	▪ Se ubica los modelos en la base de la meza. Se encuadra la caja en los modelos	▪ 1/2 min - 1 min ▪ 1 min.
▪ Tamizado y Compactado en la caja inferior	▪ Espolvorear con talco los modelos, cubrir los modelos con arena de contacto una altura considerable y luego apisonar los por los costados hasta llegar a centro de la caja y rellenar con arena gruesa y nuevamente apisonar y luego enrazar con la regleta. Y voltear el molde de arena	▪ 2 min. – 3 min. ▪ 2 1/2 min.
▪ Tamizado y Compactado en la caja superior	▪ Colocar la caja superior, espolvorear con talco los modelos, y colocar anclaje (perno o pivote), ubicar el ducto de alimentación y cubrir con arena de contacto y rellenar con arena gruesa y apisonar hasta la dureza considerada y enrazar con la regleta. Retirar el tubo de alimentación y realizando en la arena una copa invertida.	▪ 2 min – 3 min ▪ 2 1/2 min
▪ Extraer modelos	▪ Se retira la caja superior de manera suave, y la caja inferior a un con los modelos se invierte en el aire para que los modelos caigan a la mesa, con una cuchara se corta los ductos de alimentación, con el aire se retira la arena suelta, y tapan el molde de arena y queda listo para la colada.	▪ 1 min – 2 min ▪ 1 1/2 min

<ul style="list-style-type: none"> Colada y solidificación 	<ul style="list-style-type: none"> Se echa el aluminio líquido en el molde hasta que llene la copa, y se espera unos minutos la solidificación. 	<ul style="list-style-type: none"> 2 min – 3 min 2 1/2 min
<ul style="list-style-type: none"> Cosecha del producto 	<ul style="list-style-type: none"> Se rompe la arena y se recupera el producto ornamental, y la caja se coloca listo para usar nuevamente 	<ul style="list-style-type: none"> 1 min – 2 min 1 1/2 min –
<ul style="list-style-type: none"> Desbarbado y acabado 	<ul style="list-style-type: none"> Se rompe los alimentadores con un suave golpe. Y se procede a limar algunas imperfecciones de la pieza luego se pinta y seca al aire libre. Para su posterior embolsado. 	<ul style="list-style-type: none"> 4 min – 10 min 7 min
<ul style="list-style-type: none"> venta 	<ul style="list-style-type: none"> cada ornamento de león cuesta 2.00 nuevos soles, como fundimos 7 leones en una caja. $2*7 = 14$ soles 	<ul style="list-style-type: none"> Sumando los minutos 28 min – 44 min $28 + 44 = 72/2=36$ min tiempo aproximado para producir un juego de 7 leones

Fina cortesía: Quispe Toledo



Figura 40. Anidamiento de leones.
Fina cortesía: Quispe Toledo

Recogiendo los datos de operación de producción de fabricación de leones.

Los tés nos brindan una valiosa información y realizamos el cálculo correspondiente de producción por día. Considerando una jornada de 8 horas son 480 minutos.

$$\begin{aligned} 36 \text{ min.} &- 7 \text{ leones} \\ 480 \text{ min.} &- x \text{ leones} \end{aligned}$$

$$x = 93 \text{ leones por dia}$$

Con estos datos de análisis de operatividad de producción de un tipo de ornamento (león).

Como todo negocio siempre su mira es crecer. Por ende, debemos elevar la producción de leones ornamentales en el mismo tiempo. Para lo cual desarrollaremos la fabricación de un molde permanente en bronce.

La elección de material de bronce es por las siguientes razones y visualizaremos en el siguiente cuadro:

Tabla 24. Propiedades generales del bronce y aluminio

Propiedades	bronce	aluminio
Densidad	8.9 g/cm ³	2.7 g/cm ³
Velocidad de fluidez	0.449 cm ³ /s	0.234 cm ³ /s
Densidad aparente	4.999 g/m ³	1.116 g/m ³
Densidad de golpeo	5.405 g/m ³	1.417 g/m ³
Porosidad de golpeo	0.39	0.46
T° de fusión	820-1020°C	660°C

3.5- FABRICACIÓN DEL MOLDE DE BRONCE.

Para la fabricación del molde de bronce, vamos a seguir los siguientes procedimientos con el objetivo de lograr una matriz en dicho material, en esta matriz permanente ensayaremos la producción de piezas ornamentales (León).



3.5.1- FABRICACION DE LA LINGOTERA.

Comenzamos con la elaboración de una lingotera de acero y guiándonos las dimensiones del plano, seguidamente preparamos las piezas que van a ser unidas por soldadura.

Que será la matriz para colar el bronce. Que luego servirá para ser mecanizado en el equipo CNC. El diseño asignado.

A continuación se brinda los planos en diferentes vistas y las escalas correspondientes, de la lingotera de acero A36.

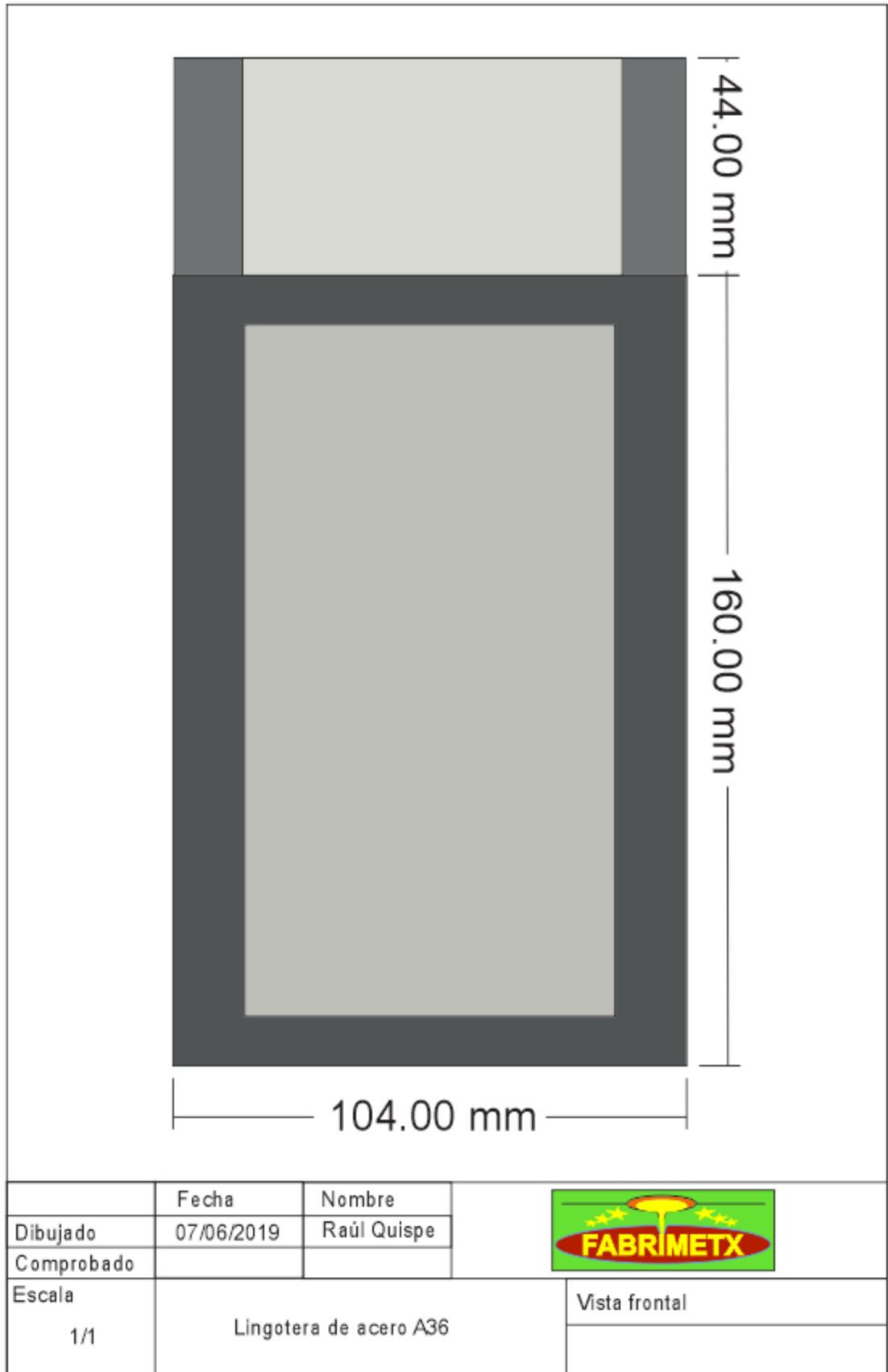


Figura 41. Vista frontal lingotera de acero A36.

Fina cortesía: Quispe Toledo

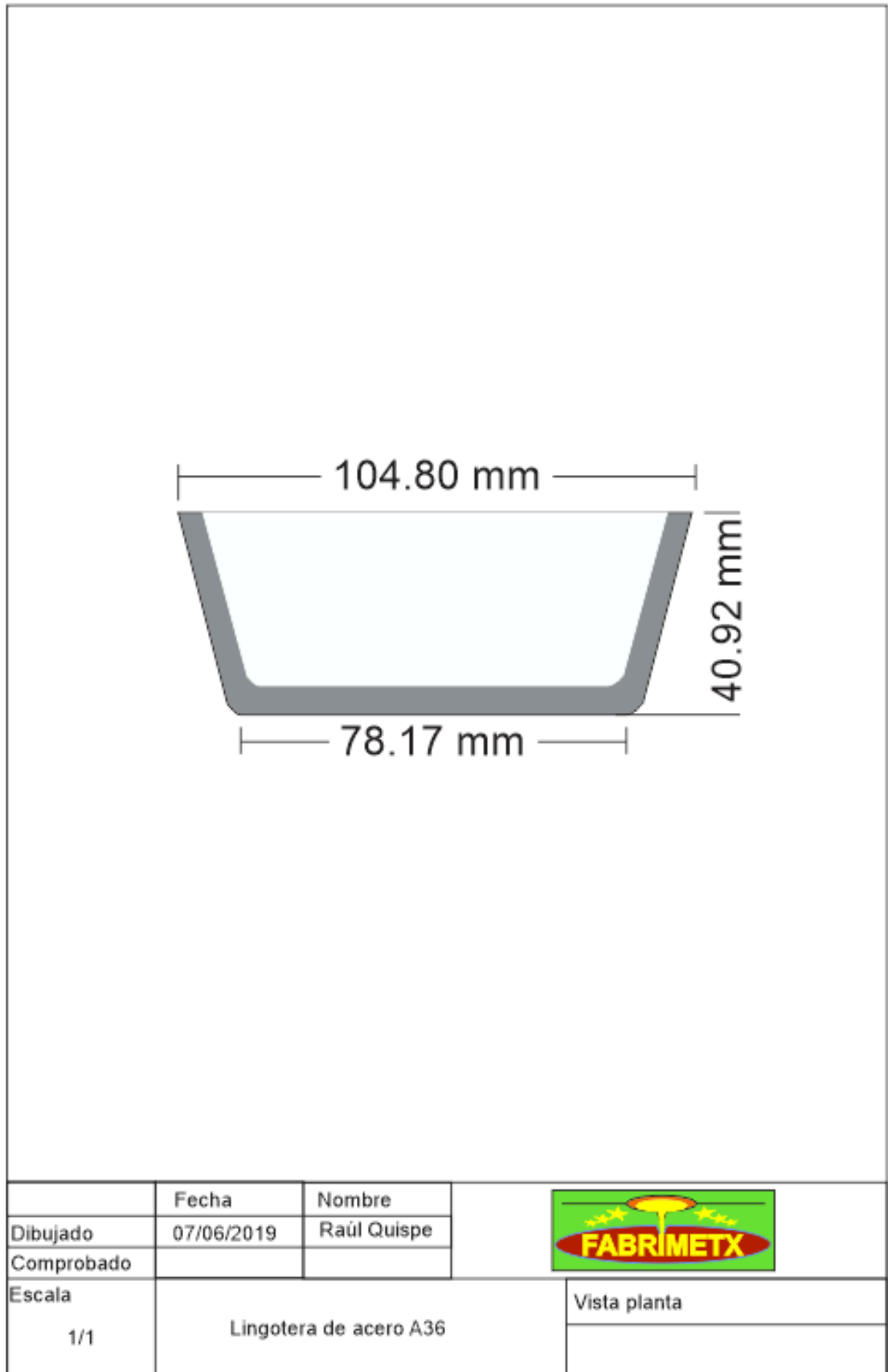


Figura 42. Vista de planta de lingotera de acero A36.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

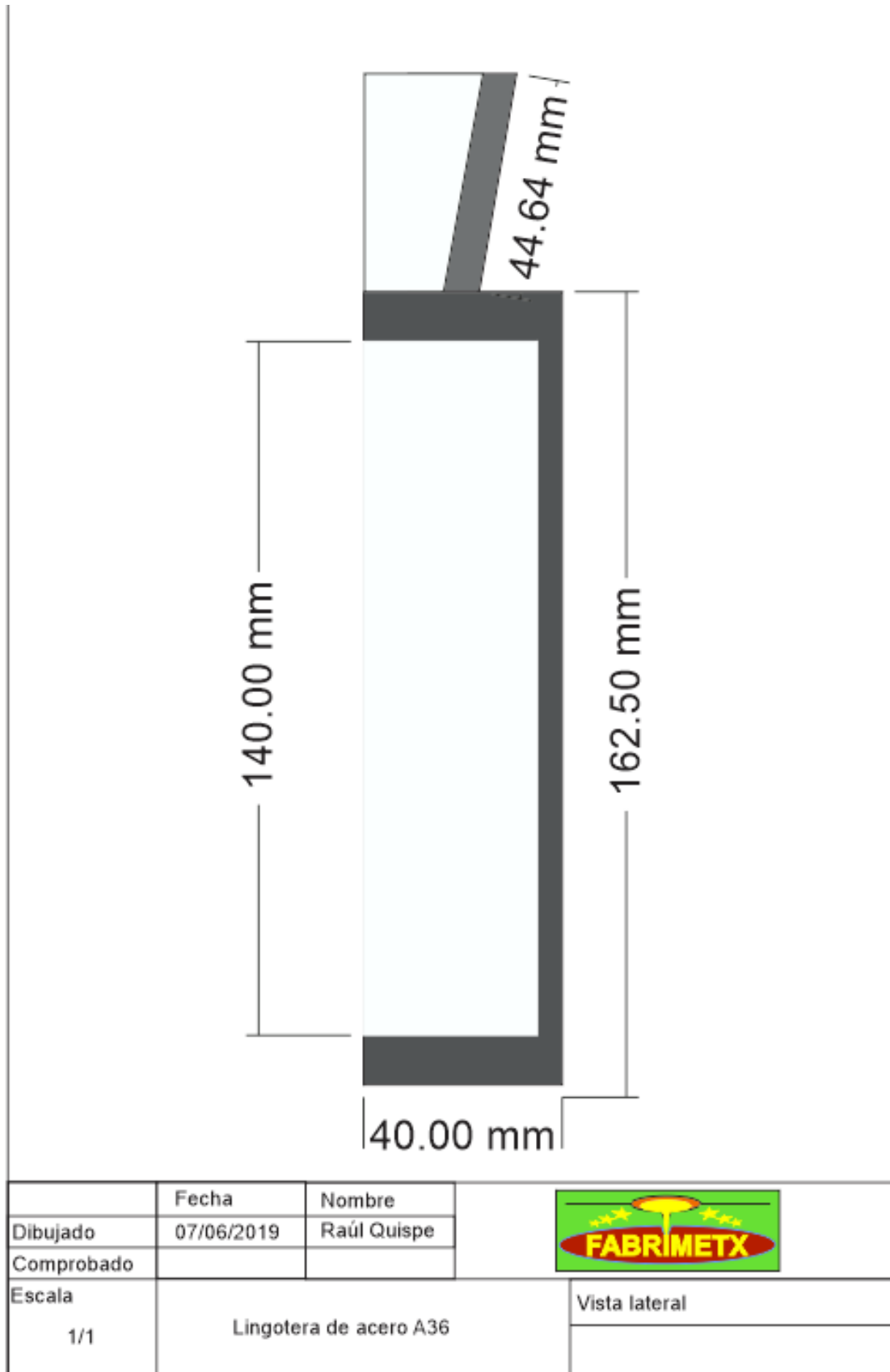


Figura 43: Vista lateral de lingotera de acero A36.

Fuente: Fina cortesía Quispe Toledo.

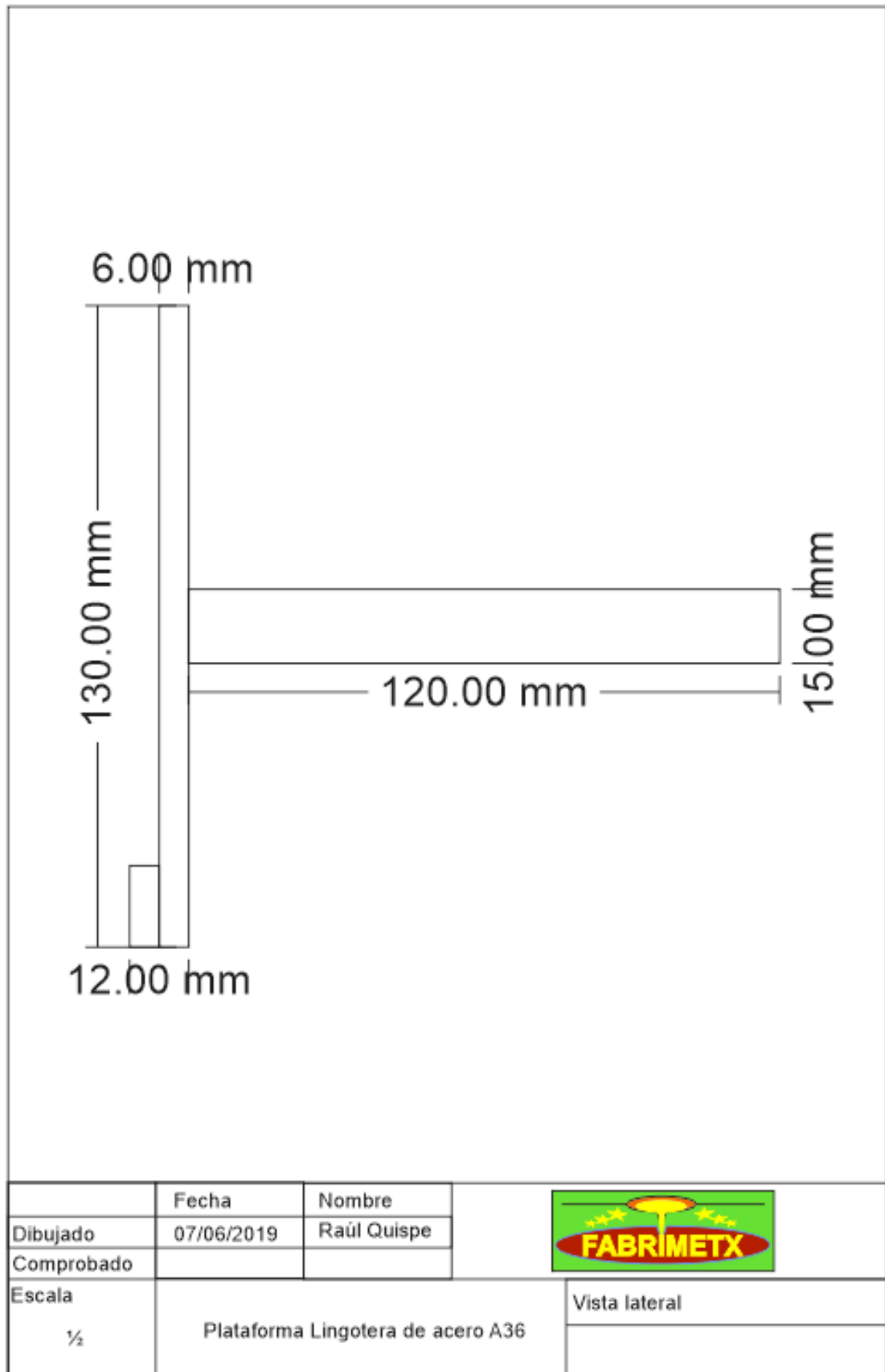


Figura 44. Vista lateral de plataforma lingotera de acero A36.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

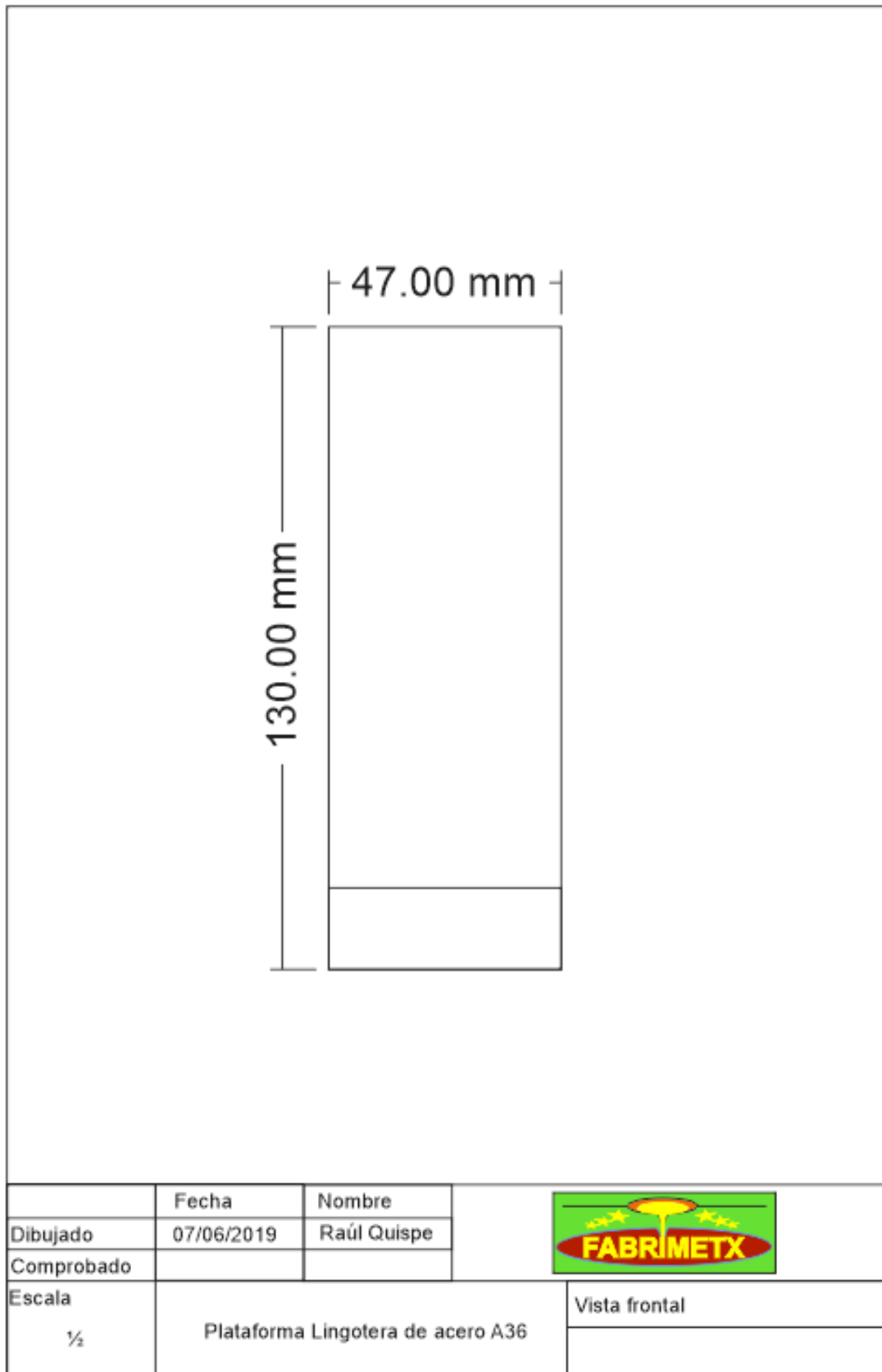


Figura 45: Vista frontal plataforma de lingotera de acero A36.

Fina cortesía: Quispe Toledo

Tabla 25: Maquinas herramientas y materiales para elaborar la lingotera.

Materiales	Unidades
Acero A36	10 kg.
Electrodos	10 Uds.
Disco de corte	1 Ud.
Amoladora angular	1 Ud.
Máquina de soldar	1 Ud.
Lima	1 Ud.
Lija # 100	1 Ud.
Tubo	
Escuadra 90°	1 Ud.
Marcador metálico	1 Ud.
Flexo metro	1 Ud.



Figura 46. Lingotera de acero A36.
Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.5.2- FUNDICION DE BRONCE.

Seleccionar el bronce en la cantidad necesaria, colocar en el crisol y encender el horno hasta alcanzar una temperatura de 830 a 1020 °C. y siempre sobrecalentar esta temperatura para realizar la colada.

El tiempo que tarda en fundirse el bronce, está en promedio de 75 minutos.

Tabla 26. Fundición de bronce.

Descripción	Capacidad
Horno de fundición	500 cm. * Ø 700cm.
Crisol de grafito	30 kg
Cucharón	4 kg
Lingotera de acero	A36
Pirómetro digital	1320°C
Bronce	8 kg



Figura 47. Fundición de bronce.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.6- DISEÑO DE LEON:

La creación artística del león ornamental en el software ArtCAM Pro permite la creación de relieves 2D, hasta relieves asimétricos 3D. con la herramienta de

levantamiento y esculpir y escala altura poco a poco se desarrolla el relieve. Desarrollar este relieve del león 40 horas. Aproximadamente.

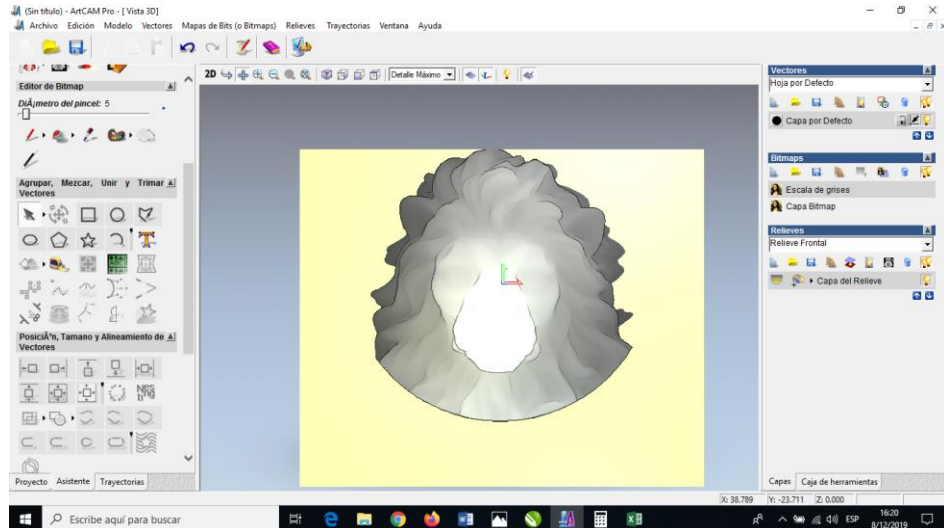


Figura 48. Dibujo en escala grises.
Fina cortesía: Quispe Toledo.

Con la herramienta de esculpir relieves se añade y quita material y escalar altura hasta lograr que el diseño vaya tomando el detalle deseado. Para lograrlo el diseñador deberá concentrarse y pensar paramétricamente en 3D por que no se trata de su dibujo en el plano sino ya está realizando levantamientos milimétricos.

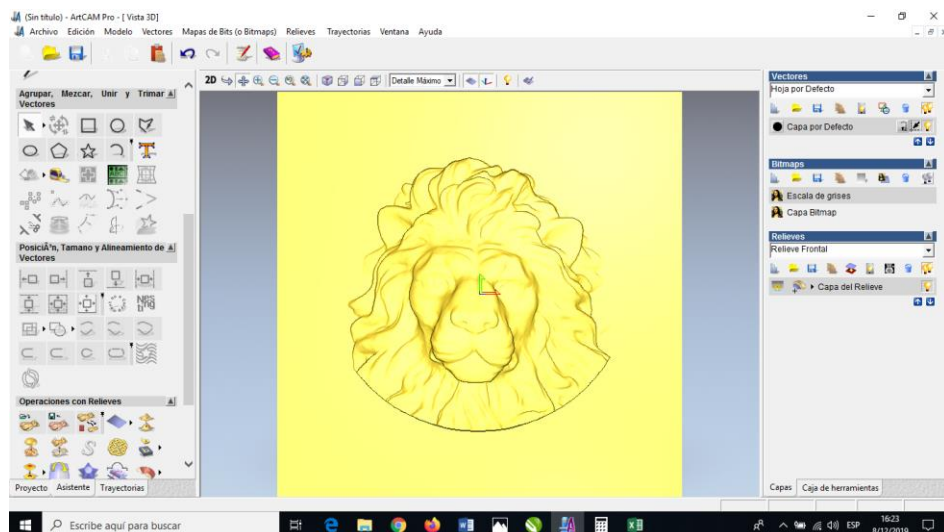


Figura 49. Levantamiento en 3D.
Fina cortesía: Quispe Toledo.

Cuando ya se tiene el diseño, con un poco más de paciencia ya estamos logrando realizar el diseño 3D para luego guardar en un archivo.

Posteriormente se abre nuevamente el ArtCAM Pro. Seleccionando modelo nuevo y programar el área de trabajo y el posicionamiento de donde está anclado la figura.

También deberemos seleccionar en las unidades que desarrollaremos el dibujo en este caso es “mm”.

Como se trata de relieves en 3D la resolución se aumenta hasta los puntos máximos para visualizar de mejor manera. Finalmente se acepta.

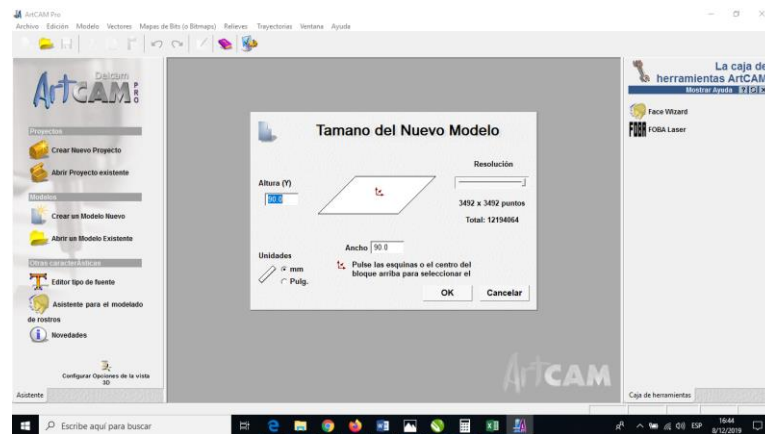


Figura 50. Programación del área de trabajo.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Creamos un nuevo documento en donde vamos a importar el diseño que ya tenemos dibujado. Y elegimos el posicionamiento de la figura en nuestro caso 0X, 0Y,0Z y pegamos.

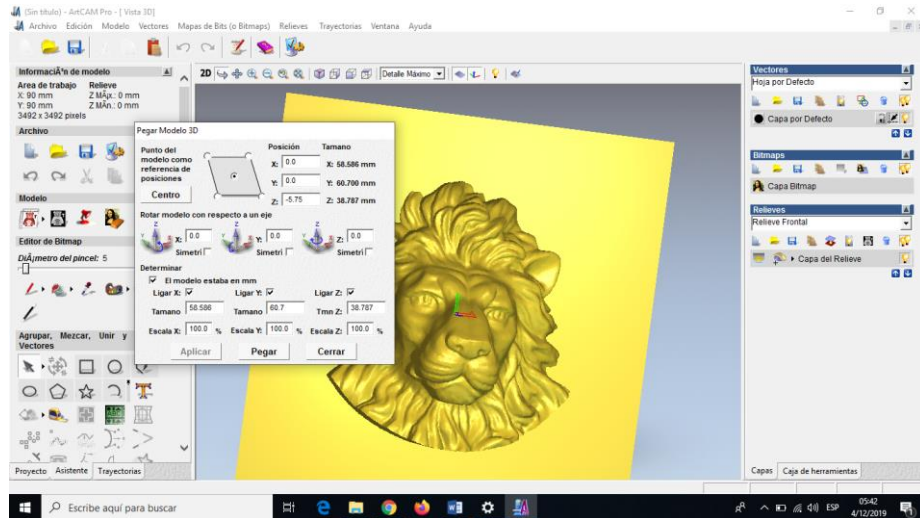


Figura 51. Posicionamiento del diseño.
Fina cortesía: Quispe Toledo.

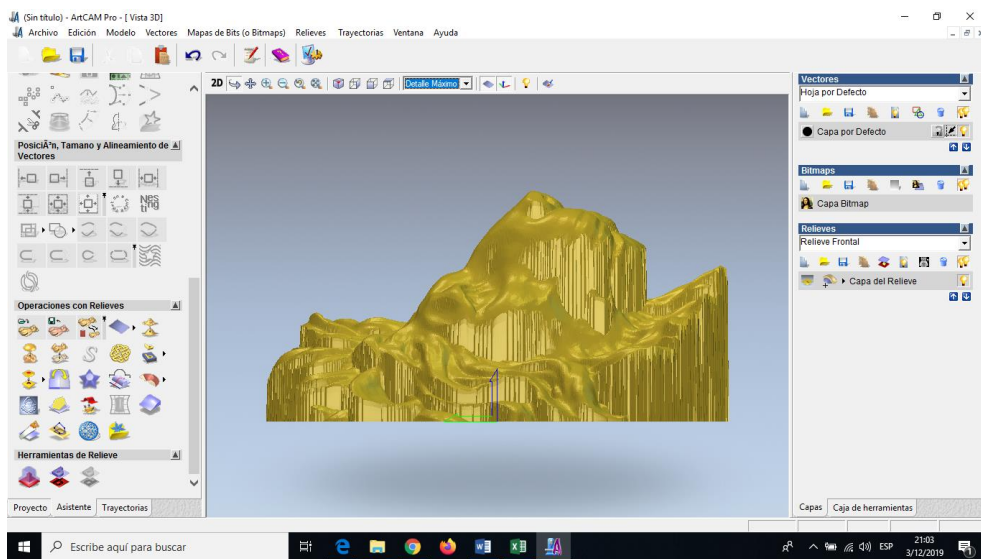


Figura 52. Vista lateral del diseño.
Fina cortesía: Quispe Toledo.

En la siguiente figura procedemos a invertir el diseño ya que la mecanización va ser en negativo.

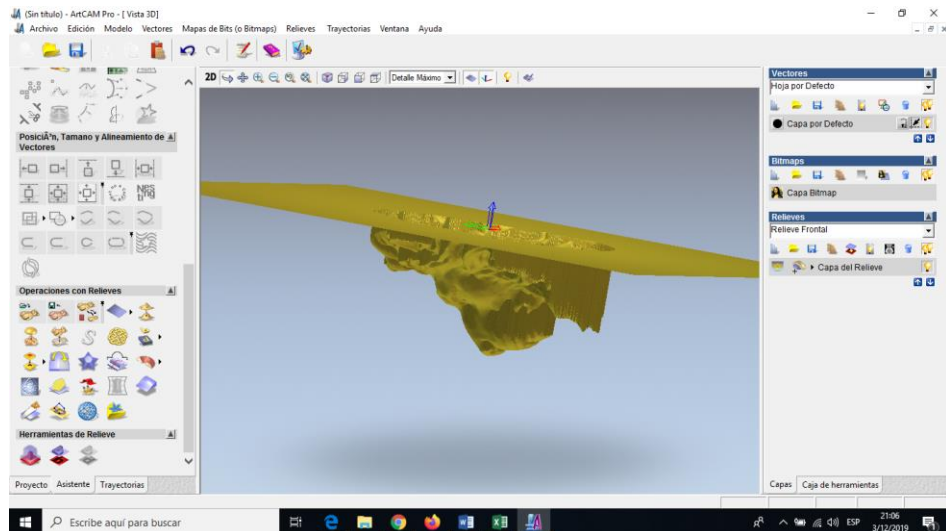


Figura 53. Modelo invertido

Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.6.1- PROGRAMACION DE TRAYECTORIA:

En el software se selecciona la opción trayectorias, donde seleccionamos trayectoria de mecanizado de relieve 3D, y el área de mecanizado y su tolerancia del metal a mecanizar, elegir tipo de herramienta para desbaste y de acabado y avance del husillo.

Vamos a realizar tres mecanizados.

- Desbaste con una herramienta de 4mm
- Desbaste con una herramienta de 0.6mm
- El acabado con una herramienta de 0.15mm

Toda esta programación se guarda en el mismo software.

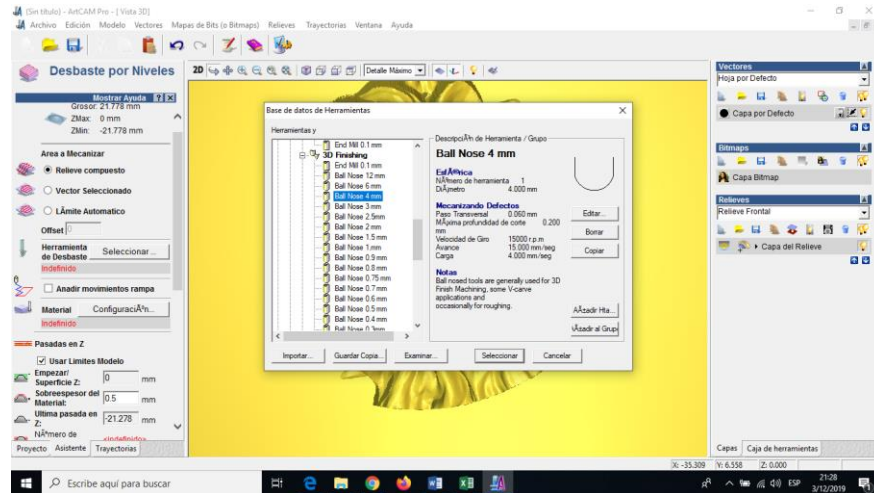


Figura 54. Elección de herramienta de desbaste 4mm.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Nos pide que debemos dimensionar el material que vamos a mecanizar. En nuestro caso es en un área de 90 mm*90 mm. Y una altura de 31 mm.

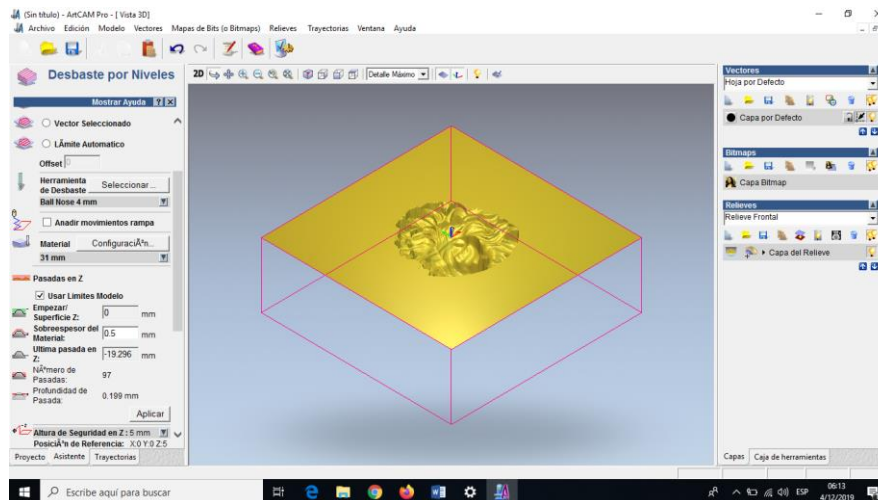


Figura 55. Dimensionamiento del material.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

El programa calcula el primer desbaste de material con la herramienta de 4mm.

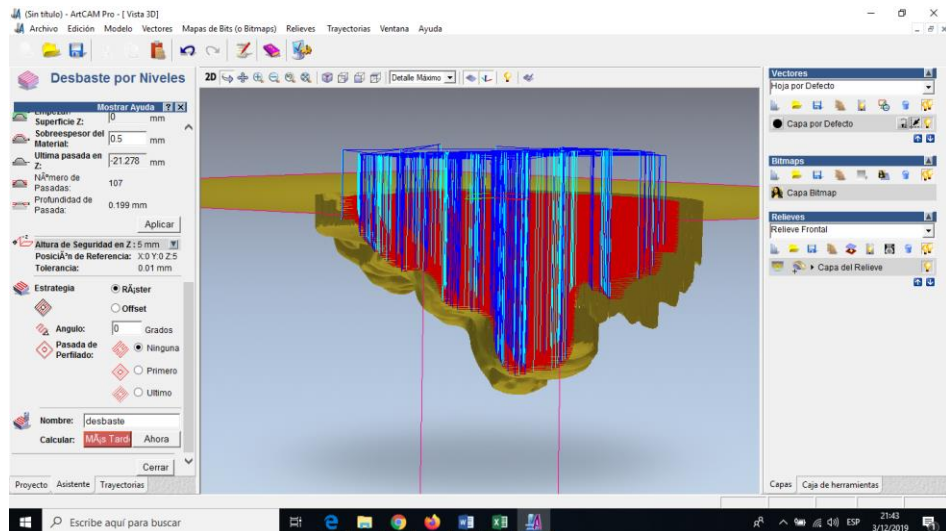


Figura 56. Trayectoria de desbaste.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

El programa calcula el segundo desbastado de material con la herramienta de 0.6mm.

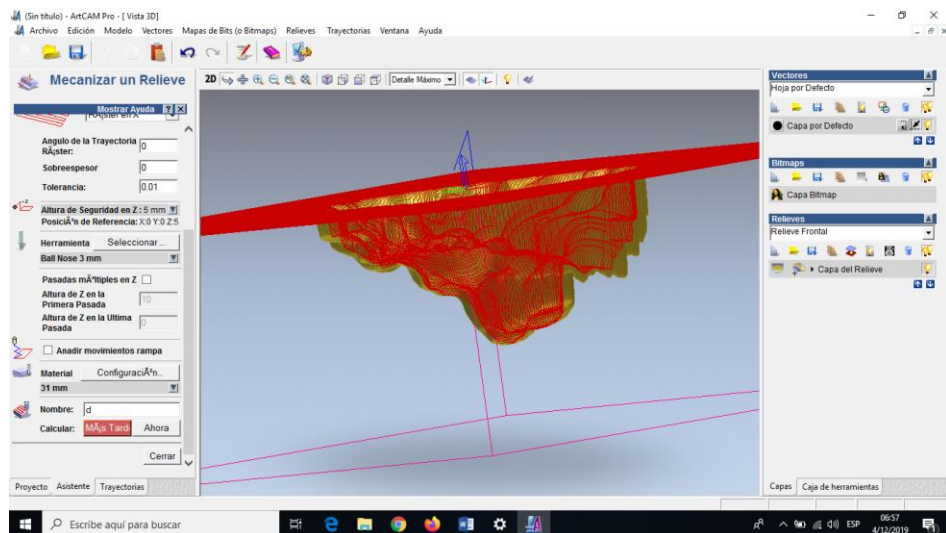


Figura 57. Trayectoria con la herramienta de 0.6mm.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Finalmente, el programa calcula el tercer mecanizado de acabado con una herramienta de 0.15mm.

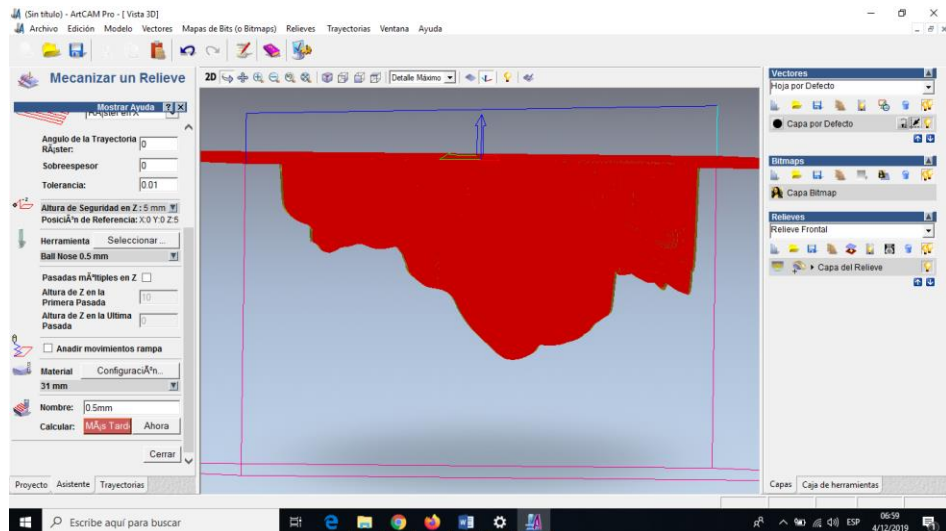


Figura 58. Mecanizado de acabado, con herramienta de 0.15mm.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.7.1- MECANIZADO

Preparamos la máquina herramienta (Router CNC), verificamos la fuente de alimentación, realizamos pruebas al vacío en todos sus ejes de avance (x, y, z), colocamos las herramientas de corte programado.

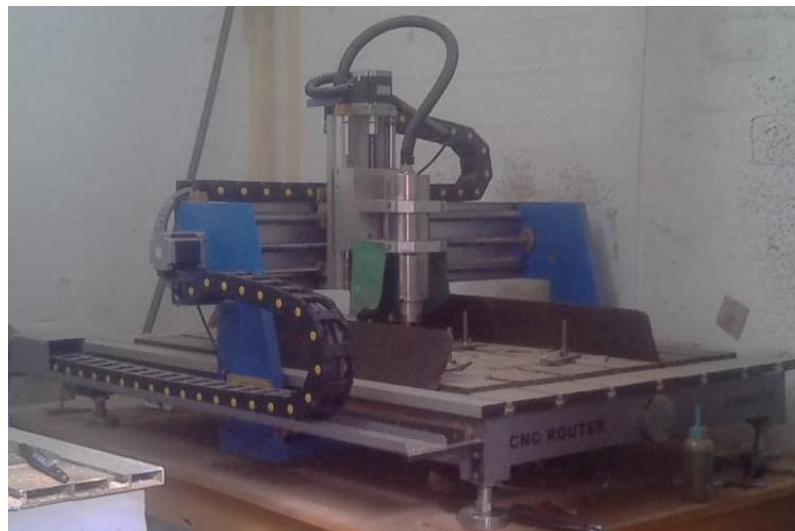





Figura 59. Router CNC.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Los archivos programados en el CNC.

-  mec- 4mm.plt
-  mec-0.6mm.plt
-  mec- 0.15.plt

El tocho de bronce se ancla con los sujetadores en la plataforma del Router, ubicando el punto cero.

Las programaciones de las herramientas de guarda en un USB para luego llevar al CNC.

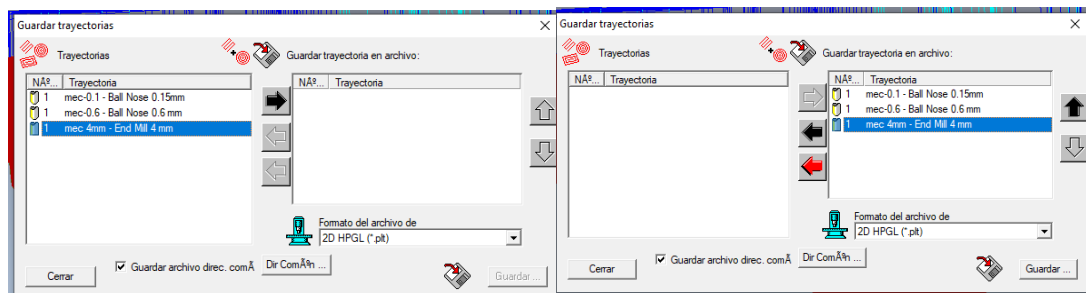


Figura 60. Cargando trayectoria de mecanizado.

Fina cortesía: Quisque Toledo.

El archivo guardado en el USB. Se transfiere al controlador CNC, el procesador lo reconoce y esperamos unos minutos para que cargue.



Figura 61. Controlador CNC A11S A11E 3 ejes.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Posicionamiento de la herramienta con coordenadas 30X, 30Y,0Z. de donde va a iniciar todas las mecanizaciones de las tres herramientas programadas.

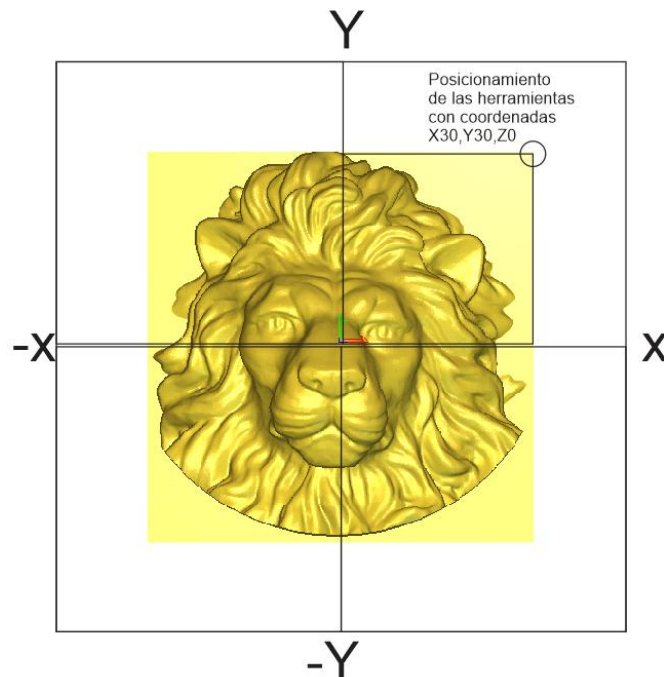


Figura 62. Posicionamiento de la herramienta.

Fina cortesía: Quispe Toledo.



Figura 63. Inicio de la mecanización.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

El tiempo que demoro en mecanizar el CNC router fue 4h,45min.



Figura 64. Mecanización finalizada.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.7.1- MECANIZADO DE CANAL BEBEDERO.

Para mecanizar el bebedero se usa las siguientes herramientas:

- Vernier.
- Amoladora angular
- Marcador y escuadra

El bebedero debe ser más grande en volumen a diferencia del producto para que esto pueda servir como una mazarota para alimentar cuando experimente la contracción la piza fundida.

Tabla 27. Cálculo de volúmenes

descripción	león	riser
Neck superior (cm ²)		20.106
Neck inferior (cm ²)		1.508
Volumen (cm ³)	23.1	60.04
Área (mm ²)	345.46	973.265
Área mejorada		850

Tabla 28. Datos Ts. y Cm.

Tiempo solidificación min	Cm ($\frac{min}{cm^2}$)
0.5	125.81

Tabla 29: Tiempos de solidificación.

Tiempo de solidificación	TsT (min)	TsT (min)
León	0.56	
Riser	0.48	0.62



Figura 65. Diseño de riser.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

El canal bebedero se mecaniza con la amoladora angular.



Figura 27. Riser mecanizado y perno anclaje.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

3.7- ENSAMBLADO DEL MOLDE:

Para ensamblar el molde, se usó los siguientes materiales:

- Taladro de columna.
- Pernos de 1/8.
- Macho de 1/8.

- Planchas de acero
- Vernier.
- Máquina de soldar.
- Electrodo.
- Flexómetro.
- Broca

El molde de bronce se ancla a las planchas de acero con pernos de 1/8. que van a ser soporte para cerrar. Y también una guía para que al presentar cara con cara pueda centrar el perno de anclaje de la pieza fundida.



Figura 66. Perforando para perno de anclaje $\frac{1}{8}$.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

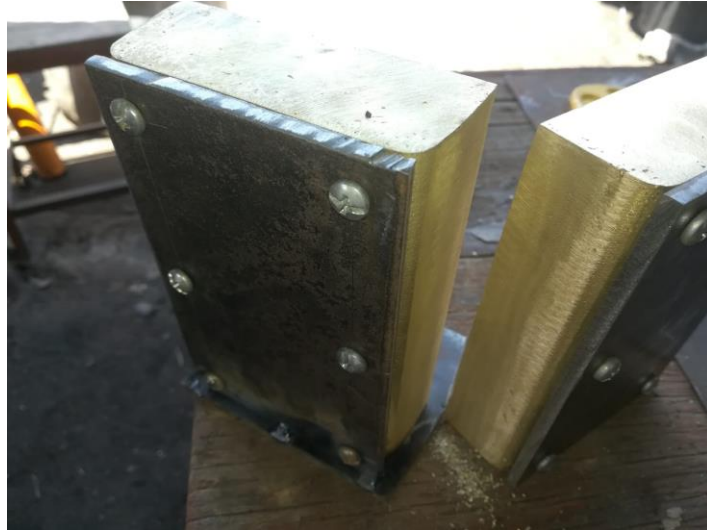


Figura 28. Anclaje del molde a la plancha de acero.

Fina cortesía: Quispe Toledo.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1- PARÁMETROS EXPERIMENTALES.

Para realizar una colada en el molde de bronce debemos considerar parámetros como:

- Temperatura del molde.
- Temperatura del aluminio.

En esta prueba experimental vamos a comprobar, que temperatura es lo real que puede trabajar un molde permanente de bronce, sin que rechupe demasiado en las paredes cuando el molde este frio, lo contrario cuando un molde este caliente pueda ser carcomido por contacto del aluminio fundido.

para llenar un molde usamos el método de colada de la forma más simple (**Llenado directo**),

- El vertiendo del metal fundido en el molde es sin utilizar ningún sistema de distribución.
- Este método solo se puede usar para moldes de pequeñas dimensiones o para moldes con una alta resistencia al impacto.
- Se utiliza este método cuando no se necesitan buenas tolerancias ni calidad de la pieza, sino que el único objetivo es reducir costos o producir en masa.



Figura 67. Molde nuevo de bronce.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

4.2- FUNDICION DEL ALUMINIO.

Para la fundición del aluminio hemos usado los siguientes equipos, herramientas y materiales:

- Chatarra de aluminio
- Horno de crisol.
- Gas.
- Cuchara de colada.
- Pirómetro digital
- Molde de bronce
- Meza de trabajo
- Pernos de anclaje
- refrigerante (agua más talco).
- Alicates.
- Palanquilla.

4.3- PRIMERA PRUEBA EXPERIMENTAL.

Vamos a iniciar la colada en un molde a temperatura ambiente y la temperatura del aluminio a 680°C.

Colocamos el perno de anclaje y procedemos a cerrar el molde y realizamos la colada. Y le rociamos refrigerante.

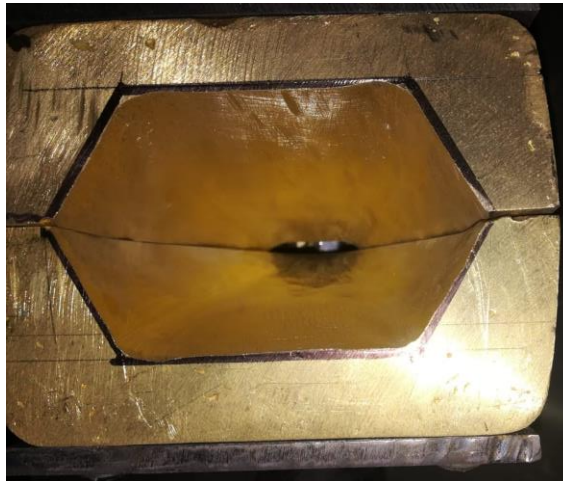


Figura 68. Molde cerrado vista de planta.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

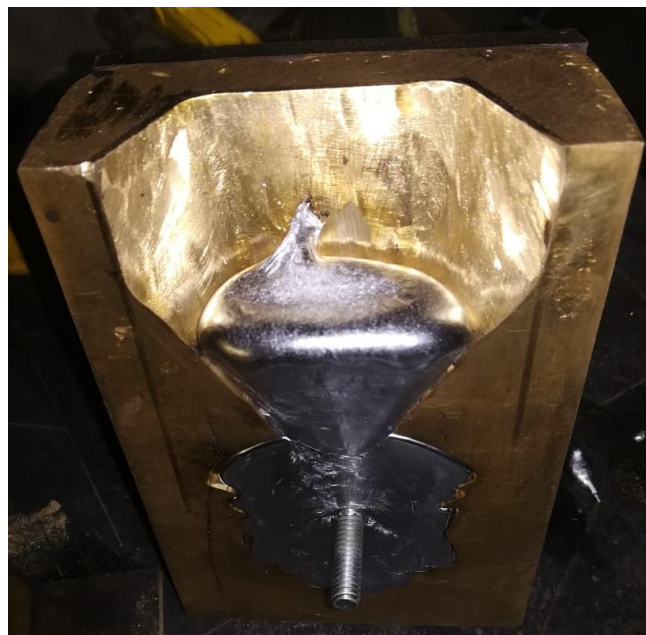


Figura 69. Apertura del molde y extracción del producto.

Fina cortesía: Quispe Toledo.



Figura 70. Producto de la primera colada.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Podemos observar el producto de la primera colada que salió con defectos, esto precisamente por el molde que se encontraba a temperatura ambiente y experimento la contracción violenta del aluminio fundido y no permitió la alimentación de la copa de colada.

El molde que tenía temperatura ambiente de 19.6°C se elevó a 70°C en la primera colada, luego realizamos siguientes coladas para comprobar como salía el producto y cuanto más elevaría la temperatura del molde.



Figura 71. Diferentes coladas.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

El incremento de temperatura del molde fue significativo alcanzando a 200°C.

Pero el producto a un seguía con defectos, entonces faltaría mejorar la canal de alimentación o a un más elevar la temperatura del molde o la del aluminio.

Entonces decidimos mejorar el ducto de alimentación, para evitar que siga produciendo rechupes.

4.4- SEGUNDA PRUEBA EXPERIMENTAL.

Mejorando (neck) canal de alimentación y controlando la temperatura del molde a 200°C y la temperatura de colada a 680°C. mas refrigerante



Figura 72. Colada en la segunda prueba.

Fina cortesía: Quispe Toledo.



Figura 73. Producto de diferentes coladas.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Con la mejora del (neck) de entrada pudimos eliminar el rechupe y Analizamos las piezas fundidas de los ornamentos y mejoro significativamente.

Y pudimos apreciar los detalles del león que tienen buena definición.

4.5- TERCERA PRUEBA EXPERIMENTAL.

Para esta prueba elevamos la temperatura molde a 400°C y realizamos la colada del aluminio a 680°C. mas refrigerante

En esta prueba pudimos observar que la solidificación demora más tiempo que las dos anteriores pruebas.

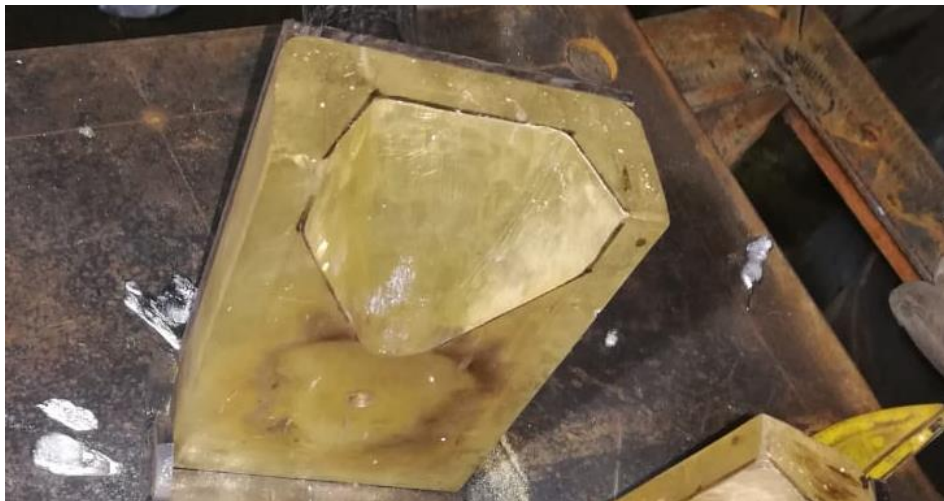


Figura 74. Molde a 400°C.

Fina cortesía: Quispe Toledo.

Sobre calentar el molde a temperaturas altas comienza a erosionarse el bronce y se observa pequeñas grietas en la parte del riser, lo cual nos está indicando que a esas temperaturas son extremas para trabajar con aluminio a 680°C, y van a dañar el molde.

En cambio, la pieza fundida tuvo un buen detalle por el mismo hecho que la solidificación demoro más tiempo que las pruebas anteriores.



4.6- CUARTA PRUEBA EXPERIMENTAL.

En esta prueba la temperatura del molde mantenemos en un rango inferior de 200°C y la temperatura de colada del aluminio es de 680°C. mas refrigerante.

Usamos refrigerante a 80°C. En una cubeta para poder sumergir el molde de bronce, en un promedio de 10 coladas la temperatura del molde supera los 220°C es en ese instante que se debe refrigerar para descender la temperatura.

La forma de sumergir el molde caliente en el refrigerante es con movimientos oscilatorios.

4.7- CALCULO DE PRODUCCION.

La cantidad de ornamentos que se puede producir en un tiempo de 30 minutos está en un promedio de 25 leones.

$$\begin{array}{l} 30 \text{ min.} - 25 \text{ leones} \\ 480 \text{ min.} - x \text{ leones} \end{array}$$

$$x = 400 \text{ leones por dia}$$

$$400 \text{ leones} * \frac{2.00 \text{ soles}}{\text{leones}} = 800.00 \text{ soles}$$

4.8- CALCULO DE GAS CONSUMIDO.

El consumo de gas en una hora de producción es de un kilo, lo que nos indica que usaremos en una jornada laboral 8 kilos de gas.

4.9- CALCULO DE ALUMINIO CONSUMIDO.

El león ornamental tiene una masa de 62,4 gr de aluminio. Con este dato calcularemos la cantidad de aluminio requerido para la producción diaria.



$$\begin{aligned} 62.4 \text{ gr de Al} &- 1 \text{ leon} \\ x &- 400 \text{ leones} \end{aligned}$$

$$x = 24,960 \text{ gr. Al}$$

$$24,960 \text{ gr. Al} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr.}} = 24.96 \text{ kg}$$

24.96 kg. De aluminio será requerido para una jornada laboral. Y ahora también calcularemos cuantos leones se puede producir por cada kilo de aluminio.

$$\begin{aligned} 400 \text{ leones} &- 24.96 \text{ kg de Al} \\ x &- 1 \text{ kg de Al} \end{aligned}$$

$$x = 16 \text{ leones}$$

4.10- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

- Comenzar a colar en un molde frio experimenta que la solidificación es violenta y produce mayor rechupe de la pieza.
- En molde de 200°C la pieza fundida se reproduce con buen detalle y el molde también permanece aliviado.
- En caso de elevar a 400°C el molde, definitivamente no conviene trabajar a ese rango.
- Lo ideal es mantener el molde a un rango inferior de 200°C. y la temperatura del aluminio en un rango de 680°C. y refrigerar intermitentemente para poder alargar la vida útil del molde de bronce.
- Al momento de extraer la pieza fundida es necesario que la operación debe realizarse con cuidado.

4.11- ACAVADO DE PIEZAS ORNAMENTALES.

En el proceso de acabado se elimina el alimentador y se procede a aplicar pintura para mejorar la apariencia.



Figura 75. Antes del proceso de pintado.
Fina cortesía: Quispe Toledo.



Figura 76. Aplicado con pintura.
Fina cortesía: Quispe Toledo.



4.12- ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO.

4.12.1- INTRODUCCION.

El análisis económico, tiene por objetivo calcular el monto de los recursos económicos necesarios para la concepción del proyecto.

El análisis económico se le realiza tomando los costos directos y costos indirectos, para determinar el costo total directo se considera los costos parciales de:

- Materiales directos.
- Costos de soldadura.
- Costo de mecanizado
- Costos de ensamblaje

De manera similar para determinar el costo total indirecto se considera los costos

Parciales de:

- Materiales indirectos.
- Costos de ingeniería.
- Gastos imprevistos.

Para determinar el costo total de la fabricación del molde permanente en bronce se suma el total de los costos directos con los costos indirectos.

4.12.2- COSTOS DE FABRICACIÓN DE MOLDE

Para realizar el análisis de los datos cuantitativos es preciso obtener los precios de todos los componentes que se utilizan en el desarrollo del molde permanente, como también todos aquellos que intervienen en la fabricación del mismo de manera directa e indirecta.



En las páginas en adelante estaremos detallando todos estos gastos de manera secuencial para su mejor presentación y entendimiento del proyecto.

4.12.3- PERSONAL REQUERIDO.

Para la construcción del molde permanente se requiere personal hábil y con conocimientos en diseño mecánico, matricaria, mecánica, soldadura, manejo de máquinas herramienta, manejo de software del CNC. Y criterios puntuales natos para ser aplicado en la concepción de modelos y moldes.

Como también en procesos de fundición de metales no ferrosos para la producción de piezas ornamentales, y el buen manejo de ambiente del entorno de trabajo, de esta manera garantizaremos el buen desarrollo del proyecto.

4.12.4- COSTOS DIRECTOS

4.12.4.1- COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS

Tabla 30. Precios de materiales para molde permanente.

MATERIALES	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Diseño y mecanizado	1	Ud.	350.00	350.00
Bronce	8	Kg.	13.00	104.00
Acero A36	10	Kg.	2.00	20.00
Electrodo	1	Kg.	12.00	12.00
Lijar	3	Uds.	1.50	4.50
Pernos	8	Uds.	0.50	4.00
Brocas	2	Uds.	35.00	70.00
Lima	1	Ud.	6.00	6.00
Disco de corte	1	Ud.	5.00	5.00
Disco de amolar	1	Ud.	5.00	5.00
Polifam	1	Ud.	7.00	7.00
Flexo metro	1	Ud.	12.00	12.00
vidrio	1	Ud.	12.00	<u>12.00</u>
COSTO SUB TOTAL				611.50



4.12.4.2- COSTOS DE IMPLEMENTO DE SEGURIDAD

Tabla 31. Implementos de seguridad.

EPPS	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Overol jeans	2	Uds.	120.00	240.00
Zapatos	2	Uds.	90.00	180.00
Guantes caña corta	2	Uds.	10.00	20.00
Lentes	2	Uds.	20.00	40.00
Orejeras	2	Uds.	25.00	50.00
Respirador gas/polvo	2	Uds.	150.00	300.00
Mandil de cuero	2	Uds.	30.00	60.00
Mascara de soldar digital	1	Ud.	150.00	150.00
Mascara full face	2	Uds.	30.00	60.00
Guantes caña larga	2	Uds.	15.00	<u>30.00</u>
			COSTO SUB TOTAL	1130.00

4.12.4.3- COSTOS DE MAQUINAS E EQUIPOS

Tabla 32. Maquinas e equipos.

MAQUINAS	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Router CNC	1	Ud.	12500.0	12500.00
			0	
Taladro de columna	1	Ud.	350.00	350.00
Amoladora angular	1	Ud.	120.00	120.00
Taladro manual	1	Ud.	100.00	100.00
Máquina de soldar	1	Ud.	600.00	600.00
Comprensora	1	Ud.	350.00	<u>350.00</u>
			COSTO SUB	14020.00
TOTAL				

4.12.4.4- COSTOS EN AREA DE FUNDICION

Tabla 33. Equipos y herramientas de fundición.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Horno de fundición	1	Ud.	1000.00	1000.00
Crisol	1	Ud.	400.00	400.00
Quemador	1	Ud.	400.00	400.00
Pinzas	2	Ud.	10.00	20.00
Cuchara escorificador	1	Ud.	15.00	15.00
Cuchara de colada	1	Ud.	15.00	15.00
Mesa de colada	1	Ud.	150.00	150.00
Pirómetro digital	1	Ud.	720.00	<u>720.00</u>
			COSTO	SUB
TOTAL				<u>2720.00</u>

4.12.4.5- COSTOS DE FUNDICION DE BRONCE Y ALUMINIO

Tabla 34. Cotización de fundición del bronce y aluminio

DESCRIPCION	CANTIDAD (Kg)	PRECIO UNITARIO	COSTO S/.
BRONCE	1	40.00	40.00
ALUMINIO	1	20.00	20.00

4.12.4.6- COSTOS FUNDICION DE BRONCE

Tabla 35. Lingote de bronce para molde

OPERACIÓN	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Fundición Bronce	8	Kg.	40.00	<u>320.00</u>
			COSTO SUB TOTAL	<u>320.00</u>



4.12.5- COSTOS ENSAMBLAJE DEL MOLDE DE BRONCE

Para el ensamblado del molde se ha realizado el corte y soldeo para el molde permanente.

Tabla 36. Costo de ensamblaje.

OPERACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
• Corte y soldeo del soporte de acero	2	10.00	20.00
• Mecanizado del alimentador	2	2.00	4.00
• Electrodo	6	1.00	6.00
• Pernos	12	0.20	2.40
• Macho	1	3.00	<u>3.00</u>
COSTO SUB TOTAL			35.40

4.12.6- COSTOS INDIRECTOS.

En la siguiente tabla se muestra los costos de materiales indirectos.

Tabla 37. Costos de materiales indirectos.

DESCRIPCION	COSTOS PARCIAL s/.
Gastos de transporte	500.00
Gastos generales indirectos	<u>200.00</u>
COSTO SUB TOTAL	700.00

4.12.7- COSTO DEL OPERARIOS

Tabla 38. Costo de operarios.

PERSONAL	COSTO POR DIA
Operario 1	55.00
Operario 2	<u>45.00</u>
TOTAL	100.00



4.12.8- COSTO DE MATERIA PRIMA:

Tabla 39. Costo de materia prima.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
Aluminio secundario	24.96	3.00	74.79
Pintura		10.00	<u>10.00</u>
COSTO SUB TOTAL			<u>84.90</u>

4.12.9- COSTO DE FUNDICION ALUMINIO:

Tabla 40. Operación del Horno.

OPERACIÓN DEL HORNO	COSTO
Combustible (gas)	28.00
<u>Energía (quemador industrial)</u>	<u>1.00</u>
COSTO SUB TOTAL	29.00

4.12.10- COSTOS DE INGENIERIA.

Corresponde al costo debido al tiempo dedicado para para el diseño del molde permanente. Constituye el valor económico de ingeniería para diseñar y seleccionar los elementos a ser empleados en el proyecto.

4.12.11- COSTOS TOTALES.

Tabla 41. Costo total para elaboración de moldes permanentes.

DESCRIPCION DE COSTOS	COSTOS PARCIAL s/.
Costos de materiales directos	611.50
Costos de implemento de seguridad	1130.00
Costos de máquinas e equipos	14020.00
Costos en área de fundición	2720.00
Costos fundición de bronce	320.00
Costos ensamblaje del molde de bronce	35.40
Costos indirectos	<u>700.00</u>
COSTO SUB TOTAL	19,536.90



4.13- ANLISIS ECONOMICO DE FUNDICION EN ARENA.

En este apartado calculare el método de fundición en arena para realizar la comparativa con el método que estamos implementando en la producción en molde permanente.

4.13.1- COSTO DE HERRAMIENTAS DE FUNDICIÓN:

Tabla 42. Herramientas de fundición.

Unid.	Herramienta	Descripción	Costo
2	Caja de fundición (madera)	250* 350 mm h=150 mm	40.00
1	Pala metálica	1 unid.	20.00
1	Malla	100	10.00
1	Modelo	León	3.50
1	Pisón		5.00
1	Regleta	500 mm	4.00
1	cuchara		<u>2.00</u>
COSTO SUB TOTAL			84.50

4.13.2- COSTOS DE MAQUINAS E EQUIPOS

Tabla 43. Maquinas e equipos.

MAQUINAS	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Amoladora angular	1	Ud.	120.00	120.00
Comprensora	1	Ud.	350.00	<u>350.00</u>
		COSTO	SUB	470.00
TOTAL				

4.13.3- COSTOS EN AREA DE FUNDICION

Tabla 44. Equipos y herramientas de fundición.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Horno de fundición	1	Ud.	1000.00	1000.00
Crisol	1	Ud.	400.00	400.00
Quemador	1	Ud.	400.00	400.00
Pinzas	2	Ud.	10.00	20.00
Cuchara escorificador	1	Ud.	15.00	15.00
Cuchara de colada	1	Ud.	15.00	15.00
Mesa de moldeo	1	Ud.	150.00	150.00
Pirómetro digital	1	Ud.	720.00	<u>720.00</u>
TOTAL			COSTO SUB	2720.00

4.13.4- COSTO DE FABRICACION DE LEON ORNAMENTAL

Tabla 45. Costo de producción en arena.

PROCEDIMIENTO	TIEMPO	COSTO
▪ Acondicionamiento de arena de fundición	▪ 15 min - 20 min ▪ 17 ½ min.	6.80
▪ Modelo y caja	▪ 1/2 min - 1 min ▪ 1 min.	0.38
▪ Tamizado y Compactado en la caja inferior	3 min. ▪ 2 min. – ▪ 2 1/2 min.	0.95
▪ Tamizado y Compactado en la caja superior	3 min ▪ 2 min – ▪ 2 1/2 min	0.95
▪ Extraer modelos	2 min ▪ 1 min – ▪ 1 1/2 min	0.57
▪ Colada y solidificación	3 min ▪ 2 min – ▪ 2 1/2 min	0.95



<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cosecha del producto 	2 min	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 min – ▪ 1 1/2 min – 	0.57
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desbarbado y acabado 	10 min	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 min – ▪ 7 min 	2.72
<ul style="list-style-type: none"> ▪ venta 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sumando los minutos ▪ 28 min – 44 min ▪ 28 + 44 = 72/2=36 min 	14.00 Nuevo soles
		<p>tiempo aproximado para producir un juego de 7 leones, costo de cada león es de 2 nuevo soles</p>	

Recogiendo los datos de operación de producción de fabricación de leones.

Estos datos nos brindan una valiosa información y realizamos el cálculo correspondiente de producción por día.

$$\begin{aligned} 36 \text{ min.} &- 7 \text{ leones} \\ 480 \text{ min.} &- x \text{ leones} \end{aligned}$$

$$x = 93 \text{ leones por dia}$$

$$93 \text{ leones} * \frac{2.00 \text{ soles}}{\text{leones}} = 186 \text{ soles}$$

Cada león ornamental tiene una masa de 100 gramos. Por lo tanto, para fabricar:

$$100 \text{ gr.} * 93 \text{ leones} = 9300 \text{ gramos}$$

Realizando la conversión.

$$9300 \text{ gr} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} = 9.3 \text{ kg de aluminio}$$



Entonces para producir 93 leones ornamentales se requerirá de 9.3 kg de aluminio

4.13.5- COSTO DEL OPERARIOS

Tabla 46. Costo de operarios.

PERSONAL		COSTO POR DIA	
Operario 1			55.00
Operario 2			<u>45.00</u>
	COSTO	SUB	100.00
TOTAL			

4.13.6- COSTO DE MATERIA PRIMA:

Tabla 47. Costo de materia prima.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
Aluminio secundario	9.3	3.00	27.90
Pintura		3.00	<u>3.00</u>
		COSTO SUB TOTAL	<u>30.90</u>

4.13.7- COSTO DE FUNDICION ALUMINIO:

Tabla 48. Operación del Horno

OPERACIÓN DEL HORNO	COSTO
Combustible (aceite)	10.00
Energía (quemador industrial)	<u>1.00</u>
COSTO SUB TOTAL	11.00



4.13.8- COSTOS TOTALES.

Tabla 49. Costos totales.

DESCRIPCION DE COSTOS	COSTOS PARCIAL s/.
Costo de herramientas de fundición	84.50
Costos de máquinas e equipos	470.00
Costos en área de fundición	<u>2720.00</u>
COSTO TOTAL	3,274.50

4.14- ANALISIS COMPARATIVO

4.14.1- COMPARATIVO DE COSTOS TOTALES DE INVERSION.

Tabla 50. Comparativo de inversión directa e indirecta

DESCRIPCION DE COSTOS	Molde de bronce (S/.)	Molde de arena (S/.)
Costo total	19,536.90	3,274.50

4.14.2- COMPARATIVO DE COSTOS INVERSION.

Tabla 51. Inversión para producir.

DESCRIPCION DE COSTOS	Molde de bronce (S/.)	Molde de arena (S/.)
Materia prima	84.90	30.90
Fundición de aluminio	29.00	11.00
Operarios	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>
COSTO TOTAL	213.00	141.90

4.14.3- COMPARATIVO DE COSTOS PRODUCCION.

Tabla 52. Costo de producción.

DESCRIPCION DE COSTOS	Molde de bronce (S/.)	Molde de arena (S/.)
Costos de producción diaria	800.00	186.00
Costo de inversión	<u>213.00</u>	<u>141.90</u>
UTILIDAD	587.00	44.10



V.- CONCLUSIONES

- Con el diseño del molde para las cabezas del león ornamental, se aplicó los parámetros y estándares de diseño de moldes, con el software artcam. El cual mejora la calidad del diseño y sus visualizaciones en 3D. y sus posiciones milimétricas.
- En la etapa de construir el molde permanente en bronce, se realiza programación de los parámetros de mecanización en el CNC. Como posicionamiento 0,0,0 también las trayectorias de desbastado, y acabado. Programación de herramientas con las que las pasadas de mecanización van a mejorar la calidad de la cavidad del molde permanente. El cálculo de los alimentadores y riser del molde es de suma importancia ya que el producto va depender de ello para que las coladas sean óptimas y las piezas no presenten los famosos rechupes.
- Para Fabricar las cabezas de león ornamental de aluminio. Se prepara la fundición del aluminio, se precalienta el molde de bronce y se aplica el aislante cerámico para evitar los choques térmicos de colada del aluminio fundido, realizado la colada y solidificación las piezas de cabezas del león salen con una buena definición.



VI.- RECOMENDACIONES

- Diseñar el molde requiere de profesionales que continuamente se esté proyectando al desarrollo de cualquier diseño que pueda llegar al público consumidor, si esto sucede entonces el diseño se llama diseño industrial de lo contrario solo llegaría a una etapa de croquis. Por eso recomendamos elegir un software que sea amigable con el diseñador y compatible con las maquinas CNC.
- Para fabricar el molde en bronce se debe programar con la ayuda del simulador que cuanta el software para tener una idea más realista, y usar las herramientas de corte recomendados para cada material a mecanizar.
- Al reutilizar aluminio reciclado para fabricar cabezas de león ornamental estamos ayudando ahorrar energía, ya que para la producir una tonelada de aluminio se requiere bastante kilowatt de electricidad. Al usar el aluminio reciclado ayudamos a equilibrar el cuidado del medio ambiente.



VII.-REFERENCIAS

- ASTM. (2000). *ASTM International (American Society for Testing and Materials)*.
Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- AVNER, S. H. (1981). *Introducción a la metalurgia física*. Ediciones del Castillo, 1981.
- Beatriz, S. (25 de 03 de 2019). *Países líderes en la producción de aluminio a nivel mundial 2018*. Obtenido de Ranking de los principales países productores de aluminio a nivel mundial en 2018: <https://es.statista.com/estadisticas/635357/paises-lideres-en-la-produccion-de-aluminio-a-nivel-mundial/>
- Bonsiepe, G. (1978). *Teoría y Práctica del Diseño Industrial*. Barcelona: Gustavo Gili,.
- Castro Lisintuña, C. D. (2012). *construccion de un molde metalico (coquilla) con noyo para la fundicion de aleaciones de aluminio*. Quito Ecuador.
- Cobos, B. C. (1996). *bronces*. mexico.
- COMIMSA. (2015). *solidificacion de metales*. cominsa. Obtenido de <https://prezi.com/fz42mqu9orud/solidificacion-de-metales-puros/>
- Faraday., M. (1831). *Horno de inducción*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Horno_de_inducci%C3%B3n:
https://www.ecured.cu/Horno_de_inducci%C3%B3n
- Gandia, E. (2007). *misterios de america*. barcelona: robinbook.
- Gangas, V. (2014). *Estudio del proceso de solidificacion en fundicion de aluminio para brazos de estudio de freno de un ascensor mediante elementos finitos*. Escuela politecnica nacional. Quito Ecuador: facultad de ingenieria mecánica.
- Gregori, B. E. (2016). *Utilización de la técnica de prototipado rápido en el proceso de fundición por revestimiento y su aplicación en la fabricación de repuestos para*



la industria de confecciones. facultad ciencias y ingeniería, pontificia universidad católica del Perú.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Ornamento>. (s.f.).

<https://es.wikipedia.org/wiki/Ornamento>.

Huichi, A. H. (2019). *Instalación De Una Fábrica De Perfiles En La Ciudad De Puno Usando Como Materia Prima Aluminio Reciclado*. universidad nacional del altiplano, facultad de ingeniería geológica e ingeniería metalúrgica, Puno.

Javier, P. D. (2017). *Análisis del comportamiento de la productividad del área de moldes de la empresa Servicios Técnicos de Matriceria S.A.C. Lima, 2017*. universidad cesar vallejo, facultad de ingeniería escuela profesional de ingeniería industrial, Lima.

kalpaklian. (2002).

MARKS, M. (Productor). (2014). *Explanation of Solidification of Metals & Alloys - Magic Marks* [Película]. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=G5z9KknF_s8

Martínez de Velasco, E. (1980). *Áreas de Acción del Diseñador Industrial*. México: Edicol.

Miguel, G. C. (2013). *ingeniería industrial*. cartagena.

MOLSALVE, M. (2017). *solidificación de un lingote de aluminio y aleación aluminio silicio*. obtenido de <file:///d:/tesis%20raul/Solidificacion%20materiales%20ingenieria.pdf>

Morral, J. y. (1985). *Moldeado en arena*.

PARDO, J. (2019). *diseño de risers*. instituto superior tecnológico jose pardo. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/397445715/Vdocuments-mx-Diseno-de-Riser>



- Rodriguez de la Esperanza, M. J. (2005). *metalurgica y metalurgistas en el valle del ebro*. madrid: zaragoza.
- Rodrigues, G. (2007). *manual de diseño industrial*. mexico: G. Gili s.a.c.
- Rubio, A. (2000).
- SALDA. (2011). *Volumen y Dimension Riser*. instituto tecnologico jose pardo.
Obtenido de file:///c:/users/hp/downloads/75893325-diseno-de-riser.pdf
- Scot, R. G. (1970). *fundamentos del diseño*. buenos aires-argentina: victor leru.
- SERRANO, C. R. (2015). “*propuesta de negocio para la implementación de una fundición de aluminio, arequipa 2015*”. universidad catolica de santa maria, facultad de ciencias e ingenierías físicas y formales, arequipa.
- sideco. (2018). *sistema de corte cnc*.
- Tablas y medidas*. (s/a). Obtenido de *Tablas y medidas*:
http://www.autinohierros.com.ar/T_PropiedadesBronces.aspx
- USGS. (2011).



ANEXOS



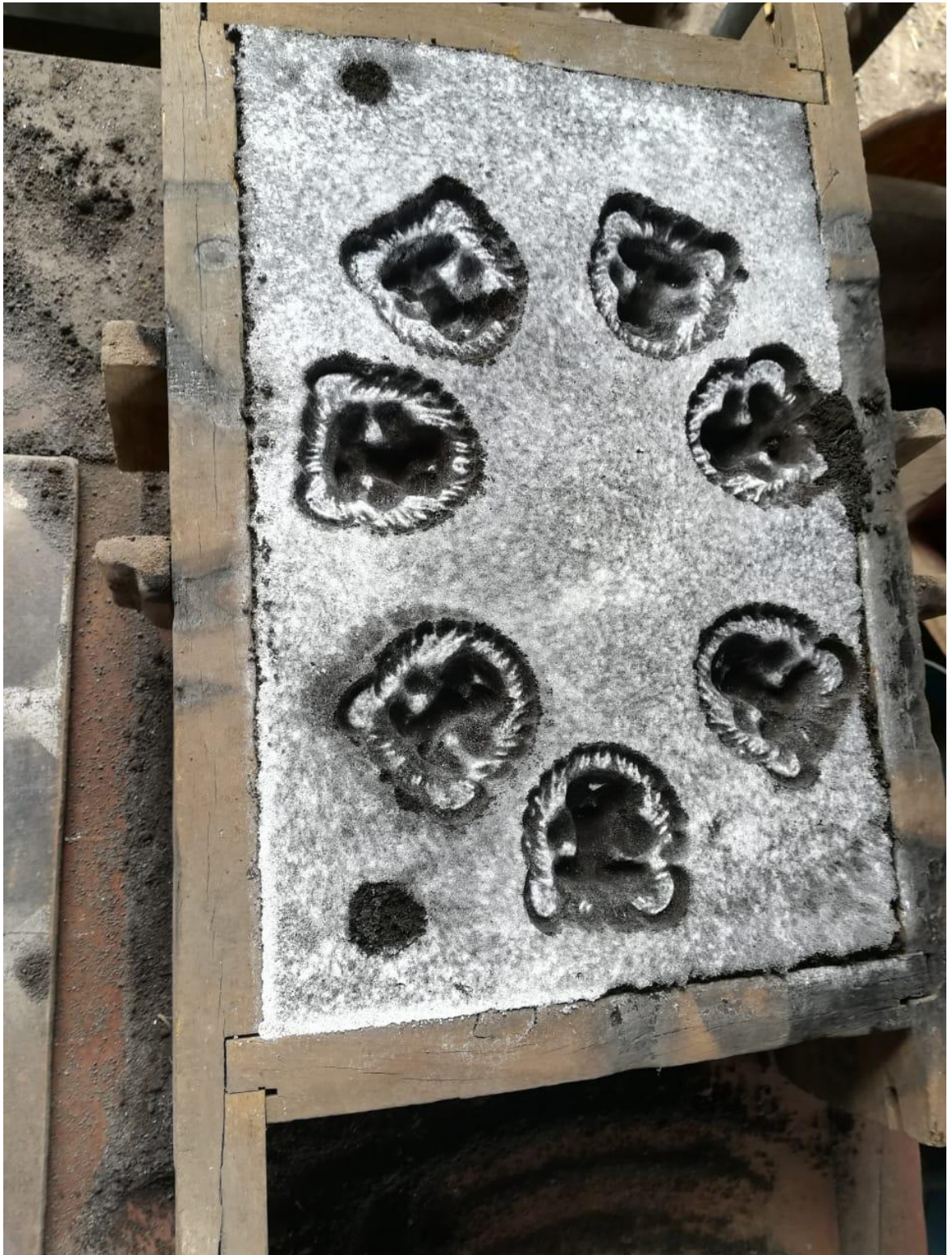
ANEXO 1 CNC ROUTER.



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 2

MOLDEO EN ARENA



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 3

COLOCACION DE LOS PERNOS PARA EL ANCLAJE DEL LEON.



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 4

LEONES PRODUCIDOS EN MOLDES DE ARENA.

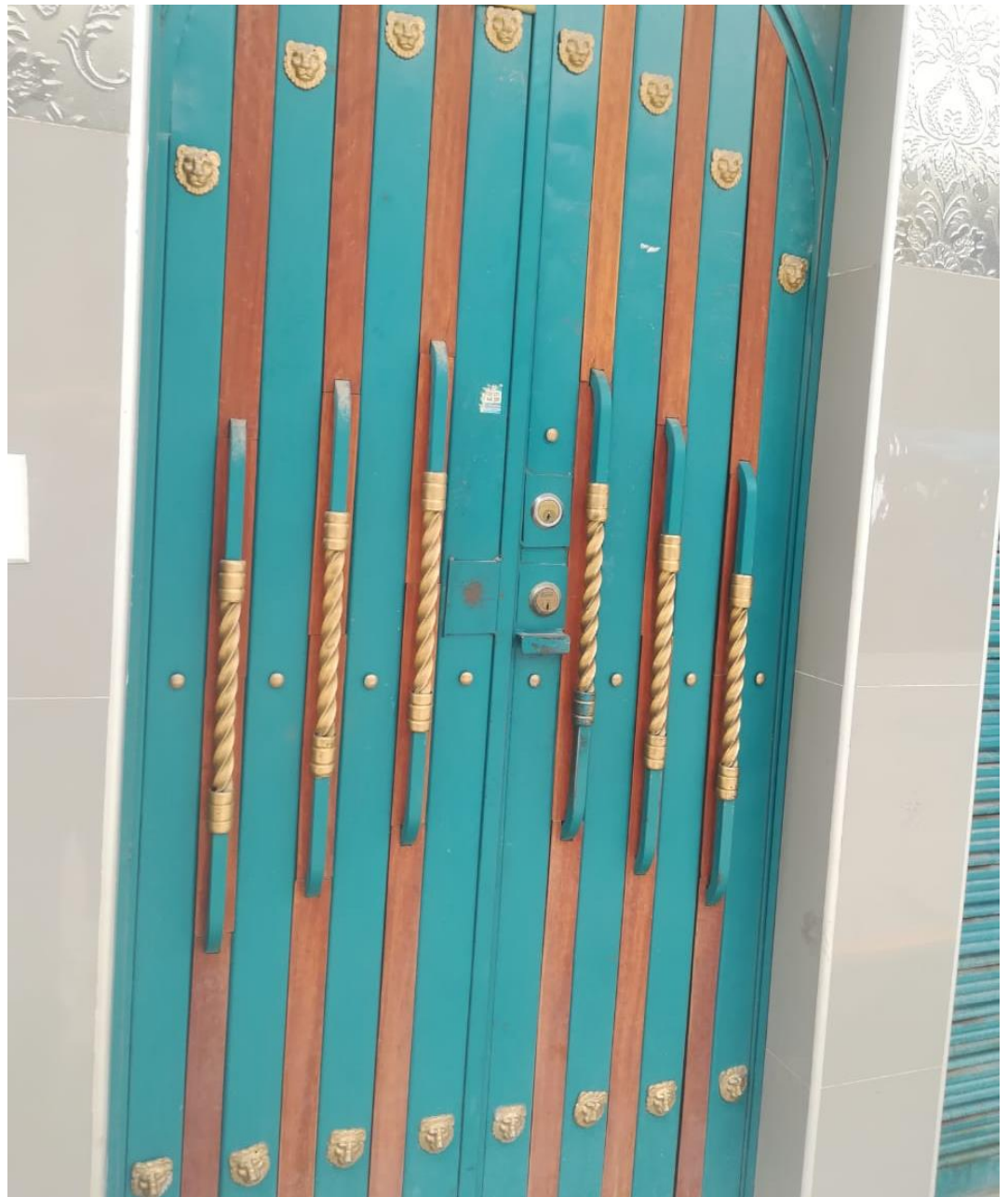


Fina cortesía: Quispe Toledo.



ANEXO 5

DECORADO EN PUERTAS



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 6

NUEVO PRODUCTO DE LEONES ORNAMENTALES.



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 7

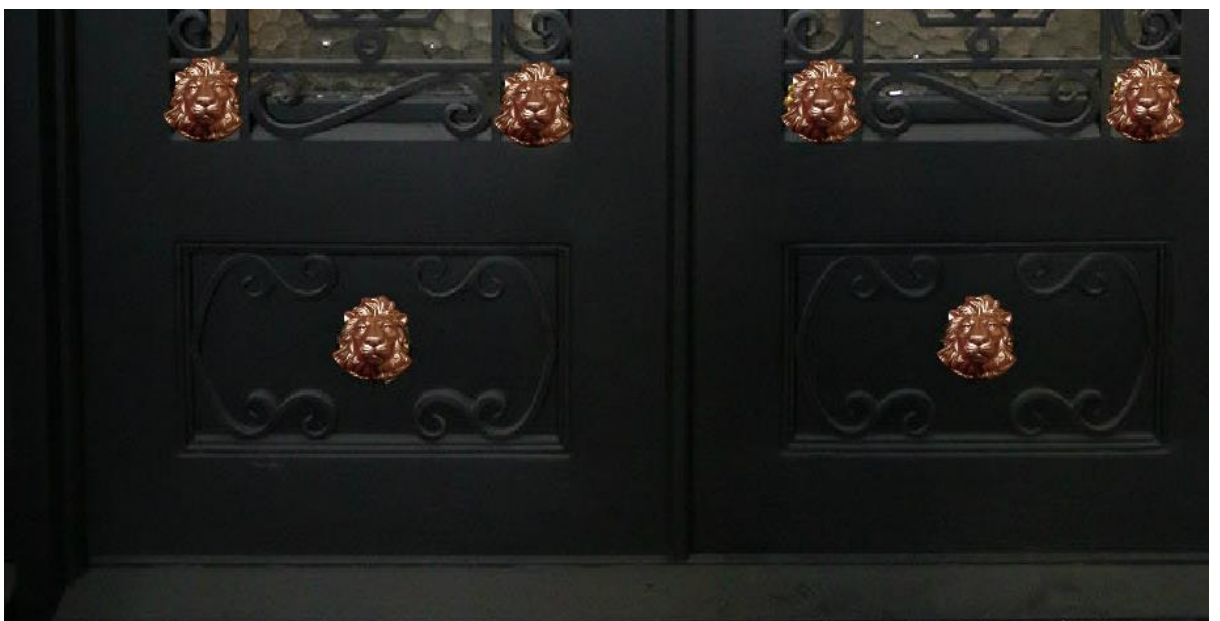
DECORADO EN PUERTA.



Fina cortesía: Quispe Toledo.

ANEXO 8

DECORADO EN PUERTA



Fina cortesía: Quispe Toledo.