

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

**TESIS**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO  
DE CASTING PARA JOYERÍA  
(INNOVACION TECNOLÓGICA)**

**Para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico**

**Presentada por los Bachilleres:**

**ROGER BERNIN HUILLCA ACHAHUI**

**ROMULO GASPAR HUILLCA ACHAHUI**

**ASESOR: Ing. ALFREDO TOMÁS BENITO ARAGÓN**

**CUSCO – PERÚ**

**2022**

***DEDICATORIA***

A mis padres Bernardino, Florencia y hermanos. Por el apoyo que me brindaron.

A mi esposa Marina e hijos Harold, Ingrid, Fabiola por su apoyo y cariño.

Roger

A mis padres, Bernardino y Florencia por su esfuerzo.

A mi esposa Olga y mis hijos, Aarón y Gabriela por todo su amor.

A mis hermanos por su apoyo.

Rómulo

***AGRADECIMIENTO***

Agradezco a Dios por darme la vida y mi sueño se haga realidad, a los amigos que me apoyaron, a nuestra alma mater UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO, a la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y docentes por sus enseñanzas y al asesor Ing. Alfredo Tomás Benito Aragón por sus recomendaciones.

Brs. Roger y Rómulo

## RESUMEN

En esta investigación, se diseñó y fabricó un módulo de casting para joyería, que permite trabajar de manera eficiente a las condiciones ambientales de la ciudad del Cusco. Este módulo consta de cuatro máquinas: horno eléctrico, inyectora de cera, vulcanizadora y Máquina de Fundición al Vacío. Para tal objetivo se desarrollaron los cálculos necesarios de ingeniería, que permitieron en una primera fase, el diseño y elaboración de los planos de las cuatro máquinas, luego se procedió a la selección de materiales adecuados y finalmente se hizo la fabricación del módulo de casting. Esta investigación de tipo experimental, permite demostrar la articulación del conocimiento a nivel de ingeniería con los procedimientos del diseño y la fabricación del módulo de casting para su operatividad a condiciones de presión y temperatura de la ciudad del Cusco, con el propósito de producir joyas de calidad, a nivel semi industrial. Los resultados del funcionamiento del equipo de fundición fabricado, indican un incremento en la capacidad de producción, bajo consumo de energía y facilidad de control de las variables operativas, este último aspecto permite la obtención de productos con mínimo de defectos. El módulo de fundición fabricado es económico, en comparación con los equipos de casting provenientes de la ciudad de Lima o del exterior, que tienen altos costos de adquisición, mantenimiento dependiente del proveedor y baja operatividad en la ciudad del Cusco, por las condiciones de presión y temperatura que no favorecen a las condiciones de uso fabricados para otras condiciones ambientales.

**Palabras clave:** Diseño, fabricación, Calidad Productiva, joyería.

## SUMMARY

In this research, a casting module for jewelry was designed and manufactured, which allows working efficiently to the environmental conditions of the city of Cusco. This module consists of four machines: electric oven, wax injector, vulcanizer and vacuum pump. For this purpose, the necessary engineering calculations were developed, which allowed, in a first phase, the design and elaboration of the plans of the four machines, then the selection of suitable materials and finally the manufacturing of the casting module. This experimental research allows us to demonstrate the articulation of knowledge at the engineering level with the design and manufacturing procedures of the casting module for its operation under pressure and temperature conditions of the city of Cusco, with the purpose of producing quality jewelry, at a semi-industrial level. The results of the operation of the casting equipment manufactured, indicate an increase in production capacity, low energy consumption and ease of control of operational variables, this last aspect allows the obtaining of products with minimal defects. The manufactured foundry module is economic, in comparison with the casting equipment coming from the city of Lima or from abroad, which have high acquisition costs, supplier-dependent maintenance and low operability in the city of Cusco, due to the pressure and temperature conditions that do not favor the manufactured use conditions for other environmental conditions.

Keywords: Design, manufacturing, jewelry, industry.

## ***PRESENTACIÓN***

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA.

SEÑORES CATEDRÁTICOS MIEMBROS DEL JURADO:

Cumpliendo con el Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, presentamos a vuestra disposición la tesis intitulada:

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO DE CASTING PARA JOYERÍA”**

**(INNOVACION TECNOLÓGICA)**

El presente trabajo tiene por finalidad alcanzar los requisitos para optar el título profesional de Ing. Metalúrgico.

El módulo fabricado es resultado de la investigación y experiencia laboral adquirida como joyeros durante más de veinte años de investigación. Presentamos como una alternativa versátil para la optimización de la producción de joyas en la ciudad del Cusco.

Esperando que el presente trabajo aporte en el conocimiento de la ingeniería en la región, además sea de utilidad a los profesionales y especialistas relacionados al diseño y fabricación de máquinas para el sector joyero.

Br. Roger Bernin Huillca Achahui

Br. Rómulo Gaspar Huillca Achahui

**NOMENCLATURA**

$R_{20}$	Resistencia eléctrica a 20°C
$\rho$	Resistividad
$R_T$	Resistencia eléctrica a la temperatura T
$C_t$	Coefficiente de resistividad
$A_C$	Superficie radiante de las resistencias
$I$	Intensidad de corriente
$P_P$	Pérdida de calor en pared plana
$P_C$	Pérdida de calor en pared cilíndrica
$t_h$	Temperatura en el interior del horno
$t_a$	Temperatura ambiente
$L_1, L_2$	Espesor de las capas de aislamiento
$h_i$	Coefficiente global por convección en el interior del horno
$h_e$	Coefficiente global por convección en el exterior del horno
$k_1, k_2, k_3$	Conductividad térmica de los materiales
$r_1, r_2, r_3, r_4$	Radios de materiales aislantes
$\varepsilon$	Emissividad total de la superficie A
$\zeta$	Constante de Stefan-Boltzmann
$T$	Temperatura
$A_r$	Superficie de la carga
$A_h$	Superficie interior del horno
$F'_{ch}$	Factor de forma
$\alpha$	Coefficiente de convección

$E_a$	Energía absorbida por la carga
$T_h$	Temperatura del horno en el instante $t$
$T_c$	Temperatura de la carga en el instante $t$
$\Delta t$	Incremento de tiempo (hora)
$M$	Masa de la carga
$C_e$	Calor específico de la carga
$\Delta T_c$	Incremento de la temperatura de la carga

## *INTRODUCCIÓN*

El diseño y la fabricación de un módulo de casting para trabajos de joyería en la ciudad del Cusco, contribuyen, en la producción de joyas de calidad. Con este propósito, se desarrollaron cálculos de ingeniería, planos y diagramas de instalación eléctrica, luego se realizó la selección de materiales con las características mecánicas requeridas y accesibles en nuestro medio, lo que permitió fabricar un módulo económico, tecnológicamente adaptable para las condiciones climáticas de la zona, en comparación a las máquinas importadas, desarrollaron los siguientes capítulos.

En el capítulo I se presentan los aspectos relacionados con la metodología del estudio, dentro de la metodología se especifican el problema de la investigación, objetivos, hipótesis, justificación y nivel de investigación. En el capítulo II desarrollamos el marco teórico y se recopila la bibliografía científica relacionada al tema del trabajo de investigación, incluyendo las definiciones y teorías relacionadas con la formulación de los cálculos necesarios para el diseño. En el capítulo III se desarrollan el diseño del módulo de casting de cada una de las máquinas como el horno eléctrico, inyectora de cera, vulcanizadora y máquina de fundición al vacío. En el capítulo IV desarrollamos los cálculos de ingeniería de cada una de las máquinas investigación. En el capítulo V se realiza la selección de materiales con las características mecánicas adecuadas y accesibles en nuestro medio. En el capítulo VI se describe la fabricación detallada de cada una de las máquinas del módulo de casting y se presentan los cuadros de comparación fáctica y discusión de resultados, de cada una de los componentes del módulo de Casting peruano, Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## INDICE

### CAPITULO I

#### METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Problema .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.3.3. Justificación tecnológica.....	5
1.3.4. Justificación social.....	5
1.3.5. Justificación económica.....	5
1.3.6. Justificación ambiental .....	6
1.4. Limitaciones para la investigación .....	6
1.5. Antecedentes .....	7
1.5.1. Diseño y Construcción de un Horno Mufla para la realización de tratamientos térmicos en aceros .....	7
1.5.2. Diseño, Construcción e Instalación de un Horno de Resistencias para Fundir minerales de Oro y Plata en la Ciudad de Iquitos .....	8
1.5.3. Diseño y Construcción de una Inyectora para Cera Ic – 6lb.....	10
1.6. Tipo de investigación .....	14
1.7. Diseño de investigación .....	14
1.8. Hipótesis.....	15
1.8.1. Hipótesis general .....	15
1.8.2. Hipótesis específicas.....	16
1.9. Variables .....	16
1.9.1. Independiente .....	16
1.9.2. Dependiente.....	16

1.10. Indicadores .....	16
-------------------------	----

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Horno que se encuentran en el mercado internacional.....	17
2.1.1. Horno para Laboratorio Dental Joyería Fundición de Metal.....	17
2.1.2. Horno Mic fabricado por hornos de valle s.a.....	18
2.1.3. Descripción de un horno eléctrico de resistencia .....	20
2.2. Recinto del horno .....	21
2.2.1. Ladrillo refractario aislante.....	21
2.2.2. Manta de fibra cerámica .....	22
2.3. Pérdidas de calor .....	23
2.3.1. Transferencia de calor por las paredes .....	23
2.4. Resistencias de calentamiento.....	35
2.4.1. Resistencias en base a aleaciones (Ni-Cr).....	35
2.4.2. Resistividad eléctrica.....	35
2.4.1. Disposición de las resistencias Eléctricas terminales y conexiones .....	36
2.4.2. Disposición de resistencias de alambre.....	38
2.4.3. La ley de Ohm— potencia.....	38
2.5. Calculo de resistencias metálicas .....	39
2.5.1. Propiedades térmicas de los materiales.....	43
2.1. Intercambio térmico de las resistencias con la carga en el calentamiento .....	44
2.2. Cálculo del tiempo de calentamiento .....	48
2.3. 2.8.1. Inyectora de Cera que se encuentran en el mercado internacional .....	50
2.3.1. Inyectora de Cera m1500 para Joyería.....	50
2.3.2. Máquinas de Fundición de Joyas Mini Inyección de Cera 3kg Inyector de Cera Azul.....	51
2.3.3. Inyector de Cera para Joyería, Mini máquina de Inyección de Cera de 5.5lb,.....	52
2.4. Descripción de una Inyectora.....	54
2.5. Leyes generales de los gases .....	54

2.5.1.	Ley de Boyle .....	54
2.5.2.	Ley de Gay-Lussac .....	55
2.5.3.	Descripción del comportamiento de los gases .....	56
2.5.4.	Validez de la ley de gases ideales .....	57
2.5.5.	El volumen del aire en función de la temperatura .....	57
2.5.6.	Presión total .....	58
2.5.7.	Cálculo de la resistencia mecánica de los recipientes de paredes delgadas .....	60
2.5.8.	Resistencia de la soldadura .....	61
2.6.	Vulcanizadora que se encuentran en el mercado internacional.....	63
2.6.1.	Vulcanizadora Grande marca TR.....	63
2.6.2.	Prensa Vulcanizadora Techno flux 200x200 mm. 1000 w /220 v.....	64
2.6.3.	Vulcanizadora VU-200.....	65
2.7.	Definición del vulcanizado .....	66
2.7.1.	Proceso de vulcanizado .....	68
2.8.	Máquina de Fundición al Vacío que se encuentran en el mercado internacional .....	68
2.8.1.	Máquina de Fundir al Vacío Microvac 100 .....	68
2.8.2.	Máquina de Fundición al Vacío, Herramientas de Joyería, 2l, Kaya .....	69
2.8.3.	Definición de vacío.....	71
2.8.4.	Bombas de paletas rotatorias .....	71
2.8.5.	Bomba para alto vacío de dos etapas .....	72
2.8.1.	Presión atmosférica .....	73
2.8.2.	Variación de la presión con la altura.....	73

### **CAPITULO III**

#### **DISEÑO DEL MÓDULO DE CASTING**

3.1.	Diseño del módulo de casting .....	74
3.1.1.	Diseño del horno .....	74
3.1.2.	Características principales del horno .....	75
3.1.3.	Diseño del horno fabricado en el Cusco .....	75
3.2.	Inyectora.....	79

3.2.1.	Características principales de la inyectora de cera .....	79
3.2.2.	Diseño de la inyectora fabricado en el Cusco .....	81
3.2.3.	Circuito eléctrico para el control de la temperatura de la inyectora .....	82
3.3.	Vulcanizadora .....	84
3.3.1.	Características principales de la vulcanizadora.....	85
3.3.2.	Circuito eléctrico para el control de temperatura de la vulcanizadora.....	85
3.4.	Máquina de Fundición al Vacío .....	87
3.4.1.	Características de la máquina de fundición al vacío.....	88
3.4.2.	Diseño de la Maquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco .....	89
3.4.1.	Circuito eléctrico de la máquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco .....	90

## CAPITULO IV

### CÁLCULOS DE INGENIERÍA

4.1.	Cálculos realizados para el horno .....	92
4.1.1.	Potencia requerida del horno .....	92
4.1.2.	Los materiales aislantes seleccionados para la fabricación del horno son.....	92
4.1.3.	Pérdidas de calor interna y externa del horno .....	93
4.1.4.	Perdidas de calor en paredes planas del horno .....	97
4.1.5.	Hallaremos el calor requerido de la carga útil en el horno en el proceso de vaciado.....	106
4.2.	Diseño de la resistencia para el calentamiento.....	111
4.3.	Inyectora.....	114
4.3.1.	Cálculos del crisol .....	114
4.3.2.	El volumen del aire en función de la temperatura .....	115
4.3.3.	Presión total.....	116
4.3.4.	Cálculo de la resistencia mecánica de los recipientes de paredes delgadas .....	116
4.3.5.	Cálculo de presión interna en recipiente .....	117
4.3.6.	Resistencia de las soldaduras .....	118
4.4.	Vulcanizadora .....	119
4.4.1.	Cálculo de la potencia eléctrica del control de temperatura .....	119
4.4.2.	Calor acumulado en las bases cilíndricas del vulcanizado .....	121

4.4.3.	Calor perdido por convección.....	122
4.4.4.	Calor perdido por radiación .....	123
4.4.5.	Calor ganado por el molde de caucho .....	125

## **CAPITULO V**

### **SELECCIÓN DE MATERIALES**

5.1.	Materiales para el horno eléctrico .....	127
5.2.	Materiales para la vulcanizadora.....	128
5.3.	Materiales para la inyectora de cera.....	129
5.4.	Materiales para la máquina de fundición al vacío.....	130

## **CAPITULO VI**

### **FABRICACIÓN DEL MÓDULO DE CASTING**

6.1.	Fabricación del horno de resistencia.....	131
6.1.1.	Bancada del horno .....	131
6.1.2.	Caja de acero inoxidable.....	132
6.1.3.	Caja de control.....	132
6.1.4.	Armazón del horno .....	133
6.1.5.	Armado de los ladrillos.....	134
6.1.6.	Acanalado de los ladrillos.....	134
6.1.7.	Resistencia eléctrica .....	134
6.1.8.	Instalación eléctrica .....	135
6.2.	Inyectora de cera .....	135
6.2.1.	Crisol de la inyectora .....	136
6.2.2.	Preparado del material .....	136
6.2.3.	Soldado de las piezas mecanizadas.....	137
6.2.4.	Carcasa de la inyectora .....	137
6.2.5.	Preparación del material .....	138
6.2.6.	Plegado y rolado.....	138
6.3.	Vulcanizadora .....	138
6.3.1.	Armazón de la vulcanizadora .....	139

6.3.2.	Ejes de guía de deslizamiento .....	140
6.3.3.	Eje roscado .....	140
6.3.4.	Armado de la vulcanizadora .....	141
6.3.5.	Instalación eléctrica .....	141
6.4.	Máquina de fundición al vacío .....	142
6.4.1.	Preparación del material .....	142
6.4.2.	Soldado y pintado .....	143
6.4.3.	Instalación eléctrica .....	143
6.5.	Comparación factico experimental del módulo de casting .....	144

## **CAPITULO VII**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

7.1.	En Cuanto al Horno .....	148
7.2.	Respecto a la Inyectora .....	150
7.3.	Sobre la Vulcanizadora .....	152
7.4.	En relación con la Máquina de fundición al Vacío .....	153
	Conclusiones .....	155
	Recomendaciones .....	155

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	15
FIGURA 2.1 CONDUCCIÓN UNIDIMENSIONAL A TRAVÉS DE PARED PLANA	25
FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE PARED PLANA COMPUESTA	26
FIGURA 2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN ENTRE DOS SUPERFICIES GRISES FINITAS.	31
FIGURA 2.4 PARED COMPUESTA DE TRES CAPAS	32
FIGURA 2.5 PÉRDIDAS DE CALOR POR PAREDES EXTERIORES DE HORNOS	34
FIGURA 2.6 ALAMBRE EN ESPIRAL	38
FIGURA 2.7 RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE, VOLTAJE, RESISTENCIA Y POTENCIA	39
FIGURA 2.8 POTENCIA ESPECIFICA MÁXIMA EN HORNOS	40
FIGURA 2.9 CARGA ESPECÍFICA MÁXIMA DE LAS RESISTENCIAS	42
FIGURA 2.10 RECINTO DEL HORNO, CARGA	47
FIGURA 2.11 TEMPERATURAS DE CARGA, HORNO Y POTENCIA ABSORBIDA POR LA CARGA	50
FIGURA 2.12 APLICACIÓN DE LAS LEYES DE BOYLE- MARIOTTE	55
FIGURA 2.13 REPRESENTACIÓN GRÁFICA, LA PENDIENTE DE LA RECTA ES LA CONSTANTE	56
FIGURA 2.14 LA VARIACIÓN ENTRE EL VOLUMEN Y LA TEMPERATURA EN LOS GASES	58
FIGURA 2.15 PRESIONES APLICADAS AL CILINDRO Y LA ESFERA	59
FIGURA 2.16 PRESIÓN APLICADA EN EL CILINDRO	60

FIGURA 2.17 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA	62
FIGURA 2.18 BOMBA DE PALETAS ROTATORIAS	71
FIGURA 2.19 SISTEMA DE DOS ETAPAS EN BOMBAS DE PALETAS ROTATORIAS	72
FIGURA 3.1 DISEÑO DEL HORNO (PLANOS DEL HORNO EN ANEXO C)	75
FIGURA 3.2 CIRCUITO DEL HORNO DESACTIVADO $T_H > T_C$	77
FIGURA 3.3 CIRCUITO DEL HORNO ACTIVADO $T_H < T_C$	78
FIGURA 3.4 CIRCUITO DE INYECTORA DE CERA DESACTIVADA $T_I > T_C$	83
FIGURA 3.5 CIRCUITO DE INYECTORA DE CERA ACTIVADA $T_I < T_C$	83
FIGURA 3.6 DISEÑO DE LA INYECTORA DE CERA, PLANOS DE LA INYECTORA DE CERA EN (ANEXO D)	82
FIGURA 3.7 CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA VULCANIZADORA ACTIVADO $T_V < T_C$	87
FIGURA 3.8 CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO ACTIVADO	91
FIGURA 4.1 PÉRDIDAS DE CALOR EN LAS PAREDES DEL HORNO	94
FIGURA 4.2 FLUJO DE CALOR DE LA PARES PLANA DEL HORNO	97
FIGURA 4.3 DISEÑO DE UNA VULCANIZADORA	120

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFÍA 2.1 HORNO PARA LABORATORIO DENTAL JOYERÍA FUNDICIÓN DE METAL IMPORTADO POR LA EMPRESA OLBAX	18
FOTOGRAFÍA 2.2 HORNO MIC FABRICADO POR HORNOS DE VALLE S.A.	20
FOTOGRAFÍA 2.3 INYECTORA DE CERA M1500 PARA JOYERÍA	51
FOTOGRAFÍA 2.4 MÁQUINAS DE FUNDICIÓN DE JOYAS MINI INYECCIÓN DE CERA 3KG INYECTOR DE CERA AZUL	52
FOTOGRAFÍA 2.5 INYECTOR DE CERA PARA JOYERÍA, MINI MÁQUINA DE INYECCIÓN DE CERA DE 5.5LB,	53
FOTOGRAFÍA 2.6 VULCANIZADORA GRANDE MARCA TR	64
FOTOGRAFÍA 2.7 PRENSA VULCANIZADORA TECHNOFLUX 200X200 MM. 1000 W /220 V	65
FOTOGRAFÍA 2.8 VULCANIZADORA VU-200	66
FOTOGRAFÍA 2.9 MÁQUINA DE FUNDIR AL VACÍO MICROVAC 100	69
FOTOGRAFÍA 2.10 MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO, HERRAMIENTAS DE JOYERÍA, 2L, KAYA	70
FOTOGRAFÍA 2.11 BOMBA PARA ALTO VACÍO DE DOS ETAPAS	73
FOTOGRAFÍA 6.1 BANCADA DEL HORNO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA	131
FOTOGRAFÍA 6.2 CAJA PARA EL ALOJAMIENTO DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS	132
FOTOGRAFÍA 6.3 CAJA DONDE SE INSTALARA EL CONTROL DEL HORNO	133
FOTOGRAFÍA 6.4 ARMADO DEL HORNO DE RESISTENCIA FABRICADO	133
FOTOGRAFÍA 6.5 ENSAMBLADO DE LADRILLOS	134
FOTOGRAFÍA 6.6 ACANALADO PARA LADRILLOS REFRACTARIOS	135

FOTOGRAFÍA 6.7 ACCESORIOS ELÉCTRICOS	135
FOTOGRAFÍA 6.8 TUBO PARA EL CRISOL	136
FOTOGRAFÍA 6.9 VOLANDA DE LA PARTE SUPERIOR DE LA INYECTORA	136
FOTOGRAFÍA 6.10 BASE DE LA PARTE INFERIOR DE LA INYECTORA	137
FOTOGRAFÍA 6.11 BORDE INFERIOR DE LA INYECTORA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	137
FOTOGRAFÍA 6.12 CARCASA DE LA INYECTORA	138
FOTOGRAFÍA 6.13 SOPORTE DE LAS BASES DE ALUMINIO	139
FOTOGRAFÍA 6.14 BASE DE LA VULCANIZADORA	139
FOTOGRAFÍA 6.15 ARMADO DE LOS EJES	140
FOTOGRAFÍA 6.16 EJE ROSCADO	140
FOTOGRAFÍA 6.17 ARMADO DE LA VULCANIZADORA	141
FOTOGRAFÍA 6.18 ACCESORIOS PARA LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	142
FOTOGRAFÍA 6.19 CARCASA DEL CILINDRO DE SUCCIÓN	143
FOTOGRAFÍA 6.20 ARMADO DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO	143
FOTOGRAFÍA 6.21 MAQUINA DE FUNDICION AL VACIO DE 2 ETAPAS	144
FOTOGRAFÍA 6.22 ACCCESORIOS PARA LA MAQUINA DE FUNDICION AL VACIO	144

**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 2-1 RESISTIVIDAD TÉRMICA DE ALEACIONES NI-CR	37
TABLA 2-2 PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES	45
TABLA 3-1 COMPARACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO IMPORTADA Y DE LA FABRICADA EN LA CIUDAD DEL CUSCO	76
TABLA 3-2 DATOS TÉCNICOS DEL HORNO FABRICADO EN LA CIUDAD DEL CUSCO	76
TABLA 3-3 DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS DE LA CAJA DE ACERO INOXIDABLE DEL HORNO FABRICADO EN LA CIUDAD CUSCO	78
TABLA 3-4 DATOS ESPECÍFICOS DE LA CAJA DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL HORNO	79
TABLA 3-5 COMPARACIÓN DE UNA INYECTORA IMPORTADA Y DE LA FABRICADA EN LA CIUDAD DEL CUSCO	80
TABLA 3-6 DATOS TÉCNICOS DE INYECTORA DE CERA DE FABRICADO EN CUSCO	80
TABLA 3-7 DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS REGULADOR DE PRESIÓN	81
TABLA 3-8 DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	81
TABLA 3-9 COMPARACIÓN DE UNA VULCANIZADORA IMPORTADA Y EL FABRICADO EN CUSCO	85
TABLA 3-10 DATOS TÉCNICOS DE LA VULCANIZADORA FABRICADO EN CUSCO	85
TABLA 3-11 DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA VULCANIZADORA	87

TABLA 3-12 COMPARACIÓN DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO IMPORTADO Y MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO FABRICADO EN EL CUSCO	88
TABLA 3-13 DATOS TÉCNICOS GENERALES DEL MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO	89
TABLA 3-14 DATOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO	89
TABLA 4-1 DATOS DEL CRISOL	114
TABLA 4-2 CONDICIONES DEL RECIPIENTE DE PAREDES DELGADAS	117
TABLA 4-3 RESISTENCIA DE SOLDADURAS	119
TABLA 4-4 ENERGÍA ENTREGADA A LAS LÁMINAS Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO	124
TABLA 5-1 MATERIALES PARA EL HORNO ELÉCTRICO	127
TABLA 5-2 MATERIALES PARA LA VULCANIZADORA	128
TABLA 5-3 MATERIALES PARA LA INYECTORA DE CERA	129
TABLA 5-4 MATERIALES PARA LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO	130
TABLA 6-1 COMPARACIÓN FÁCTICA DEL HORNO ELÉCTRICO FABRICACIÓN IMPORTADA Y DE FABRICADO EN EL CUSCO	145
TABLA 6-2 COMPARACIÓN FÁCTICA INYECTORA DE CERA DE FABRICACIÓN IMPORTADA Y FABRICADO EN EL CUSCO	146
TABLA 6-3 COMPARACIÓN FÁCTICA VULCANIZADORA DE CAUCHO DE FABRICACIÓN IMPORTADA Y DE FABRICACIÓN EN EL CUSCO	146
TABLA 6-4 COMPARACIÓN FÁCTICA DE LA MAQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO DE FABRICACIÓN IMPORTADA Y FABRICADO EN EL CUSCO	147

## **CAPÍTULO I**

### **METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

En el mercado nacional e internacional, en cuanto a la provisión de módulos de casting para joyería, se tiene una gran variedad de diseños en capacidad tamaño y diversos modelos que provienen de empresas que por lo general tienen corta vida en materia de producción nuestros artesanos lo importan sobre todo joyerías industriales centradas generalmente en la ciudad de Lima.

En América Latina tenemos las máquinas de casting para joyería de fabricación Brasileira que además del alto costo hay que sumarle el costo del transporte y el impuesto de importación que elevan el costo de adquisición de las máquinas. En cuanto a la fabricación nacional de estas máquinas se tiene conocimiento de muy pocas empresas dedicados a fabricación de máquinas de casting para joyería y si la realizan lo hacen de una manera empírica y de baja calidad y además, la experiencia de uso de 4 joyeros de la ciudad del Cusco que trabajaron con dichos módulos, presentaron limitaciones tecnológicas de operatividad y acondicionamiento de las máquinas, consecuentemente una deficiencia en la producción. más aún por la influencia de la presión atmosférica, el cambio brusco de temperatura, la Maquina de Fundición al Vacío que baja considerablemente su poder de succión a mayor altura, por lo

que consideramos que la actual tecnología exportada, de muy alto costo, de rendimiento lento y sofisticado y de acabados inconclusos, operan eficazmente, sólo a nivel del mar esta realidad se busca cambiar, para lo cual se ha diseñado Nuevos módulos casting, (cuatro componentes) que estamos seguros serán de gran utilidad, para cada uno de los artesanos que al utilizarlos pasaran a formar la gran pléyade de productores semi industriales en joyería y estarán listos a desarrollar exportación de joyas de calidad.

En nuestro país y Cusco en particular están presentes un grupo de creadores dedicados a la producción de joyas, pero encuadradas en el campo de lo artesanal y una producción limitada, por lo mismo existe el reto en cada uno de estos productores de elevar su producción sin embargo ello solo es ilusión por cuanto los equipos que podrían llevar a dar este salto son exclusivamente extranjeros y de un costo demasiado alto, de modo que la intencionalidad se torna en muchos casos en frustración, por ello los investigadores que presentan este trabajo afrontando este desafío creamos la maquinaria denominada MODULO CASTING, cuatro componentes adecuados al medio y listos para desarrollar un trabajo de gran calidad, cantidad, bajo costo es decir las condiciones de sostenibilidad con estos nuevos módulos está definitivamente garantizado, demostraremos cuantitativamente y en forma científica el salto de calidad, cantidad, menor tiempo y sobre todo mínimo gasto, es decir inciden positivamente en la calidad productiva, en el campo de la joyería. Los nuevos Módulos Casting de producción local superan en mucho la maquinaria extranjera.

Previamente describiremos como parte del problema cada una de las limitaciones de las máquinas del extranjero en forma pormenorizada:

Tres problemas del Horno; En el horno importado por el uso constante y diseño de la tapa vertical lateral con una resistencia ubicada en las 3 paredes verticales hace que el calentamiento de los cilindros no sea uniforme, resultado, las piezas de joyería de los cilindros que se encuentran hacia la puerta salen con micro poros o caso contrario los cilindros de yeso del fondo se sulfatan produciendo piezas de joyas ásperas en segundo lugar: En cuanto al mantenimiento de estos hornos no es posible porque las resistencias que se queman vienen empotrados dentro del molde del ladrillo refractario por lo tanto no se puede remplazar, quedando los hornos inservibles y de una sola vida tercero. Estos hornos por el uso constante de apertura y cierre de la puerta pierde precisión en el sellado hermético de la puerta provocando pérdida de calor elevando el consumo de energía eléctrica por lo tanto eleva el costo del proceso.

Respecto a la Inyectora las deficiencias verificadas en veinte años de experimentación son las siguientes, Primero, las inyectoras importadas necesitan el suministro de aire permanente de una compresora porque el crisol de la inyectora es de aluminio no presenta un sellado de presión totalmente hermético en las paredes del crisol, consecuencia negativa, encareciendo el consumo de energía eléctrica. En segundo lugar:- El diseño de las resistencias de 400 Watts de las inyectoras importadas que cubren la pared del crisol perjudican consecuencia práctica negativa la cera no se disuelva uniformemente en la base del crisol ocasionando imperfecciones al momento de inyectar modelos de cera. Tercero: El control de la temperatura de estas máquinas importadas vienen con un termostato analógico cuyo rango de precisión de temperatura es de +/- 5 grados de temperatura dificultando la inyección continua de los moldes de cera.

Respecto a las deficiencias de la Vulcanizadora: Primero, la vulcanizadora importada con armazón de fierro fundido muestra un desgaste de la rosca de prensado que perjudica el prensado

Correcto del molde de caucho. Segundo: en el mantenimiento de las vulcanizadoras el cambio de resistencia es imposible de realizarlo porque estas están empotradas en las bases de aluminio.

En la Maquina de Fundición al Vacío el problema fundamental es su motor, traen un motor de 1/3 hp 3CFM en nuestro medio pierde un 60 % de eficiencia y no produce la presión negativa necesaria para la fundición ya que esta maquina está diseñada para trabajar a nivel del mar, por lo tanto son obsoletas para desarrollar un trabajo eficiente en los andes del Perú y América. Simplemente no sirven.

## **1.2. Problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Será posible el diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería que incida en la eficiencia operacional?

### **1.2.2. Problemas específicos**

1.- ¿Los cálculos de ingeniería permitirán el diseño de los componentes del módulo de casting para joyería?

2.- ¿El diseñar un nuevo casting para joyería nos permitirá obtener mayor productividad y calidad en el producto?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar y fabricar un módulo de casting para joyería que incida en la eficiencia operacional.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

1.- Desarrollar los cálculos de ingeniería que nos permitan un buen diseño de los componentes del módulo de casting para joyería.

2.- Diseñar un nuevo casting para joyería y obtener mayor productividad y calidad en el producto.

### **1.3.3. Justificación tecnológica**

En el aspecto tecnológico, permitirá el desarrollo de conocimiento propio y tecnología aplicable a las condiciones propias para el Cusco, distrito de Wánchaq altitud media 3363 m.s.n.m y una presión atmosférica de 0.7 atm que equivale al 70% de la presión atmosférica a nivel del mar. Esta diferencia hace que las máquinas tengan distinto comportamiento en función de la altitud en la que se trabaje, aspecto que nos da la oportunidad de optimizar la capacidad y calidad de producción de estas máquinas en condiciones de nuestro medio, además de disponer de facilidades para el mantenimiento de estas máquinas.

### **1.3.4. Justificación social**

Al desarrollar el diseño y fabricación del módulo de casting para joyería con los materiales y accesorios disponibles en nuestro medio, hace que los artesanos del Cusco dedicados a la joyería puedan tener la posibilidad de acceder a esta tecnología a un costo económico con lo cual aumentaría la capacidad productiva de sus talleres con un producto de calidad y diseño de joyas difíciles de ser realizados a mano, además de contar con capacitación permanente y asesoramiento en el proceso de casting.

### **1.3.5. Justificación económica**

El alto costo de la máquina importada más el flete del transporte y el impuesto de las aduanas encarecen el costo de las mismas, por lo que el diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería de fabricación local (ciudad del Cusco), con los materiales y accesorios disponibles en nuestro medio el cual garantiza un costo económico, que hacen accesible a la economía de los artesanos dedicados a la joyería en nuestra Región.

### **1.3.6. Justificación ambiental**

La tecnología que se propone, desarrolla la reducción de las etapas necesarias para la fabricación de una joya, como la refundición y laminado de recortes metálicos, por lo que contribuyen a la reducción de la contaminación del medio ambiente.

Los aspectos medioambientales significativos de la fase operativa de la fusión y el refinado están relacionados con emisiones al aire de partículas de, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dioxinas y furanos, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, entre otros; así mismo de aguas residuales, otros residuos peligrosos, además de ruido (IFC, 2007). Lo anterior puede conllevar afectaciones en la salud por parte de los trabajadores de las joyerías, e incluso de la población vecina por la exposición a sustancias químicas, o a riesgos de origen físico, al ruido y a la radiación. (Ruiz, s.f.)

### **1.4. Limitaciones para la investigación**

El estudio y sus resultados se puede comprobar en términos de productividad y calidad al seguir el proceso completo que en el módulo casting internacional tiene una duración de más horas y una producción del 30% en relación al módulo de fabricación local, de igual modo la comprobación de porosidad en las maquinas internacionales son visibles y claramente considerados errores, en cambio en el módulo casting local no existe porosidad, estas comprobaciones están por lo tanto sujetos a las horas de producción.

La limitación más frecuente es la falta de disponibilidad de los insumos y accesorios necesarios para la fabricación de las maquinas en la ciudad del Cusco siendo necesario realizar viajes constantes a la ciudad de Lima y realizar el contacto y la logística necesaria para poder proveernos de dichos insumos y accesorios para la fabricación del módulo de casting.

## **1.5. Antecedentes**

### **1.5.1. Diseño y Construcción de un Horno Mufla para la realización de tratamientos Térmicos en aceros**

**Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas,**

Sr. Monteros Vizcaíno Lenin Andrés Ing. Villarreal Carlos

#### **Resumen.**

En este artículo se presentan los diferentes resultados alcanzados en la investigación realizada en el diseño y construcción de un horno mufla para la realización de los diferentes tratamientos térmicos en aceros.

Para la construcción de este horno mufla, se utilizó materiales, como: ladrillo refractario, lana de vidrio, mortero refractario y chapa metálica; con estos materiales, se logró construir una cámara de paredes delgadas cumpliendo con los requerimientos necesarios con respecto al mantenimiento y operación requeridos en el calentamiento de probetas normalizadas para la realización de tratamientos térmicos en aceros.

Los elementos eléctricos y electrónicos utilizados para su manejo y operación, son: el controlador de temperatura; que permite visualizar la temperatura máxima de calentamiento de la cámara que se desea alcanzar en los diferentes procesos, y la temperatura a la que se encuentra la pared en el interior del horno en cada instante de tiempo, una termocupla tipo K para censar la temperatura en sus paredes internas, y una resistencia eléctrica para el calentamiento del horno hasta su temperatura máxima.

Este horno mufla posee una potencia de 3,3 Kw , un voltaje de 220V bifásico, alcanza una temperatura de calentamiento máxima de 1050 °C en un tiempo de 40 minutos.

El trabajo desarrollado servirá como soporte bibliográfico para otras investigaciones sobre el tema que puedan presentarse en el futuro.

### **Conclusiones.**

El tipo de materiales para la construcción del horno se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y parámetros que se establecieron en su diseño. Se utilizó: ladrillo refractario JM23, mortero superaerofrax, lana de vidrio KAOWOOL, chapa metálica, un controlador de temperatura XMT612, una termocupla tipo K, y una resistencias de hilo kanthal.

El calor transmitido hacia las paredes externas del horno está dentro de los parámetros considerados en su diseño, alcanzando una temperatura muy baja alrededor de 50°C, es así que evitara sufrir quemaduras a los operarios.

1.5.2. Diseño, Construcción e Instalación de un Horno de Resistencias para Fundir minerales de Oro y Plata en la Ciudad de Iquitos.

Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

Facultad de Ingeniería Química

Para optar al título de Ingeniero Químico

Presentado por: Br Julia consuelo Mesia Chuquisuta, Br Adayd Tello Saavedra

Peru, Iquitos 2012

### **Resumen.**

La necesidad de buscar una metodología pendiente a fundir minerales como oro y plata nos ha llevado a considerar la posibilidad de realizar un estudio técnico, de todos estos minerales preciosos, la industria del oro necesita mejorar las perdidas en sus residuos para esto es necesario buscar un método que permita recoger lo máximo ya que es un materia muy deseado: para esto usaremos la tostación mediante el calentamiento eléctrico usando hornos de

resistencia eléctrica eléctricas, la tecnología del calentamiento por resistencia a mejorado notablemente en los últimos años:

- método de regulación de temperatura en resistencias, recintos interiores y cargas con amplia utilización de equipos informáticos.
- El gran número de cargas específicas ( $W/cm^2$ ) en las resistencias y en su emplazamiento en el horno ( $KW/cm^2$ ), lo que a permitido una velocidad de calentamiento y enfriamiento de las cargas perfectamente comparables o incluso superiores a los hornos de gas.
- El desarrollo de las resistencias de alta temperatura, de hasta  $1800\text{ }^{\circ}C$  a base de  $MoSi_2$ .

Por lo mencionado anteriormente, el excelente desarrollo de los hornos de calentamiento por resistencia y su amplia utilización en este sistema, aseguran que los trabajos a ser llevados a cabo en el equipo son producto de confianza, calidad y sobretodo seguridad del personal que lo manipule.

### **Conclusiones.**

Se alcanzando la temperatura deseada de  $1050\text{ }^{\circ}C$ , teniendo como máximo  $1150\text{ }^{\circ}C$  aproximadamente con rango de sensibilidad  $\pm 2\text{ }^{\circ}C$ , en la cámara interior del horno.

Se puede observar que la posición de las resistencias juega un papel importante, porque depende de ello para que la transferencia de calor sea uniforme.

Debido al uso de un controlador de temperatura digital, se puede dar lectura exacta y manipular la temperatura de manera precisa.

La temperatura requerida para el óptimo funcionamiento del horno tarda aproximadamente entre 50- 60 min en alcanzar los  $1050\text{ }^{\circ}C$  el cual se mantiene constante durante todo el proceso de fundición.

Se realizó pruebas utilizando la carga máxima en el interior del horno, que tiene la capacidad de 4 crisoles refractarios reportando resultados positivos y satisfactorios.

### 1.5.3. Diseño y Construcción de una Inyectora para Cera Ic – 6lb

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador

Facultad de Ingenierías Carrera de Ingeniería Mecánica.

tesis de grado previo a la obtención del título de tecnólogo con opción en diseño de máquinas herramientas

autor: juan gabriel aguirre mejia

Cuenca, Septiembre del 2016

#### **Resumen.**

El proceso de fundición "a la cera perdida" tiene sus orígenes en culturas milenarias que ya conocían sus ventajas y rendimiento. Este método ya era utilizado por los sumerios del valle del Indo en torno al año 2000 a.C.; posteriormente se extendió por el Oriente Medio e incluso llegó a China alrededor del año 1500 a.C. Todas las grandes civilizaciones de la Antigüedad, Egipto, Grecia, Roma, etc., se beneficiaron de sus excelencias y eficacia.

La técnica empleada en la actualidad en nuestros talleres, supone la conjunción de las estrategias utilizadas en civilizaciones milenarias y la aplicación de las más avanzadas propuestas tecnológicas de nuestro tiempo.

El proceso consta de muchas fases, y se caracteriza por una cáscara cerámica refractaria monolítica llamada "racimo", derivado de una forma especial central compuesta de uno o más modelos de cera obtenidos de la inyección de piezas en los oportunos moldes. La posibilidad de producción de pequeñas y grandes series ofrece al cliente una serie de ventajas técnicas y económicas

**Diseño:** Primero es identificar los elementos que se necesitan en la máquina para que cumpla con el trabajo, comenzamos con un crisol, en el cual reposará el material para ser calentado hasta cierta temperatura, un método de expulsión, diseñaremos la opción más simple para la

expulsión del material cumpliendo con las normas de seguridad; aparatos de medición, para medir y controlar la máquina y una estructura sólida de la inyectora, garantizando su seguridad y durabilidad.

**Capacidad:** En el Laboratorio de Fundiciones el uso que daremos a esta máquina es mínimo puesto que será de uso educacional, ubicado en un servicio de baja demanda, pero según la media de estudiantes por ciclo se necesitará mayor cantidad de materia prima, por lo tanto, según las normas la capacidad más baja es de 2 Lb. y la más alta es de 8 Lb. por lo tanto se escoge la media que es de 6 Lb.

El crisol es de una forma geométrica básica y regular, cilindro, sus dimensiones aproximadas serán de 150 mm, de diámetro y su altura 230 mm, que en cálculo geométrico nos ofrece capacidad para albergar las seis libras de material y un espacio adicional para seguridad de funcionamiento.

**Accionamiento:** Es el sistema que expulsaría al material calentado en el crisol hacia el exterior, en un principio se pensó en realizarlo de accionamiento manual, pero teniendo en cuenta la seguridad del operador y la rapidez de llenado que significa tiempo máquina – hombre, fue necesario un accionamiento automático, es simplemente introducir en el crisol una cierta presión neumática y de esa manera se expulsará el material.

El uso de la fuerza neumática es común en la mayoría de dispositivos automáticos debido a su facilidad de ejecución y bajo costo, su limpieza en el área de trabajo y bajo mantenimiento, es por eso que se adoptó este proceso.

**Calefacción:** El crisol deberá estar en contacto permanente a una fuente de calor, para que se cumpla un ciclo normal de trabajo, su calefacción será eléctrica transmitida por una níquelina debidamente colocada en la base del crisol, parecido a un reverbero eléctrico.

Las características técnicas de la instalación del sistema de calefacción se empatan con las propiedades de fusión de la materia prima como la parafina, cera de carnauba y ácido esteárico que se anotan en anexos, necesitaremos una temperatura de hasta 150°C, a pesar de que el controlador electrónico de temperatura tiene un rango de control de hasta 400°C que es el rango más bajo que existe en el mercado; el consumo eléctrico deberá ser de 110 v y la níquelina que se utiliza en la resistencia es un común repuesto para este tipo de elemento que se consigue en cualquier ferretería de la ciudad.

Sistemas de control: Puesto que los principales sistemas son dos, neumático y térmico, la máquina necesitará dos instrumentos de control que son:

**Regulador de presión:** Este instrumento contará con un regulador neumático de presión, un manómetro para registrar su presión y una válvula de desfogue para reducir percances por sobre presión. Cumplirá la labor de regular la presión que ingrese a la máquina con total seguridad.

**Controlador de temperatura:** Este instrumento será el encargado de controlar la níquelina de calefacción, para mayor seguridad y mejor resultados, ocuparemos un controlador de temperatura digital para tener la seguridad de una lectura confiable de la temperatura.

Mantenimiento: La máquina se construirá con el concepto de mantenimiento preventivo, de esta manera, sus partes y accesorios tendrán completa facilidad de desmontarse para así cumplir con cualquier arreglo ya sea preventivo o limpieza de la inyectora.

Con este objetivo, se tratará de utilizar uniones removibles como pernos, roscas y tornillos para evitar soldaduras y remaches.

Sus puntos más débiles y propensos a daños son el regulador de presión, el controlador de temperatura y la níquelina por lo que se recomienda su especial cuidado al momento de leer el manual de operación.

**Montaje:** Para montar todos los componentes de la Inyectora para Cera IC – 6Lb, nos remitimos a los dibujos de conjuntos y particulares, en los cuales constan como conjunto principal a la Inyectora para Cera, después la Pipeta de Inyección, la Carcasa de la Inyectora y el Crisol de la Inyectora.

### **Conclusiones.**

**La Inyectora para Cera IC – 6Lb**, es un instrumento prioritario en el Taller de Fundición en la Universidad, con la construcción de ésta máquina se cumple un paso más en la calidad de trabajo para las prácticas en el taller; variables de trabajo serán optimizadas con la inserción de esta herramienta en el laboratorio; ahorro de tiempo es uno de ellos, ahora las practicas serán mucho más rápidas y con la participación de todos los estudiantes; mejor experiencia con las mezclas de ceras es otro punto, en esta inyectora el uso de diferentes materiales para inyectar será su principal propósito; mejor calidad en los productos de inyección, por su facilidad y limpieza en el proceso de inyección, la calidad de terminado en los moldes será superior.

La Inyectora para Cera IC – 6Lb, es una clara demostración que se puede construir una máquina con calidad y superior en algunas cualidades a sus similares construidos en otros países. Para el diseño de ésta máquina, también se demostró que siempre existen alternativas de construcción, no siempre lo diseñado anteriormente es la última palabra y cada vez que desarrolle un plan de trabajo, hay que realizar un estudio de mercado, una comparación de precios y estimar según la conveniencia del fabricante sobre todo en el sentido tiempo y costo. Para diseñar esta máquina, primero fue necesario conocer otras máquinas ya existentes en el mercado, en los talleres y conocer sus características; luego diseñar una máquina de iguales condiciones y con una mejora más, caso contrario sería un trabajo con un bajo aporte investigativo; el aporte que se realizó en la Inyectora para Cera IC – 6Lb a diferencia de sus similares es que cuenta con un controlador electrónico digital, que aparte de ser bastante

exacto en el campo de manejar temperaturas, nos brinda la posibilidad de conocer la temperatura que existe dentro del Crisol, dato importante para realizar el trabajo de inyección de cera.

Construir la máquina fue un proceso muy simple, después de eliminar algunos elementos de fundición su ejecución fue normal, los materiales principales fueron discos de diámetro 250 mm, y cortes de plancha de 5 mm, de espesor para su crisol y carcasa, ejes de bronce para la pipeta de inyección y elementos normalizados como acoples neumáticos, cajetín eléctrico, bisagra, pernos, tornillos, regulador de presión marca “Festo”, regulador electrónico de temperatura marca “Camsco” y material eléctrico. Los procesos de trabajo se realizaron en torno, fresadora, roladora, cizalla y suelda.

#### **1.6. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo experimental para demostrar cómo el conocimiento y la aplicación del diseño y fabricación del módulo de casting para joyería contribuye en la producción y calidad de joyas mediante las máquinas del módulo de fabricación en la ciudad del cusco.

#### **1.7. Diseño de investigación**

La precisión u profundidad, así como el éxito de los resultados de la investigación dependen de la elección adecuada del diseño de investigación. La figura 1.1, muestra un esquema al diseño de la de investigación.

Para el diseño de la investigación experimental.

Cada tipo de diseño posee características particulares por lo que cada uno es diferente a cualquier otro y no es lo mismo seleccionar un tipo de diseño que otro. La eficacia de cada uno de ellos depende de si se ajusta realmente a la investigación que se esté realizando y los diseños experimentales son propios de la investigación cuantitativa. (I.U.T.A, s.f.)

Figura 1 -1

*Diseño de la investigación experimental*



X1= Diseño y Fabricación    Y1= Eficiencia operacional

El nivel de la investigación es experimental, se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio, el objetivo se centra en controlar el fenómeno a estudiar, emplea el razonamiento hipotético-deductivo; Emplea muestras representativas, diseño experimental como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos se trata de explicar cómo mediante la manipulación y las pruebas controladas se puede entender los procesos causales, productivos, industriales, etc. El control adecuado es el factor esencial del método utilizado, la ley de la variable única debe cumplirse en toda situación experimental, esta investigación se presenta mediante la manipulación de una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular En general, una o más variables son manipuladas para determinar su efecto sobre una variable dependiente, para el método experimental es un proceso sistemático y un aproximación científica a la investigación en la cual el investigador manipula una o más variables y controla y mide cualquier cambio en otras variables.

## 1.8. Hipótesis

### 1.8.1. Hipótesis general

El diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería incide en la eficiencia operacional.

### 1.8.2. Hipótesis específicas

- 1.- El desarrollo de los cálculos de ingeniería nos permite un buen diseño de los componentes del módulo de casting para joyería.
- 2.- El nuevo diseño de casting para joyería tiene mayor productividad y calidad en el producto.

### 1.9. Variables

#### 1.9.1. Independiente

Diseño y Fabricación

#### 1.9.2. Dependiente

Eficiencia operacional.

### 1.10. Indicadores

#### 1. Cálculos

Pérdida de calor en las paredes (kw).

Potencia por máquina en (kw).

Resistencia mecánica de componentes de cada máquina (N/cm<sup>2</sup>).

#### 2. Planos

Tamaño de la máquina (cm).

Dimensiones de conductor eléctrico (mm).

#### 3. Materiales

Acero estructural ASTM A36/A36M (kg)

Ladrillo refractario JM23 125 0.5L

Resistencia eléctrica (Nicrom 80-20)

#### 4. Preparación de materiales

Corte y, Plegado,

Maquinado, **Ensamblado, Instalación eléctrica**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Horno que se encuentran en el mercado internacional**

##### **2.1.1. Horno para Laboratorio Dental Joyería Fundición de Metal**

Empresa importadora Olbax

Equipos de calefacción de laboratorio, dental, joyería, fundición de metal.

Temp. Rang (C): 1000

Tamaño exterior (mm): 640\*490\*630 (mm)

Tipo: Horno de mufla

Voltaje: 220 V 50Hz

Sistema de control: PID microordenador

Potencia (kw): 4

Estructura del producto y la ventaja

1) cámara: hacer ignífugo compuesto capa ligera de fibra de cerámica, el interior de acero resistente al calor en forma fija, el exterior de fibra de silicato de aluminio capa de aislamiento a prueba de Fuego, capa y capa de aislamiento de 200mm, el espesor total de horno eléctrico proporciona un excelente efecto de conservación del calor. Estructura de la cámara puede ser resistente los choques térmicos, es adecuado para el horno eléctrico necesita alta temperatura para abrir la puerta. Bajo condición de alta templadas frecuentes

abrir la puerta, la sala no deformación y agrietamiento, el horno es durable, no hay peligro de colapsar Todo fibra de estructura de la cámara, reducir en gran medida el peso del horno.

Forro de fibra de almacenamiento de calor debido al menor coeficiente de conductividad térmica es de sólo 0.8. En comparación con el tradicional horno refractario, es la velocidad de calentamiento rápido, ahorro de energía efecto es notable

2) tres superficie de calentamiento, la radiación térmica, para formar un campo uniforme de la temperatura en la cámara, la uniformidad de la temperatura  $\pm 5$  °C. para evitar la temperatura irregular campo grieta causada por defectos de recocido de la pieza de trabajo, recocido inconsistente.

3) estructura del horno: shell doble con ventilador de refrigeración, ventilador incorporado y el conducto de aire, para asegurar la estructura del horno de temperatura de la superficiees inferior a 60 grados. (olbax, s.f.)

*Fotografía 2.1*

*Horno para Laboratorio Dental Joyería Fundición de Metal importado por la Empresa Olbax*



### **2.1.2. Horno Mic fabricado por hornos de valle s.a.**

Horno eléctrico | Horno para joyería | Horno para la cera perdida | Horno para micro fusión |

Horno para protésicos dentales

Horno eléctrico para realizar trabajos de micro fusión a la cera perdida para joyería y protésicos dentales.

Diseñado para producciones diarias. La situación del programador en el lateral del horno y la bandeja de recogida de cera a la vista permite trabajar con mayor comodidad y seguridad.

**Estructura:** indeformable, construida en chapa de acero plegada tratada con pintura epoxis.

**Puerta;** Con bisagra en el lado izquierdo aislada con fibra cerámica rígida de gran resistencia para un ajuste perfecto.

**Aislamiento;** colocado por toda la superficie de la cámara de calefacción. Montado con fibra cerámica rígida para asegurar un bajo coeficiente de transmisión de calor haciendo con ello que el rendimiento térmico sea el máximo.

**Resistencia;** fabricada con hilo kanthal. Está distribuida en tres caras colocadas en el interior de las placas refractarias que los proteja de los gases que emite la cera del micro fusión y de cualquier contacto con la carga. Resistencias ocultas tras el marco frontal, potencia calculada para conseguir un rápido calentamiento del horno.

**Cámara Calefacción;** placas refractarias fácilmente sustituibles. Temperatura máxima 1100°C.

**Chimenea;** tubo refractario situado en el techo.

**Cuadro Control;** para facilitar el uso el programador está colocado en un soporte en el lateral derecho del horno y conectado en la clavija a la estructura.

**Programador.** Incorpora un microprocesador marca pixsys mod. ATR-902 con 15 programas en memoria de 18 segmentos.

Cada programa consta de un tiempo de espera (puesta en marcha retardada) y se puede editar desde 1 hasta un máximo de 18 seg, cada segmento puede ser de rampa (subida o bajada) o de mantenimiento. Paro automático al final de la cocción.

Visualización del consumo total de cocción.

**Seguridad;** normativa CE. Directivas 2004/108/CE-2006/95/CE

**Servicio:** Horno de fabricación nacional, disponible de un sistema de mantenimiento y un amplio stock de repuestos originales garantía un año. (valle, s.f.)

*Fotografía 2.2*

*Horno Mic fabricado por hornos de valle s.a.*



### 2.1.3. Descripción de un horno eléctrico de resistencia

Un horno de resistencia es un equipo que se calienta a temperatura superior a la del ambiente para calentar materiales o piezas situadas dentro de un espacio cerrado. Con el calentamiento los metales y materiales se pueden ablandar, fundir y vaporizar. La energía calorífica requerida para el calentamiento de este horno se genera en la resistencia eléctrica dispuesta en el horno que se calientan por el efecto Joule y ceden calor por diversas formas de transmisión, el calentamiento por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas o indirecto cuando las piezas se calientan por radiación, convección o combinación de ambas.

Son evidentes algunas de las ventajas del calentamiento en estos hornos eléctricos de resistencias, y se señalan a continuación. Ausencia de humos de combustión, mejores

condiciones de trabajo alrededor del horno y ambientales, mayor seguridad del personal y posibilidad de mantener los hornos sin vigilancia fuera de las horas de trabajo por eliminación del peligro de explosiones. (CARPIO, 2014)

Además, es simple la utilización de las fibras cerámicas como aislamiento térmico, brindándonos gran elasticidad de funcionamiento y sencilla automatización de los mismos con un panel de control que nos ayuda en el control del tiempo de calentamiento y la temperatura del proceso. (CARPIO, 2014)

## **2.2. Recinto del horno**

### **2.2.1. Ladrillo refractario aislante**

El campo del aislamiento térmico de los hornos es reducir la pérdida de calor y conseguir unas condiciones ambientales de trabajo en el exterior suficientemente aceptables, las condiciones en el interior del horno sean capaces de resistir, humos aires de circulación, gases reductores, etc. En términos generales sean capaces de resistir reacciones químicas de los metales y no metales fundidos. Los ladrillos aislantes están compuestos de 20% de aserrín y 80% de arcilla y son de dos tipos: los usados para apoyar ladrillos refractarios, y los que se usan en lugar de los ladrillos refractarios regulares. La mayoría de los ladrillos usados para apoyo se hacen de tierra de diatomáceas, naturalmente porosa, y los del segundo tipo, usualmente llamados refractarios de peso ligero, son de composición similar a los ladrillos pesados, y deben su poder aislante al método de manufactura. (carlos; carlos)

Para la fabricación de ladrillos refractarios aislantes se utilizan arcillas y materiales de alta alúmina, y para conseguir la porosidad se le adiciona viruta de madera, polvo de corcho, cascara de arroz, carbón, etc. Luego se quema dejando un ladrillo ligero y sumamente poroso, o bien se provocan la formación de burbujas al moldear los ladrillos. Estos ladrillos refractarios de peso ligero pueden usarse con seguridad para temperaturas entre 1350 °C a

1600 °C, los ladrillos refractarios aislantes se caracterizan por su baja densidad, la cual les confiere una baja conductividad térmica. (carlos)

Esta propiedad los hace óptimos para ser empleados en hornos industriales donde el ahorro energético es una importante condición del diseño. (Anatolio Ernitz, 2000)

Pueden emplearse como revestimiento de trabajo de hornos, pero únicamente cuando no están sometidos a la abrasión, corrosión o erosión por metales fundidos, escorias o gases a altas velocidades. (Anatolio Ernitz, 2000)

Las características de los ladrillos refractarios aislantes se muestran en el ANEXO C.

### **2.2.2. Manta de fibra cerámica**

La manta de fibra cerámica se puede asumir a un silicato de alúmina anhidro con ligeras inclusiones de diferentes óxidos. Se fabrica con cuarzo, caolín, pequeños porcentajes de óxido de circonio y alúmina. Una vez que se tiene los materiales con los que fabricará la fibra cerámica, es necesario fundirlos a temperaturas que oscilan entre los 1500 °C a 1800 °C esta variación en la temperatura depende del porcentaje de alúmina que esté presente en el proceso de fundición. (QuimiNet , 2011). Entre las características de la fibra cerámica se encuentran: soportan el choque térmico, reducen pérdidas de calor a altas temperaturas y tienen muy baja conductividad térmica. Las mantas cerámicas o manto de fibra cerámica son materiales livianos y ofrecen excelente resistencia a las agresiones químicas salvo al ácido fosfórico, fluorhídrico y bases fuertes, y se presentan en distintos espesores y de baja densidades, además. al ser mantas fabricadas directamente con fibras cerámicas, ofrecen las siguientes ventajas: alta recuperación de las propiedades térmicas y físicas después de mojado con agua y aceite, tienen alta resistencia a la corrosión, nivel de reflexión del calor alto, absorben el sonido, resiste muy bien la manipulación, almacenan muy poco calor; al igual que las fibras, tienen muy baja conductividad térmica, y baja densidad, se fabrican con alto grado de pureza

química, resisten muy bien el choque térmico. Las aplicaciones del manto de fibra cerámica o manta cerámica suelen estar relacionadas con procesos en los que se requiere alta resistencia al calor. Sus usos más comunes son: como aislamiento que soportan altas temperaturas, revestimiento y sellado de puertas de hornos, revestimiento interno de las paredes de hornos, sellado de tapas de hornos, paredes de calderos, ductos calientes, chimeneas y hornos industriales, especificaciones técnicas del manto cerámico en el ANEXO D.

### 2.3. Pérdidas de calor

La pérdida de calor esta en relación directa con el recinto del horno y los materiales refractarios y aislantes utilizados, se clasifican en:

1. Pérdidas de calor a través de las paredes.
2. Pérdidas por el calor almacenado en el revestimiento.
3. Pérdidas por puentes térmicos, cuando en un aislante se coloca materiales de mayor conductividad térmica pero de poca sección.
4. Pérdidas por aberturas, ranuras, etc., que se presentan en puertas, ejes de ventilador, juntas de vigas, dinteles de separación entre zonas, etc.
5. Pérdidas de calor por elementos refrigerados por agua.
6. Pérdida por infiltración de aire. (uniovi.es, s.f.)

#### 2.3.1. Transferencia de calor por las paredes

Los aislamientos utilizados en hornos industriales pueden adoptar la forma de pared en el cuerpo del horno, la pared cilíndrica en tuberías y de pantalla de radiación en hornos de **vacío**. (uniovi.es, s.f.)

#### **Pared plana**

La transmisión de calor a través de un material es un fenómeno de transporte

Complejo debido a que al ser un sólido poroso intervienen en él, en mayor o menor grado, los tres mecanismos de transmisión de calor:

- CONDUCCION (En el sólido y en el gas encerrado en los poros)
- CONVECCION (En el gas).
- RADIACION (En el gas)

La ley fenomenológica que rige la conducción del calor fue propuesta por el físico y matemático francés J.B. FOURIER, en la Figura 2.1 se muestra una pared plana de área  $A$  y espesor  $L$ , cuya cara en  $x = 0$  se mantiene a la temperatura  $T_1$ , mientras que el lado en  $x = L$  se mantiene a  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ).

El flujo de calor  $Q$  (J/s) a través de la pared se efectúa en la dirección de la disminución de la temperatura. La ley de Fourier establece que, la densidad de flujo de calor,  $q$ , (Cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo, ( $W/m^2$ )), viene dada por: (uniovi.es, s.f.)

$$\frac{Q}{A} = q = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

Dónde:

$T$ = Temperatura local (K o °C)

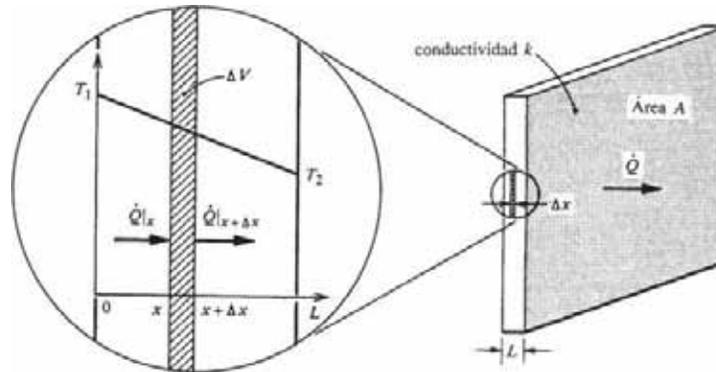
$x$ = Coordenadas de la dirección del flujo (m)

$k$ = Conductividad térmica de la sustancia ( $W/m \cdot K$ )

La conductividad térmica es un parámetro que depende del tipo de material (depende de manera crucial de su estructura microscópica) y de la temperatura y representa la cantidad de calor conducido por unidad de tiempo a través de la unidad de área (Perpendicular a la dirección del transporte de calor) cuando el gradiente de temperatura a través del elemento conductor del calor es la unidad. (uniovi.es, s.f.)

Figura 2-1

Conducción unidimensional a través de pared plana



Reordenando e integrando la ecuación de FOURIER sobre el espesor de la pared se tiene:

$$q \int_0^L dx = - \int_{T_1}^{T_2} k dT$$

Donde  $q$  y  $A$  se han sacado de la integral porque son constantes, si ignoramos la variación de  $k$  con la temperatura, obtenemos:

$$q = \frac{\kappa}{L} (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{L/\kappa} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{ter}}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{ter}}} \quad (2-2)$$

La comparación de la Fórmula 2-2 con la ley de Ohm,  $I = \frac{\Delta V}{R}$ , sugiere que  $\Delta T = T_1 - T_2$  puede verse como un potencial impulsor del flujo de calor, así como el voltaje es el potencial impulsor de la corriente eléctrica.

Entonces  $R_{\text{ter}} = \frac{L}{k}$  puede considerarse como una resistencia térmica análoga a la resistencia eléctrica.

Si tenemos una pared compuesta por dos placas de material, como se muestra en la Figura 2.2 el flujo de calor a través de cada placa es igual: (uniovi.es, s.f.)

$$q = \frac{T_1 - T_2}{L_A/k_A} = \frac{T_1 - T_3}{L_B/k_B}$$

Reordenando:

$$q \left( \frac{L_A}{k_A} \right) = T_1 - T_2$$

$$q \left( \frac{L_B}{k_B} \right) = T_1 - T_3$$

Sumando las ecuaciones anteriores se eliminan la temperatura de la inter cara  $T_2$ :

$$q \left( \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} \right) = T_1 - T_3$$

Es decir:

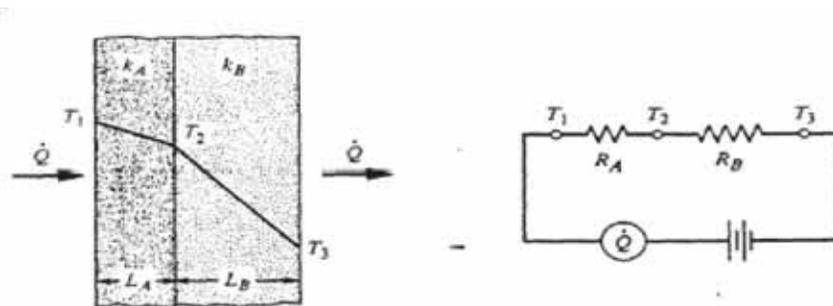
$$q = \frac{T_1 - T_3}{\left( \frac{L_A}{k_A} \right) + \left( \frac{L_B}{k_B} \right)} = \frac{\Delta T}{R_A + R_B} \quad (2-3)$$

Recurriendo a la analogía eléctrica veríamos este problema como un circuito térmico formado por dos resistencias en serie y se escribirá inmediatamente:

$$q = \frac{\Delta T}{R_A + R_B} \quad (2-4)$$

Figura 2-2

Distribución de temperatura a través de pared plana compuesta



Si se produce un movimiento de fluido, como invariablemente se verifica tanto en el caso de convección libre como forzada, las capas límite térmica y de velocidad resultante, hacen que se produzca una diferencia de temperatura entre la masa principal de fluido (que se encuentra esencialmente a temperatura constante) y la superficie. Así, la interface de separación entre dos medios, tal como la que existe entre la pared de un edificio y el aire, da lugar a la aparición de una nueva resistencia a la transmisión de calor, dispuesta en serie con el grupo de resistencias de tipo conductivo. (uniovi.es, s.f.)

Dicha resistencia que denominaremos resistencia superficial,  $R_s$  es igual a:

$$R_s = \frac{1}{h_g} \quad (2-5)$$

$$h_g = h_c + h_r \quad (2-6)$$

Donde siendo:

$h_g$  = Coeficiente Global ( $W/m^2k$ ).

$h_c$  = Coeficiente por convección ( $W/m^2k$ ).

$h_r$  = Coeficiente por radiación ( $W/m^2k$ ).

El mecanismo de transporte de calor por convección, al que no es aplicable la ley de Fourier, se presenta en el flujo de calor entre un fluido y un sólido, tanto desde el fluido al sólido, por estar el primero a mayor temperatura, como en sentido contrario si la temperatura del fluido es la menor. Es el mecanismo de transferencia de calor en todas aquellas operaciones de transporte de calor en fluidos. En esta modalidad se produce transporte de materia. (uniovi.es, s.f.)

El proceso real de la transmisión de energía de una partícula o molécula del fluido a otra, sigue siendo un proceso de conducción, pero la energía se transporta de un punto a otro del

espacio merced al desplazamiento del propio fluido (Movimiento del medio), bien por medio de las variaciones de densidad o bien por medios artificiales. En este sentido, un sólido en movimiento también puede transportar energía calorífica por convección. Es virtualmente imposible observar la conducción de calor de un punto a otro en el seno de un fluido, ya que tan pronto como exista una diferencia de temperatura en él, se producirán corrientes de convección como consecuencia de la diferencia de densidades. (uniovi.es, s.f.)

El transporte de calor mediante este mecanismo estará influenciado por la libertad de movimiento del fluido y por su densidad, así cuanto más denso y más libertad de movimiento tenga el fluido más efectivo será el transporte de calor por este mecanismo. (uniovi.es, s.f.)

La dimensión, forma y orientación del cuerpo (huecos, poros, etc.) que contiene al fluido son factores que influyen sobre el transporte de calor por convección, así este puede controlarse o incluso eliminarse mediante la creación de pequeños cuerpos dentro de los cuales los gradientes de temperatura sean pequeños. En régimen de transporte estacionario la ley fundamental de la convección se conoce con el nombre de ley de enfriamiento de Newton: (uniovi.es, s.f.)

$$q = \frac{Q}{A} = h_c (T_s - T_f) = h_c \Delta T \quad (2-7)$$

En donde:

$h_c$  = "coeficiente de transmisión de calor por convección", o "coeficiente de película", o "conductancia térmica unitaria". Se trata de una conductancia térmica, y no de una propiedad del material. Sus unidades son (W/m<sup>2</sup>.K).

$T_s$  = Temperatura de la superficie sólida en contacto con el fluido.

$T_f$  = Temperatura del fluido alejado de la superficie.

Toda la materia y todo el espacio contienen radiación electromagnética. La partícula o cuanto de energía electromagnética es el fotón y la transferencia de calor por radiación puede considerarse tanto en función de ondas electromagnéticas como en función de fotones. Por tanto, el mecanismo de transmisión de calor por radiación no necesita medio de transporte y es el único que opera en el vacío. (uniovi.es, s.f.)

Una superficie negra (o cuerpo negro) se define como aquella que absorbe la totalidad de la radiación incidente sin reflejar nada. En consecuencia, toda la radiación que proviene de una superficie negra es emitida por dicha superficie y se expresa mediante la ley de Stefan – Boltzmann: (uniovi.es, s.f.)

$$J = E_{bn} = \sigma T^4 \quad (2-8)$$

Donde  $E_{bn}$  es la potencia emisiva del cuerpo negro,  $T$  es la temperatura absoluta (K) y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $\cong 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

El cuerpo negro es una superficie ideal. Las superficies reales absorben menos radiación que las superficies negras. La fracción de la radiación incidente que se absorbe se llama absorptancia (o absorptividad),  $\alpha$ . Un modelo muy usado para una superficie real es el de la superficie gris, definida como aquella para la cual  $\alpha$  es constante, independientemente de la naturaleza de la radiación incidente. La fracción de la radiación incidente que se refleja es la reflectancia (o reflectividad),  $\rho$ . Si el objeto es opaco, es decir, si no es transparente a la radiación electromagnética, entonces (uniovi.es, s.f.)

$$\rho = 1 - \alpha \quad (2-9)$$

Las superficies reales también emiten menos radiación que las superficies negras. La fracción emitida de la potencia de emisión del cuerpo negro,  $E_{bn} = \sigma T^4$ , se conoce como

emitancia (o emisividad) y se designa por  $\varepsilon$ . En una superficie gris el valor de  $\varepsilon$  también es constante, independientemente de su temperatura. (uniovi.es, s.f.)

Además, para una superficie gris la emitancia y la absorptancia son iguales, es decir:

$$\varepsilon = \alpha \quad (2-9)$$

Los valores de  $\varepsilon$  para superficies metálicas brillantes tienden a ser bajos, mientras que para superficies oxidadas o pintadas suelen ser altos

Si se transfiere calor entre dos superficies grises finitas, como muestra la Figura 2.3, la velocidad de flujo de calor dependerá de las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , y de las emitancias  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ , así como de la geometría. Es claro que una parte de la radiación que sale de la superficie 1 no incidirá sobre la superficie 2, y viceversa. Habitualmente es bastante difícil determinar la velocidad de flujo de calor. En general, podemos escribir: (uniovi.es, s.f.)

$$Q_{12} = A_1 F_{12} (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) \quad (2-11)$$

Donde  $Q_{12}$  es el intercambio neto de energía radiante (transferencia de calor) de la superficie 1 a la superficie 2 y  $F_{12}$  es un factor de transferencia, que depende de las emitancias y de la geometría. Para el caso particular en que la superficie 2 rodea a la superficie 1, y por lo tanto, el área  $A_1$  es pequeña comparada con el área  $A_2$ , y la superficie 2 es casi negra, entonces: (uniovi.es, s.f.)

$$F_{12} = \varepsilon_1$$

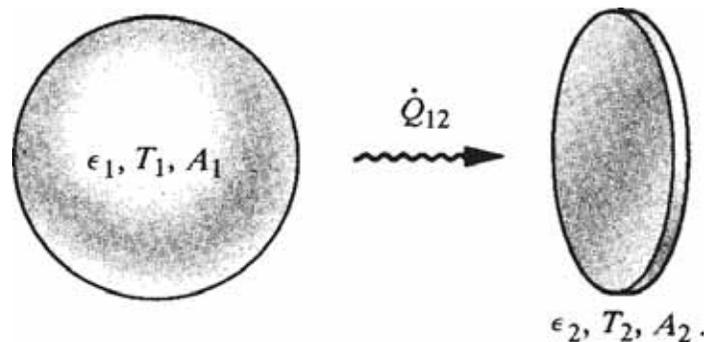
y la Fórmula (2-11) se convierte en

$$Q_{12} = A_1 \varepsilon_1 (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) \quad (2-10)$$

Se trata de un resultado importante, usado con frecuencia por los ingenieros para hacer estimaciones rápidas. Puede aplicarse a la situación común de un objeto pequeño en un medio ambiente grande y casi negro.

Figura 2-3

Transferencia de calor por radiación entre dos superficies grises finitas. (hector, s.f.)



El hecho de que la transferencia de calor por radiación depende de  $T^4$  vuelve complicados los cálculos en ingeniería. Cuando  $T_1$  y  $T_2$  no difieren demasiado, conviene linealizar la Fórmula (2-12) descomponiendo el término  $(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4)$  para obtener (hector, s.f.)

$$\begin{aligned} Q_{12} &= A_1 \epsilon_1 (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) \\ &= A_1 \epsilon_1 \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2) \quad (2-11) \\ &\cong A_1 \epsilon_1 \sigma (4T_m^3)(T_1 - T_2) \end{aligned}$$

Para  $T_1 \cong T_2$ , donde  $T_m$  es la media de  $T_1$  y  $T_2$ . El resultado anterior puede expresarse de manera más concisa como:

$$Q_{12} \cong A_1 h_r (T_1 - T_2) \quad (2-12)$$

Donde  $h_r = 4\epsilon_1 \sigma T_m^3$  es el coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ). A  $25^\circ \text{C}$  ( $= 298 \text{ K}$ ),

$$h_r = 4\epsilon_1 \sigma T_m^3 \quad (2-13)$$

$$h_r = 4\varepsilon_1(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(298 \text{ K})^3$$

$$h_r = 4\varepsilon_1(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(298 \text{ K})^3 \quad \text{o sea, } h_r \cong 6\varepsilon_1 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

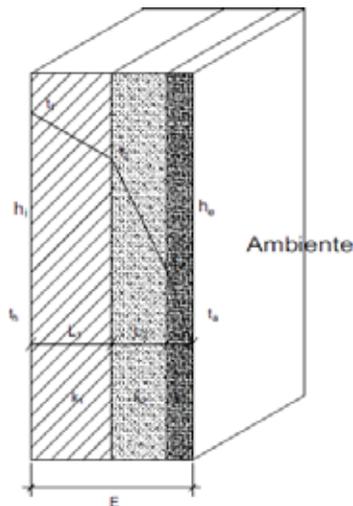
Este resultado es fácil de recordar: el valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación a temperatura ambiente es alrededor de 6 veces el valor de la emitancia de la superficie. Para  $T_1 = 320 \text{ K}$  y  $T_2 = 300 \text{ K}$ , el error debido al empleo de la aproximación de la ecuación (2-14) es sólo del 0.1% y para  $T_1 = 400 \text{ K}$  y  $T_2 = 300 \text{ K}$ , el error es del 2%.

En régimen estacionario la densidad de flujo de calor a través de la pared es constante, la pérdida de calor por paredes se detalla para: pared plana, las pérdidas de calor ( $q$ ) a través de las paredes planas, dependen fundamentalmente de las características de aislamiento de los materiales empleados, mientras que la transmisión de calor se realiza por conducción, a través de la pared, y por convección y radiación del exterior del horno al ambiente. Para una pared compuesta por dos capas (Figura 2.4) se aplica, en régimen permanente, la fórmula (Astigarraga, 1995)

(2-16)

Figura 2-4

Pared compuesta de tres capas



Fuente: (Astigarraga, 1995, p. 79)

$$q = \frac{\dot{Q}}{\bar{A}} \left( \frac{W}{m^2} \right) = \frac{T_h - T_a}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_e}} \quad (2-16)$$

Donde:

$q$  = Pérdidas de calor a través de las paredes planas.

$T_h$  = Temperatura en el interior del horno.

$T_a$  = Temperatura en el ambiente exterior.

$L_1, L_2, L_3$  = Espesores de las capas de aislamiento.

$k_1, k_2, k_3$  = Conductividades térmicas de los materiales.

$h_1$  = Coeficiente global por convección en el interior del horno.

$h_e$  = Coeficiente global por convección en el exterior del horno.

La transmisión de calor de la calderería exterior al ambiente se calcula por la expresión:

$$q_{ext} \left( \frac{W}{m^2} \right) = a(T_s - T_a)^{1.25} + 5.67\varepsilon \left[ \left( \frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2-15)$$

Dónde:

$T_s$  = Temperatura de la calderería exterior.

$T_a$  = Temperatura ambiente exterior.

$\varepsilon$  = Emisividad total de la calderería.

$a$  = Coeficiente que depende de la velocidad del aire. Para aire en calma se toma 2.71 para pared horizontal hacia arriba, 1.04 pared horizontal hacia abajo, y 2.09 pared vertical. Como valor medio se puede tomar  $a = 2.2$ .

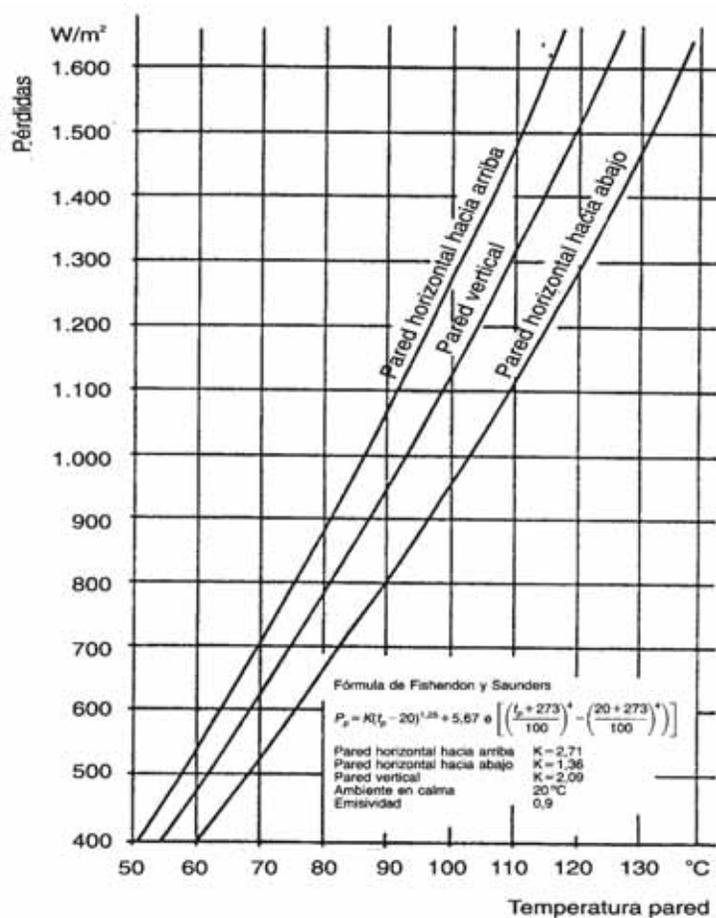
En la Figura 2-5 se dan los valores de  $p_p$  para  $\varepsilon = 0.9$  y  $T_a = 20^\circ\text{C}$  Cuando se trata de un horno existente, para calcular las pérdidas de calor a través de las paredes, se miden las

temperaturas exteriores de la calderería en varios puntos, se promedia adecuadamente y se aplica la expresión anterior. (Astigarraga, 2006)

Los aislamientos de paredes llevan, en la práctica, materiales adicionales que actúan como puentes térmicos aumentando sensiblemente las pérdidas de calor. Citaremos entre otros, varillas de sujeción de acero refractario, ejes de ventiladores de recirculación, tubos cerámicos y metálicos para termopares y terminales de resistencias, virolas de soporte de aislamiento y de grupos moto ventiladores, etc. (uniovi.es, s.f.)

Figura 2-5

Pérdidas de calor por paredes exteriores de hornos



En hornos grandes la superficie de pérdidas es la exterior, mientras que en hornos pequeños y medianos debe tenerse en cuenta el mayor efecto aislante de aristas y vértices, tomándose una superficie media

$$\overline{S_m = \sqrt{S_e S_i}} \quad (2-16)$$

Dónde:

$S_m$ : Superficie media de cálculo.

$S_e$ : Superficie exterior.

$S_i$ : Superficie interior.

## 2.4. Resistencias de calentamiento

### 2.4.1. Resistencias en base a aleaciones (Ni-Cr)

Entre los metales que ofrecen mayor resistencia al paso de la corriente eléctrica se encuentra el nicromo (aleación de níquel y cromo) la aleación tipo está compuesta de 80% de níquel y 20% de cromo. Es un tipo de alambre de color gris, ampliamente utilizado como resistencia fija o como resistencia variable (reóstato), para regular la tensión o voltaje en diferentes dispositivos eléctricos. (hugo, s.f.)

Es resistente a la corrosión, con punto de fusión cercano a 1400°C. Por su gran resistividad y su difícil oxidación a altas temperaturas, es ampliamente utilizado en elementos de calefacción eléctrica, así como en electrodomésticos y herramientas. Generalmente el nicromo se enrolla en bobinas por su resistencia eléctrica, y la corriente pasa a través de ella para producir calor por el efecto Joule. (uniovi.es, s.f.)

### 2.4.2. Resistividad eléctrica

La resistividad o resistencia específica es una característica propia de los materiales y tiene unidades de ohmios–metro, y nos indica que tanto se opone el material al paso de la corriente eléctrica. La resistencia específica ( $\rho$ ) (rho) se define como se ve en la formula. (Mayorquin, s.f.)

$R$  = resistencia eléctrica ( $\Omega$ )

$A$  = sección transversal ( $m^2$ )

$L$  = longitud (m)

Su valor cuantifica la fuerza con la que se opone un material dado al flujo de la corriente eléctrica y describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que un valor bajo indica que es un buen conductor. La resistividad no es un valor que se mantiene constante con la variación de la temperatura, la resistencia específica de los metales aumenta al aumentar la temperatura, al contrario de los semiconductores en donde este valor decrece. Los metales de resistencia baja, por ejemplo, el cobre, requieren mayores corrientes para producir la misma cantidad de calor. Los materiales de resistencia baja también exhiben una baja resistencia constante. En la Tabla 2.1 se presenta la resistividad térmica de las aleaciones Ni-Cr.

(uniovi.es, s.f.)

#### **2.4.1. Disposición de las resistencias Eléctricas terminales y conexiones**

Nos referimos exclusivamente a las fabricadas con aleaciones Ni-Cr las resistencias se disponen en una o varias de las siguientes superficies: paredes laterales, bóveda, solera y puertas. Cada una de ellas presenta sus particularidades en cuanto a soporte mecánico de las resistencias, posibilidades de ataque por cascarilla, tensiones mecánicas por dilataciones y compresiones, aislamiento eléctrico que se reduce en los productos refractarios cerámicos al elevar la temperatura. Consideraremos, por tanto, el conformado previo de las resistencias, los soportes cerámicos o metálicos en el interior del horno y los terminales de salida de las resistencias que atraviesan el aislamiento del horno, junto con las conexiones en la superficie exterior del horno para formar las diferentes zonas de regulación. (uniovi.es, s.f.)

Tabla 2-1

Resistividad térmica de aleaciones Ni-Cr

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20°C	112	119	113	105	104	95
100°C	113	120	114	108	107	99
200°C	113	122	116	111	111	103
300°C	114	123	118	114	114	107
400°C	115	124	120	117	117	111
500°C	116	125	122	120	120	115
600°C	115	124	121	122	122	118
700°C	114	124	121	124	124	120
800°C	114	124	122	126	126	122
900°C	114	124	123	128	128	124
1000°C	115	124	124	130	130	126
1100°C	116	125	125	132	132	126
1200°C	117	126	--	--	--	--
Coeficiente de resistividad						
20°C	1	1	1	1	1	1
100°C	1.009	1.009	1.009	1.028	1.029	1.042
200°C	1.009	1.025	1.027	1.057	1.067	1.084
300°C	1.018	1.034	1.044	1.086	1.096	1.126
400°C	1.027	1.042	1.062	1.114	1.125	1.168
500°C	1.036	1.05	1.08	1.143	1.154	1.21
600°C	1.027	1.042	1.071	1.162	1.173	1.242
700°C	1.018	1.042	1.071	1.181	1.192	1.263
800°C	1.018	1.042	1.08	1.2	1.211	1.284
900°C	1.018	1.042	1.089	1.219	1.231	1.305
1000°C	1.027	1.042	1.097	1.238	1.25	1.326
1100°C	1.036	1.05	1.115	1.257	1.269	--
1200°C	1.045	1.05	--	--	--	--

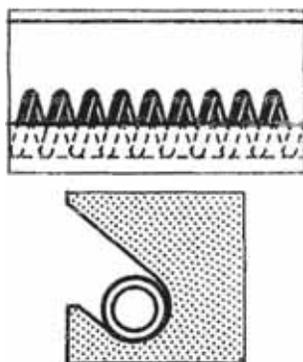
Fuente. Astigarraga, 1995, p.13

### 2.4.2. Disposición de resistencias de alambre

El alambre para la fabricación de resistencias en hornos es de uso más frecuente, es de 1 a 12 mm de diámetro, siendo posible elegir entre un gran número de diámetros normalizados. La disposición más frecuente es enrollar en espiral, sobre ranuras cerámicas, es una disposición muy antigua y económica, pero la resistencia no irradia libremente, por lo que debe calcularse para una menor carga específica. Las ranuras en los ladrillos refractarios deben ser amplias y suficientemente espaciadas para facilitar la radiación, pero cubriendo no menos del radio de la espiral. la presentación del alambre se muestra en la Figura 2.6, para tal efecto, los ladrillos refractarios aislantes, de peso ligero, pueden usarse con seguridad por que permiten tallar fácilmente las ranuras en las paredes del horno. (uniovi.es, s.f.)

*Figura 2-6*

*Alambre en espiral*



*Fuente: Astigarraga, 1995, p. 23*

### 2.4.3. La ley de Ohm— potencia

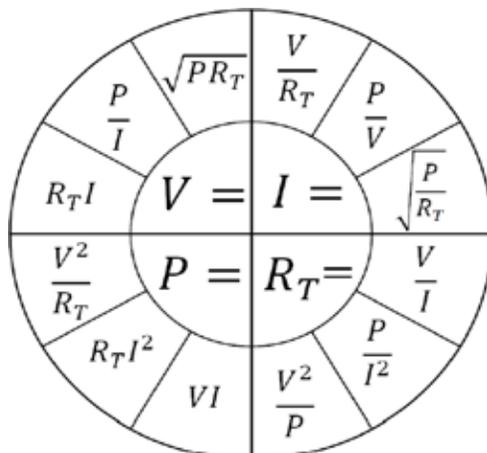
Las resistencias se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión  $V$ , la intensidad  $I$ , la resistencia eléctrica a temperatura  $R_T$  y la potencia  $P$  se deducen de la ley de Ohm. Que permite determinar todas las relaciones existentes entre dichas magnitudes. La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con

resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopte para las mismas. (uniovi.es, s.f.)

Las relaciones, V, I y P se muestran en la Figura 2.7

Figura 2-7

Relación entre la corriente, voltaje, resistencia y potencia



Fuente: (Sinha, 2016)

## 2.5. Cálculo de resistencias metálicas

La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopte para las mismas. La Figura 2.8, señala dicha potencia máxima para cuatro disposiciones típicas:

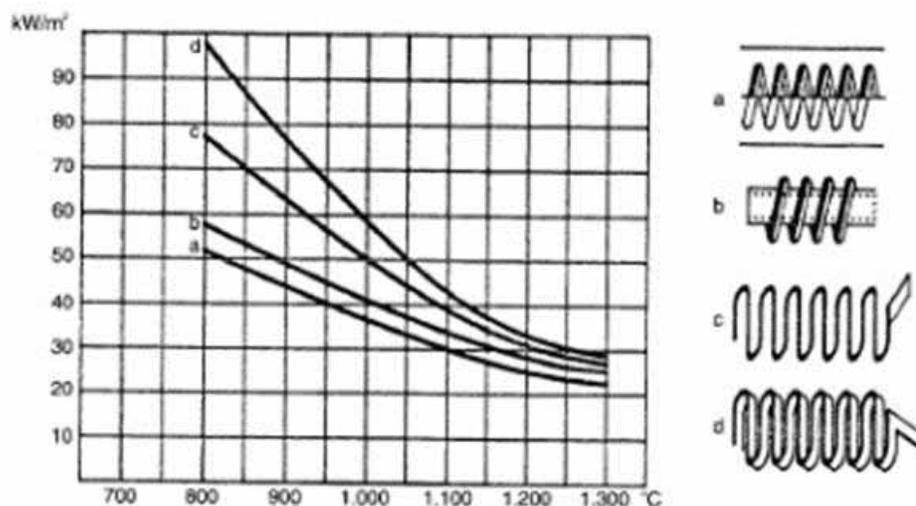
- Alambre arrollado en espiral o pletina ondulada sobre ranuras.
- Alambre arrollado en espiral sobre tubos cerámicos.
- Alambre ondulado y dispuesto verticalmente con soporte de gancho.
- Pletina ondulada y dispuesta verticalmente con soporte de gancho.

Si se conoce la potencia del horno, se puede determinar la superficie mínima requerida para instalar las resistencias. Si es posible, se dispondría únicamente en las paredes laterales pero,

si es necesario, se ampliaría a otras superficies (bóveda, solera, puerta, etc.) hasta conseguir la requerida. (uniovi.es, s.f.)

Figura 2-8

Potencia específica máxima en hornos



Fuente: Astigarraga, 1995, p. 34

Las fórmulas generales que permiten calcular las resistencias son:

1. Resistencia eléctrica a 20°C de longitud 1 cm

$$R_{20} = \rho \frac{4L}{\pi d^2} \quad (\Omega) \quad (2-17)$$

Alambre de diámetro d (cm)

Donde

$\rho$  es la resistividad ( $\Omega \cdot m$ )

2. Resistencia eléctrica a la temperatura T (°C) de las resistencias:

$$R_T = C_t R_{20} \quad (\Omega) \quad (2-18)$$

Dónde  $C_t$  coeficiente de resistividad de las aleaciones Ni- Cr. de la Tabla 2.1

3. Superficie radiante de la resistencia

$$A_c = \pi d L \quad (\text{cm}^2) \quad (2-19)$$

Un dato fundamental en las resistencias es la carga específica que, para unas condiciones de disposición de las mismas, determina la diferencia de temperatura entre las resistencias y la carga a calentar en el interior del horno. Para las mismas disposiciones se indica, en la Figura 2.9, la carga específica en función de la temperatura del horno para la aleación Ni-Cr (80-20), que es la más utilizada en los hornos de alta temperatura. Se deduce que: (uniovi.es, s.f.)

$$P = A_c p \quad (\text{W}) \quad (2-20)$$

Dónde  $p$  es la carga específica en  $\text{W}/\text{cm}^2$

1. En la fórmula :

$$P = \frac{V^2}{R_T}$$

$$P = \frac{V^2}{R_T} = \frac{V^2}{C_t R_{20}} \quad Y \quad P = p A_c$$

Para alambre de diámetro  $d$  cm:  $R_{20} = \rho \frac{4L}{\pi d^2}$  se tiene:

$$P = \frac{V^2}{C_t R_{20}} = \frac{V^2}{C_t \rho \frac{4L}{\pi d^2}} = \frac{\pi d^2 V^2}{C_t \rho 4L}$$

Tenemos  $A_c = \pi d L$  en:

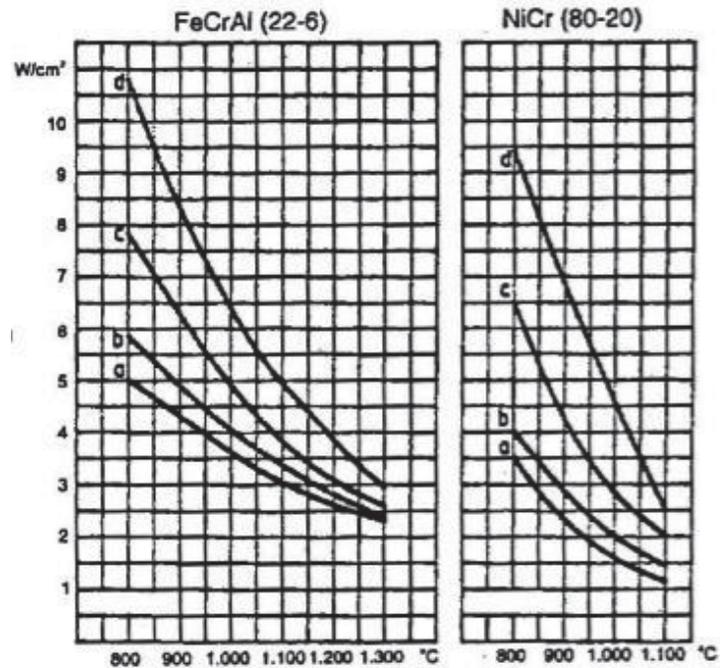
$$P = p A_c = p \pi d L$$

Despejando  $L$

$$L = \frac{P}{p \pi d}$$

Figura 2-9

Carga específica máxima de las resistencias



Fuente: Astigarraga, 1995, p. 34

Remplazando L en la formula

$$P = \frac{\pi d^2 V^2}{C_t \rho^4 L} = \frac{\pi d^2 V^2}{C_t \rho^4 \frac{P}{p \pi d}}$$

Luego:

$$P^2 = \frac{p d \pi^2 d^2 V^2}{C_t \rho^4}$$

Despejando el diámetro tenemos:

$$d = \frac{\sqrt[3]{C_t \rho^4 P^2}}{\pi^2 p V^2}$$

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 \frac{\rho C_t}{p}} \quad (2-21)$$

En hornos eléctricos es frecuente la conexión directa de las resistencias a la red a 220 o 380 V, lo que en circuitos en estrella o triángulo permite tener para cada rama de las resistencias 110, 220 o 380 V. para los diámetros y secciones más normales de resistencias se dispone de tablas para cada aleación y carga específica (función básicamente de la temperatura del horno y de la disposición de las resistencias adoptada) que indican la potencia, longitud requerida y peso de la resistencia a 110, 220 o 380V. (uniovi.es, s.f.)

### 2.5.1. Propiedades térmicas de los materiales

Las principales propiedades a considerar son:

**Calor específico (C):**

$$C = \frac{Q}{M\Delta T} \quad (2-22)$$

$$Q = MC \Delta T \quad (2-23)$$

$Q$  =Cantidad de calor

$M$  =Masa

$\Delta T$  = Variación de temperatura

Viene hacer la cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son J/ (kg· K), aunque también se suele presentar como kcal/ (kg ·°C); siendo 1 cal = 4,184 J. Por otra parte, el producto de la densidad de un material por su calor específico ( $\rho \cdot C$ ) caracteriza la inercia térmica de esa sustancia, siendo esta la capacidad de almacenamiento de energía. (Erika, s.f.)

**Conductividad térmica (k):** capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son  $W/m \cdot k$ , aunque también se expresa como  $kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$ , siendo  $1 W/ m \cdot k = 0,86 kcal/ h \cdot m \cdot ^\circ C$ . (Erika, s.f.)

**Difusividad térmica ( $\alpha$ ):** caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión: (Erika, s.f.)

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C} \quad (m^2/s) \quad (2-24)$$

$k$  = Conductividad

$\rho$  = Densidad

$C$  = Calor específico

En la Tabla 2.2 que se muestra a continuación se indican los valores que toman las propiedades térmicas de los materiales empleados en construcción, algunos de los cuales se utilizan como aislantes y de algunos elementos o sustancias de referencia.

### 2.1. Intercambio térmico de las resistencias con la carga en el calentamiento

El intercambio térmico en el interior del horno durante el calentamiento de la carga, se realiza fundamentalmente por radiación y convección. El estudio detallado de las leyes de transmisión de calor por radiación y convección del horno a la carga y por conducción en la carga, es bastante complejo y se sale del alcance de esta tesis, por lo que solo se explicaran los conceptos básicos, pero señalando las pautas de un cálculo suficientemente preciso para su aplicación en hornos eléctricos. (uniovi.es, s.f.)

Tabla 2-2

Propiedades físicas y térmicas de los materiales

<b>Propiedades físicas y térmicas de materiales de construcción y aislantes</b>				
Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg)	Conductividad térmica (W/m·K)	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s) (x10 <sup>-6</sup> )
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06
Acero inoxidable	8000	460	16.3	4,44
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Arcilla refractaria	2000	879	0,46	0,261
Baquelita	1270	900	0,233	0,201
Bronce	8000	360	116-186	40,28-64,58
Carbón (antracita)	1370	1260	0,238	0,139
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Caucho butadieno	980	1000	0,25	-
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Granito	2750	873	3	1,303
Vidrio	2700	833	0,81	0,360
Yeso	1800	837	0,81	0,538

Fuente (Tancredí Diego, 2011) pag 1

## Radiación

De acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann la energía total emitida por una superficie A, a una temperatura T por unidad de tiempo viene dada por la expresión:

$$P = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T + 273)^4 \quad (2-25)$$

Dónde:

P: (w).

A: Superficie (m<sup>2</sup>).

$\varepsilon$ : Emisividad total de la superficie A.

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>).

T: Temperatura (°C).

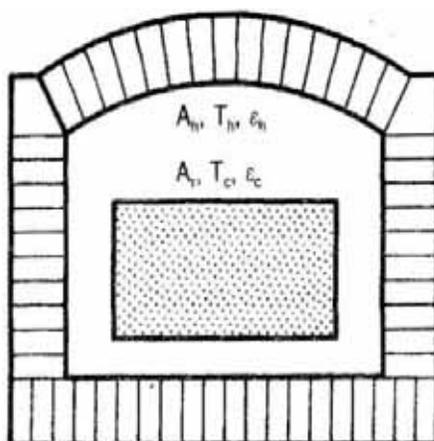
Si  $\varepsilon=1$ , se denomina cuerpo negro, que absorbe todo lo que sobre él incide.

En general, la absorptividad de una superficie (la energía absorbida respecto al incidente) depende de las características de la superficie y de la calidad (temperatura) de la radiación incidente. En la práctica se considera el concepto de superficie gris que tiene una emisividad  $\varepsilon$  y una absorptividad  $\alpha$  que depende de la radiación incidente. Se demuestra en las leyes de Kirchhoff que  $\varepsilon = \alpha$ . Finalmente, se precisa añadir el concepto de superficie refractaria (las paredes sin resistencias se pueden considerar como refractarias), que reemite todo lo que sobre ella incide, como se muestra en la figura 2.10. (uniovi.es, s.f.)

Al referirse al recinto de la Figura 2.10, que representa esquemáticamente una carga de superficie Ar en el interior del horno Ah a temperatura Tc y Th, el intercambio entre las dos superficies viene dado por la expresión 2-30 (uniovi.es, s.f.)

Figura 2-10

Recinto del horno, carga



Fuente: (Astigarraga, 1995, p. 102)

$$P_{hc} = A_r \cdot F'_{ch} \cdot \sigma [(T_h + 273)^4 - (T_c + 273)^4] w \quad (2-26)$$

El factor  $F'_{ch}$  se calcula por la expresión:

$$\frac{1}{F'_{ch}} = \frac{1}{\epsilon_c} + \frac{A}{A_h} \left( \frac{1}{\epsilon_f} - 1 \right) \quad (2-27)$$

Para la emisividad del horno  $\epsilon_f$  puede tomar el valor de 0.9. La emisividad de la carga varía para diferentes materiales metálicos de 0.1 a 0.8 queda:

$$\frac{1}{F'_{ch}} = \frac{1}{\epsilon_c} + \frac{A}{A_h} 0.11 \quad (2-28)$$

Si  $A_r \ll A_h$ 

$$F'_{ch} = \epsilon_c \quad (2-29)$$

Si  $A_r \approx 0.5A_h$  (difícil de superar en hornos): $\epsilon_c$  = Emisividad de la cargaPara  $\epsilon_c = 0.2$   $F'_{ch} = 0.198$ Para  $\epsilon_c = 0.8$   $F'_{ch} = 0.766$

Es decir, el factor  $F_{ch}$  es igual o ligeramente inferior a la emisividad de la carga ( $\epsilon_c$ ). Para una emisividad media del horno de 0.9 la influencia de la relación de superficies  $A_r/A_h$  no supera el 10%. (uniovi.es, s.f.)

## 2.2. Cálculo del tiempo de calentamiento

El conocimiento de la evolución de las temperaturas del horno y de la carga, durante el calentamiento, es fundamental. En muchos casos se establece una temperatura de regulación del horno, y en tanto la temperatura del horno como la de la carga, siguen una evolución que aprovecha al máximo la potencia del horno disminuida en las pérdidas de calor, hasta que el horno alcanza la temperatura de regulación.

A continuación, la regulación reduce la potencia media conectada y el calentamiento de la carga se realiza a menor velocidad al disminuir el gradiente de temperaturas entre el horno y la carga, hasta que esta llega a la temperatura de regulación. A partir de este momento la potencia absorbida por las resistencias se emplea básicamente en compensar las pérdidas de calor del horno. Véase la Figura 2.11.

Sin embargo, se tiene que tener en cuenta que para cargas de fuerte densidad o de grandes dimensiones, si la capacidad de absorción de calor de la carga es inferior a la potencia absorbida por las resistencias en la primera y segunda fases anteriores, hace que se establezca una temperatura superficial y otra interior de la carga, definiéndose una tercera fase en el calentamiento hasta que el interior de la carga ha llegado a la temperatura de regulación. (uniovi.es, s.f.)

En ocasiones, la carga y el horno siguen una regulación a programa, variando la temperatura de regulación del horno en escalones y/o a velocidad previamente establecida.

Cuando el calentamiento se realiza por radiación, la energía absorbida por la carga (en un principio no limitada por la propia carga), en un incremento de tiempo  $\Delta t$  a partir del instante  $t$ , viene dado por la expresión:

$$E_a = \{A_r \cdot F_{ch} \cdot \sigma [(T_h + 273)^4 - (T_c + 273)^4]\} \cdot \Delta t \quad W/h \quad (2-30)$$

Donde:

$A_r$ : superficie de la carga para la radiación.

$F_{ch}(\cdot)$ : Factor de forma y emisividad para la radiación.

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann.

$T_h$ : Temperatura del horno en el instante  $t$ .

$T_c$ : Temperatura de la carga en el instante  $t$ .

$\Delta t$ : Incremento de tiempo en horas.

En la primera fase de calentamiento hasta  $T_1$  las temperaturas  $T_h$  y  $T_c$  aumentan en el horno, desde la temperatura inicial del horno al terminar la carga y cerrarlo hasta la temperatura de regulación, y en la carga, desde la temperatura ambiente de carga  $20^\circ\text{C}$  hasta una cierta temperatura de calentamiento. En la segunda fase de calentamiento, desde el instante  $t_1$  a  $t_c$  la temperatura del horno se mantiene en la de regulación, y la de la carga llega a la zona de regulación dentro de la banda de precisión de temperatura admitida ( $\pm\delta_r$ ). Todo lo anterior se refiere a un horno de funcionamiento intermitente. (uniovi.es, s.f.)

La energía absorbida ( $E_a$ ) por la carga, se emplea en aumentar su temperatura, se supone que la conductividad térmica es suficiente para admitir una misma temperatura en toda la masa de la carga la energía absorbida se verifica aplicando la fórmula 2-35

$$E_a = MC\Delta T_c \quad (2-31)$$

Donde:

M: masa de la carga en kg.

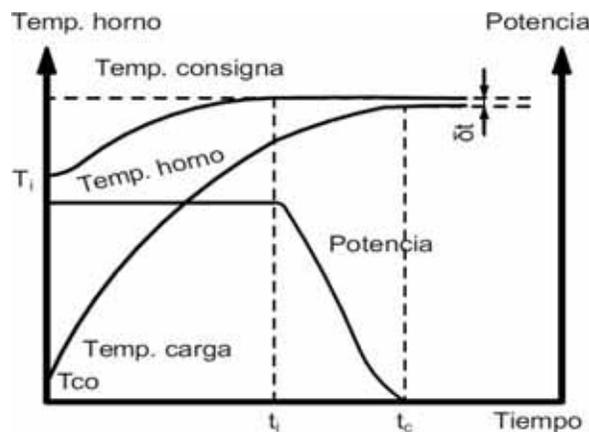
C: calor específico de la carga en Wh/k·K si viene dado en KJ/kg·K la equivalencia es:

$$1\text{Wh/kg}\cdot\text{K} = 3.6\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$\Delta T_c$ : incremento de la temperatura de la carga.

Figura 2-11

Temperaturas de carga, horno y potencia absorbida por la carga



Fuente: (Astigarraga, 1995, p. 126)

### 2.3. 2.8.1. Inyectora de Cera que se encuentran en el mercado internacional

#### 2.3.1. Inyectora de Cera m1500 para Joyería

La inyectora de cera es un recipiente de aluminio que se calienta eléctricamente de manera controlada al cual se le aplica presión de aire para forzar a la cera derretida a salir por las válvulas o picos cuando estas son presionadas. Inyectora M1500 S\* Recipiente de cera de Aluminio Fundido.\* Controlador analogico.\* Pintura EPOXI de Primera Calidad.\* 1 Pico para inyección + Guía de Derrame. INFORMACIÓN TÉCNICA\* Medida Salt. | 440mm.Diámetro | 220mm.\* Capacidad | 1500 cc.\* Peso | 8.7 Kg.\* Potencia | 770 W . 220 V Controlador analógico

## Fotografía 2.3

*Inyectora de Cera m1500 para Joyería*



### 2.3.2. Máquinas de Fundición de Joyas Mini Inyección de Cera 3kg Inyector de Cera

#### Azul

Descripción general

Detalles rápidos

Marca: HAJET

Número de Modelo: HJ-60B

Lugar del origen: Guangdong, China

Tipo de herramientas y equipamientos de joyería: Wax Injector

Name: New Jewelry Wax Injector

Voltage: 220V 50/60hz

Power: 450W

Max. Temp: 110°C

Wax Capacity: 3kg

Dimension: 320\*280\*480mm

MOQ: 1pc

Warranty: 12 Months

Weight: 7kg

Quality: Superior

*Fotografía 2.4*

*Máquinas de Fundición de Joyas Mini Inyección de Cera 3kg Inyector de Cera Azul*



### **2.3.3. Inyector de Cera para Joyería, Mini máquina de Inyección de Cera de 5.5lb,**

Nombre de la marca: Orfebre

Origen: CN (Origen)

Tipo de artículo: Material y herramientas de joyería

#### **Descripción del producto**

Inyector de cera 2,5 kg, máquina de inyección de cera para joyería 110-220v 500W,  
máquina de fundición de cera

#### **Característica**

1. Regulador de presión con válvula de seguridad. Nuestro inyector de cera cuenta con boquillas para inyección de cera. 2. Termostato nuestro inyector de cera utilizado es de alta precisión con un rango de 30-110 °C. 3. La Olla de cera interna del inyector de cera está hecha

de material especial de aleación de aluminio con buen rendimiento, se proporciona para un calentamiento rápido de la cera. Conductividad térmica rápida e incluso. Además, se lava fácilmente.

### **Características:**

Inyector de cera de 1.500W con tanque de 2,5 kg 2. Regulador de presión con válvula de seguridad 3. Tanque de aluminio para un calentamiento rápido de la cera 4. Conductividad térmica rápida e incluso

### **Especificaciones:**

Producto: inyector de cera voltaje: 110-220v, 50-60Hz potencia: 500W Capacidad del tanque de cera: 2,5 kg (5,51 lbs) precisión de la temperatura: +/-0,1 °C rango de visualización de temperatura: 30-110 °C rango máximo de aire comprimido: 0,30-0. 70mpa rango de tiempo de ajuste para vacío: 0-25 segundos rango de tiempo de ajuste para inyección de cera: Rango de tiempo de configuración de 0-25 segundos para calentar la máquina: 0-99 horas.

*Fotografía 2.5*

*Inyector de Cera para Joyería, Mini máquina de Inyección de Cera de 5.5lb,*



## 2.4. Descripción de una Inyectora

Las inyectoras de cera son sistemas que ayudan en el sector de joyería para el proceso de creación de una pieza. Las inyectoras de cera son las encargadas de calentar la cera que se utilizará en los talleres artesanales, no dejando que la cera hierva para no estropear el diseño final.

## 2.5. Leyes generales de los gases

### 2.5.1. Ley de Boyle.

“La Ley de Boyle-Mariotte o Ley de Boyle, formulada por Robert Boyle y Edme Mariotte, es una de las leyes de los gases ideales que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a temperatura constante. La ley dice que el volumen es inversamente proporcional a la presión:

$$PV = K \quad (2-32)$$

Dónde: K es constante si la temperatura y la masa del gas permanecen constantes.

Cuando aumenta la presión, el volumen disminuye, mientras que si la presión disminuye el volumen aumenta.

El valor exacto de la constante K no es necesario conocerlo para poder hacer uso de la ley. Si consideramos las dos situaciones de la figura, manteniendo constante la cantidad de gas y la temperatura, deberá cumplirse la relación:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (2-33)$$

Dónde:

$P_1$  = Presión Inicial

$P_2$  = Presión Final

$V_1$  = Volumen Inicial

$V_2 =$  Volumen Final

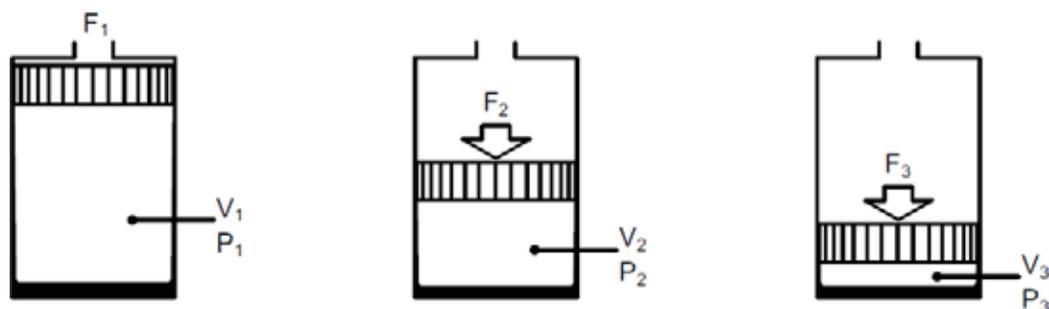
Esta ley es la simplificación de los gases ideales, particularizada para procesos isotérmicos.

(Aprende quimica. Blog spot, 2010)

Esta ley se demuestra mediante el siguiente ejemplo

Figura 2-12

Aplicación de las leyes de Boyle- Mariotte



Fuente: Aprendequimica.blogspot, 2010

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} \quad (2-34)$$

### 2.5.2. Ley de Gay-Lussac

“La ley de Gay-Lussac establece que la presión de un volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura.

Si el volumen de una cierta cantidad de gas a presión moderada se mantiene constante, el cociente entre presión y temperatura en (k) permanece constante” (wikipedia, 2016)

$$k_3 = \frac{P}{T} \quad (2-35)$$

Dónde:

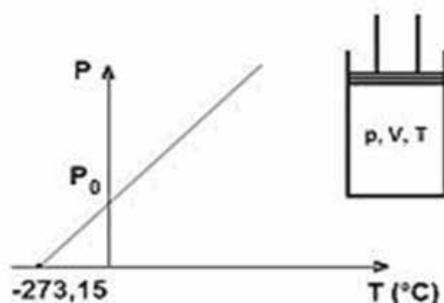
P = Presión

T = Temperatura constante (K)

$k_3$ = Constante de proporcionalidad

Figura 2-13

Representación gráfica, la pendiente de la recta es la constante



Fuente: Wikipedia

### 2.5.3. Descripción del comportamiento de los gases

“Para una cierta cantidad de gas, al aumentar la temperatura, las moléculas del gas se mueven más rápidamente y por lo tanto aumenta el número de choques contra las paredes por unidad de tiempo, es decir, aumenta la presión ya que el recipiente es de paredes fijas y su volumen no puede cambiar. Gay-Lussac descubrió que, en cualquier momento del proceso, el cociente entre la presión y la temperatura absoluta tenía un valor constante.” (wikipedia, 2016)

Supongamos que tenemos un gas que se encuentra a presión  $P_1$ , a temperatura  $T_1$  al comienzo del experimento. Si variamos la temperatura hasta un nuevo valor  $T_2$ , entonces la presión cambiará a  $P_2$ , y se cumplirá.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (2-36)$$

Dónde:

$P_1$  =Presión inicial

$T_1$  =Temperatura inicial

$P_2$  =Presión final

$T_2$  =Temperatura final

Que es otra manera de expresar la ley de Gay-Lussac.

Esta ley, al igual que la ley de Charles, está expresada en función de la temperatura absoluta.

Es decir, las temperaturas han de expresarse en grados k.

#### 2.5.4. Validez de la ley de gases ideales

“Estrictamente la ley de Gay-Lussac es válida para gases ideales y en los gases reales se cumple con un gran grado de exactitud sólo en condiciones de presión y temperaturas moderadas y bajas densidades del gas. A altas presiones la ley necesita corregirse con términos específicos según la naturaleza del gas. Por ejemplo, para un gas que satisface la ecuación de Van der Waals la ley de Gay-Lussac debería escribirse como:

$$\frac{P - P_0}{T} = \text{constante} \quad (2-37)$$

Término  $P_0$  es una constante que dependerá de la cantidad de gas en el recipiente y de su densidad, y para densidades relativamente bajas será pequeño frente a  $P$ , pero no para presiones grandes” (Baldini, 2015)

#### 2.5.5. El volumen del aire en función de la temperatura

Si la presión permanece constante y la temperatura se eleva 1 K, partiendo de 273, el aire se dilata a  $1/273$  de su volumen.

Esto demostrará la ley de Gay-Lussac.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2-38)$$

$V_1$  = Volumen a la temperatura  $T_1$

$V_2$  =Volumen a la temperatura  $T_2$

Donde:

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} \quad (2-39)$$

La relación de  $\Delta V = V_2 - V_1$

$$\Delta V = V_1 \frac{T_2}{T_1} - V_1 \quad (2-40)$$

Lo mismo vale para  $V_2 = \Delta V + V_1$

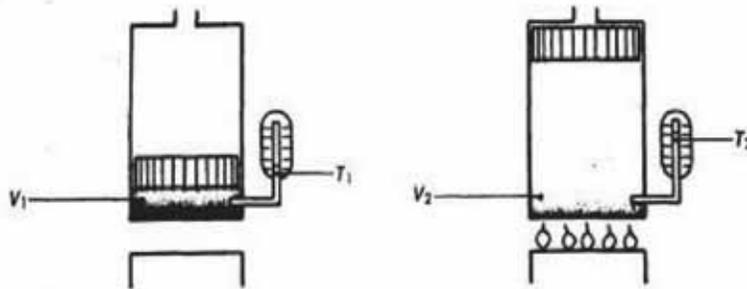
$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{T_1} (T_2 - T_1) \quad (2-41)$$

Las ecuaciones anteriores tienen validez únicamente cuando las temperaturas se indican en K.

Esto se puede entender mejor en la figura 2.14, los gases sometidos a temperatura, tienden a dilatarse y por lo tanto aumenta su volumen.

Figura 2-14

La variación entre el volumen y la temperatura en los gases



Fuente: Wikipedia

### 2.5.6. Presión total

“Los tubos y tanques pueden ser sometidos a una presión desde el interior o también desde el exterior, en el primer caso están sometidos al esfuerzo de tracción como se ve en la Figura 2.15 y en el segundo a compresión”. (Balanzá. Julio, 1993)

$$P = \frac{F}{S} \quad (2-42)$$

$P$  = Presión

$F$  = Fuerza total

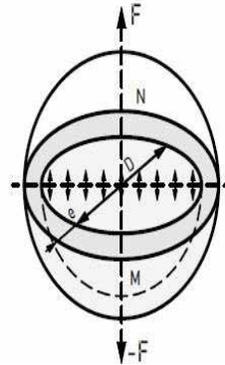
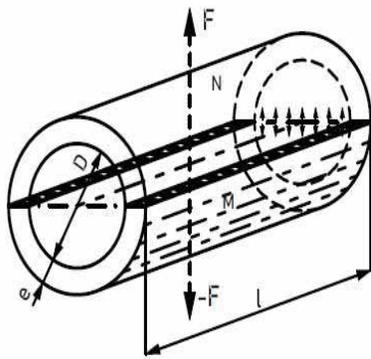
$S$  = Sección donde se aplica la presión

Figura 2-15

Presiones aplicadas al cilindro y la esfera

TUBOS Y RECIPIENTES CILÍNDRICOS

TANQUES Y RECIPIENTES ESFÉRICOS



Fuente: Wikipedia

$F$  es igual al producto de la presión unitaria  $P$  por la proyección de la superficie interna de  $M$  (o también de  $N$ ) sobre el plano que divide el recipiente en las dos partes  $M$ - $N$ .

En la Figura 2.16 podemos ver la fuerza total aplicada al cilindro

$$F = P S \quad (2-43)$$

$S$  = sección donde es aplicado la presión

$D$  = diámetro interior de la sección

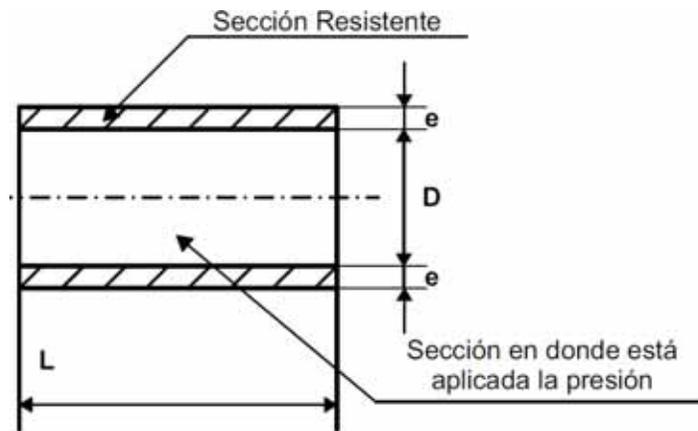
$L$  = longitud de la sección

Reemplazando en (2-44)

La fuerza total  $F$ :

Figura 2-16

Presión aplicada en el cilindro



Fuente: Wikipedia

$$S = D L \quad (2-45)$$

$$F = PDL \quad (2-46)$$

### 2.5.7. Cálculo de la resistencia mecánica de los recipientes de paredes delgadas

Como se analizó anteriormente, los recipientes cilíndricos cuya presión es desde el interior, están sometidos al esfuerzo de tracción, por lo tanto, la ecuación de estabilidad es:

$$K = \frac{F}{S} \quad (2-47)$$

K=carga de seguridad

F=fuerza total

S=sección donde es aplicado la presión

Donde:

$$F = PDL$$

De la Figura 2.12 se tiene:

$$S = 2eL$$

S= Sección donde es aplicado la presión

$e$  = Espesor del tubo

$L$  = Longitud del tubo

Reemplazando en la ecuación (2-48)

$$K = \frac{PDL}{2eL}$$

$$K = \frac{PD}{2e}$$

$$e = \frac{PD}{2K} \quad (2-49)$$

A los espesores ( $e$ ) así determinados, se le debe añadir una constante  $c$  para tomar en cuenta las exigencias de fabricación y el deterioro continuo por consiguiente, la fórmula definitiva es:

$$e = \frac{PD}{2K} + c \quad (2-50)$$

Dónde:

$P$  = Presión

$D$  = Diámetro interior del cilindro

$K$  = Carga de seguridad

$c = 3$ , para acero y cobre

$c = 6-10$  para fundición y bronce.” (Balanza Chavarría, 1993)

Establecido el espesor del cilindro, obtenemos el coeficiente de seguridad  $K$  para aplicarlos en el cálculo de soldadura.

### 2.5.8. Resistencia de la soldadura

Las partes que intervienen en la soldadura se describen en la figura 2.17

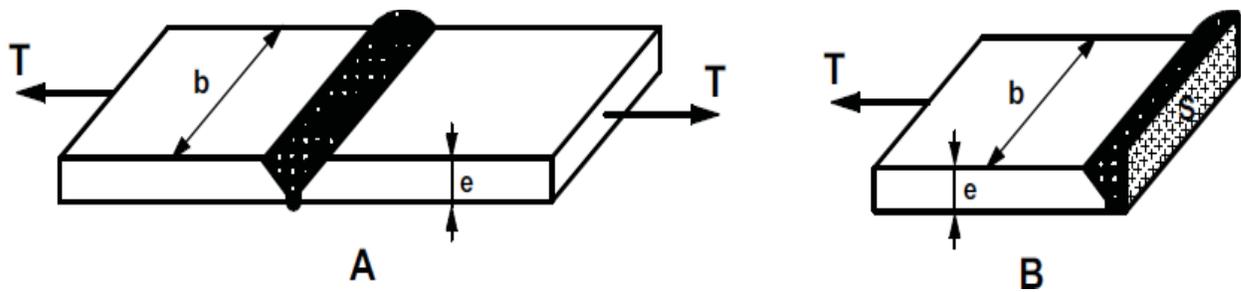
$$T = S_{ra} K \quad (2-51)$$

Analizando la gráfica anterior podemos notar que la sección de resistente de la soldadura ( $S_{ra}$ ) es igual al producto de la longitud de la soldadura ( $b$ ) por el espesor de la

plancha (e), en caso de soldar planchas de distinto espesor se calculará con el menor valor.

Figura 2-17

Resistencia de la soldadura



Fuente: Wikipedia

$$K = \frac{T}{S_{ra}}$$

$$T = S_{ra}K$$

$$T = ebK \quad (2-52)$$

Dónde:

b = Longitud de soldadura

e = Espesor de la plancha

$S_{ra}$  = Sección de la soldadura

T = Resistencia de la soldadura.

K = Carga de seguridad

Carga de seguridad en las soldaduras según el código de soldaduras por fusión de sociedad americana de la soldadura (AWS) determina las cargas de seguridades siguientes para las soldaduras de estructuras.

$K = 790 \text{ daN/cm}^2$  a corte

$K = 910 \text{ daN/cm}^2$  a tracción

$K = 1260 \text{ daN/cm}^2$  a compresión

## **2.6. Vulcanizadora que se encuentran en el mercado internacional**

### **2.6.1. Vulcanizadora Grande marca TR**

Vulcanizadora para hacer los cauchos tanto de goma como de silicona.

Está formada por un termostato para poner la temperatura óptima de trabajo, un termómetro en el que indica la temperatura de las placas y un reloj para marcar el tiempo de trabajo.

Esta máquina también está disponible en formato digital para los más exigentes.

**Dimensiones de la Placa** = 220 x 140 mm

**Regulador de Temperatura** = 30° a 200 °

**Reloj Programador** = 2 horas

**Abertura de Placas** = 80 mm

**Peso** = 29 kg

**Voltaje** = 220 v

**Potencia** = 800 w

**Dimensiones** = 550 x 380 x 220 mm alto x ancho x profundo

Fotografía 2.6

Vulcanizadora Grande marca TR



### 2.6.2. Prensa Vulcanizadora Techno flux 200x200 mm. 1000 w /220 v

Prensa de vulcanizado para trabajos en moldes de caucho o silicona.

Fusión eficaz de las capas que componen el molde gracias a sus dos gruesas placas de aluminio mecanizado.

Potentes resistencias que alcanzan un máximo de 300°C.

Fabricada en acero fundido de alta resistencia de máxima calidad.

El volante nos permitirá controlar la presión ejercida sobre el molde con tal de que esta sea uniforme.

#### **Descripción**

Puente de la prensa perfectamente mecanizado para conseguir un excelente paralelismo entre las placas superior e inferior.

#### **Características:**

Corriente: 220V~/50Hz

Potencia: 1kw

Peso: 44kg

Temperatura máxima.: 300?

Dimensiones: 510x350x260 mm

Dimensiones del plato: 200x200 mm

Tipo de mango: Redondeado

*Fotografía 2.7*

*Prensa Vulcanizadora Technoflux 200x200 mm. 1000 w /220 v*



### 2.6.3. Vulcanizadora VU-200

Marca: Chinetti

Codigo de Producto: AM010053

#### **Descripcion**

Potente vulcanizadora fabricada por Chinetti, una empresa italiana que ofrece siempre una calidad excepcional en su maquinaria, equipada con un puente sólido, doble guía lineal y un preciso control de temperatura (con resolución de 5°C).

Una máquina ideal para talleres de joyería que realizan microfusión, y que hacen solamente moldes de silicona (máquina no recomendada para moldes de caucho).

#### **Características**

Medida placas (máximas medidas de marco): 200 x 170 mm

Máxima apertura de placas: 100 mm

Máxima temperatura 220 °C

Potencia 700 W

Temporizador 120 minutos

Medidas 380 x 210 x 450 mm

Peso 22 Kg

*Fotografía 2.8*

*Vulcanizadora VU-200*



## 2.7. Definición del vulcanizado

“Para poder entender el propósito de esta investigación es necesario dar una explicación del proceso que se lleva a cabo dentro del auto clave. Se sabe que, en su estado natural, el caucho tiene varias propiedades indeseables, cuando se calienta se hace suave y pegajosa, cuando se enfría se endurece y rompe, y cuando envejece produce un olor desagradable. Para evitar estas desventajas y dotarle de características útiles, como dureza, elasticidad y resistencia a la tracción, el caucho debe de ser vulcanizado. La vulcanización es una forma de polimerización que crea una estructura cristalina tridimensional de gran dureza y resistencia; se consigue

estableciendo uniones químicas entre las moléculas del elastómero (polisopreno para el caucho natural) (Reyes.Javier, 2011)

“El agente vulcanizador más antiguo es el azufre, pero la velocidad de vulcanizado trabajando solo con este compuesto sería muy lenta y necesitaría temperaturas muy elevadas, por lo que se utilizan aceleradores y activadores que permiten trabajar a menor temperaturas y durante menos tiempo.” (Herrera Castañeda, 2013). En el proceso de producción de los objetos de goma, “al caucho natural se le añaden diversas sustancias químicas para mejorar el procesamiento y para dotar al producto final de las características físico-químicas y mecánicas deseadas. Entre estos aditivos se encuentran los aceleradores, activadores, antioxidantes, antiozonizantes y plastificantes. La misma importancia tiene el método y el equipo empleado para realizar la vulcanización.” (Reyes.Javier, 2011).

La elección de vulcanizado es amplia y depende de la forma y del artefacto que será vulcanizado, y los equipos existentes para obtener los resultados deseados de la forma más eficaz y eficiente posible. La velocidad con que la vulcanización ocurre es directamente proporcional a la cantidad de calor y energía aplicada. Ya que la mayoría de los procesos de vulcanización son dependientes del calor, se puede concluir que cuanto más alta es la temperatura de vulcanizado, menor será el tiempo empleado. Y por lo tanto a menores temperaturas, mayor será el tiempo empleado. Finalmente, podemos decir que la vulcanización del caucho puede ser definida como el proceso en la cual la reacción entre el polímero y el azufre da como resultado un polímero de mayor estructura con un incremento de las propiedades elásticas del polímero original, el cual mantiene estas propiedades sobre un amplio rango de temperaturas.

### **2.7.1. Proceso de vulcanizado**

“La vulcanización es un proceso de cura irreversible, lo que quiere decir que una vez vulcanizado no es posible regresar el caucho a su estado natural debido a la acción del azufre sobre los enlaces moleculares del caucho, Este proceso define a los cauchos curados como materiales termo-rígidos (no se derriten con el calor) y la saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno). Este fenómeno puede producirse a diversas temperaturas comprendidas entre el punto de fusión del azufre a los 160°C. Este proceso se produce más rápidamente a esta última temperatura, pero la experiencia ha demostrado que los mejores resultados son los obtenidos cuando se vulcaniza a 120°C. Si se prolonga la operación de vulcanizado elevando la cantidad de calor entre 150° y 160° por algunas horas, pierde su elasticidad y en cierto grado es quebradizo. El grado de vulcanización del caucho depende de varios factores, tales como el tiempo que dura el tratamiento, la temperatura, la presión y la cantidad de azufre agregado.” (Manual del Caucho, 2014)

## **2.8. Máquina de Fundición al Vacío que se encuentran en el mercado internacional**

### **2.8.1. Máquina de Fundir al Vacío Microvac 100**

#### **Características técnicas:**

Potencia bomba: 11 m3

Potencia: 400 Wat./0.50 Hp.

Dimensiones campana: 20 cms diam. x 23 cms alt.

Dimensiones max. cilindro: 10 cms diam. x 15 cms alt.

Dimensiones: 38L x 61P x 53H

Peso: 42 Kgs.

*Fotografía 2.9*

*Máquina de Fundir al Vacío Microvac 100*



## 2.8.2. Máquina de Fundición al Vacío, Herramientas de Joyería, 2l, Kaya

### Descripción general

Marca: HAJET

Número de Modelo: HJ-CM1

Lugar del origen: Guangdong, China

Tipo de herramientas y equipamientos de joyería: Casting Machines

Product name: Vacuum Coating Machine

Usage: Jewelry making

Voltage: 110V / 220V, 50/60Hz

Net Weight: Approx. 34kg (72.75lbs)

Gross Weight: Approx. 52kg

Packing size: 73\*47\*74cm

### Características

Para frascos estándar y perforados, nuestra rueda de sobremesa te permite invertirlos al vacío en el lado izquierdo de la máquina y en el lado derecho.

Gire la manija de control a la izquierda a "mesa de inversión", y la potente motor de bomba de vacío interna 3 CFM extrae burbujas de aire de la inversión bajo un tarro alto de 9 "de diámetro x 8-1/2".

Gire el mango a "cámara de Fundición" y el vacío se re direcciona al lado de fundición. Funde frascos estándar y perforados que encajan en el pozo del lado derecho de la máquina para que extraigan al vacío tanto de las paredes como del Fondo del matraz, asegurando un llenado completo y una fundición más densa. T1.5 incluye:

Dos placas adaptadores para fundir 3-1/2 "y 4" de diámetro. Frascos perforados (no se necesita placa adaptadora para frascos de 5 ")

Placa adaptadora para fundir frascos de pared sólida

Tarro de campana, pinzas para matraz, almohadillas de vacío y fundición, 1 pt. Aceite de la Maquina de Fundición al Vacío

Matraz perforado de 3-1/2 "x 4", base de esprúe de 3-1/2"

### **Especificaciones**

Voltaje: 110V / 220V 50/60hZ

Peso neto: aprox. 34kg (72.75lbs)

Peso bruto: aprox. 52kg

*Fotografía 2.10*

*Máquina de Fundición al Vacío, Herramientas de Joyería, 2l, Kaya*



### 2.8.3. Definición de vacío

El vacío se define como la ausencia de aire en el interior de un volumen dado. Esta ausencia de aire en el interior reduce la presión atmosférica existente a valores próximos a cero absoluto, creando una diferencia de presión entre el interior y el exterior del mismo. Se denomina también vacío a la condición de una región donde la densidad de partículas es muy baja, como por ejemplo el espacio interestelar o la de una cavidad cerrada donde la presión de aire u otros gases es menor que la atmosférica. Por ejemplo, si disminuimos la presión en un recipiente cerrado, (es.wikipedia.or, s.f.)

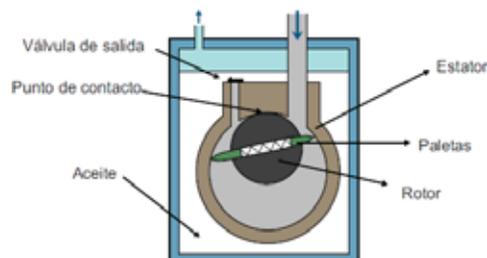
Evacuando el aire de su interior, se crea vacío, y por consiguiente, existirá una diferencia de presión entre el interior y el exterior del recipiente, generando la presión exterior una fuerza sobre las paredes del mismo que será mayor cuando menor presión haya en su interior. (es.wikipedia.or, s.f.)

### 2.8.4. Bombas de paletas rotatorias

La bomba de paletas rotatorias, generalmente, funciona con sello de aceite que alcanza un rango de presión de 1-105 Pa, también existen en el mercado bombas que funcionan libres de aceite, pero ofrecen menor eficiencia. Las bombas de paletas rotatorias son comúnmente usadas en pequeños y medianos sistemas de vacío, las bombas de una etapa consisten en un rotor y un estator como el de la figura 2.18.

Figura 2-18

Bomba de paletas rotatorias

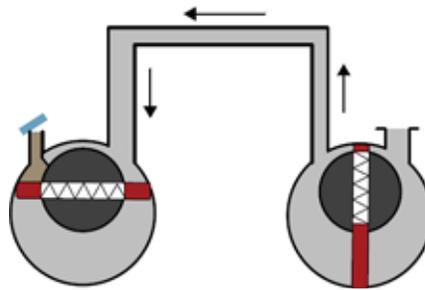


Fuente: Tecnovac

Si una segunda etapa se añade como se muestra esquemáticamente en la figura 2.19, mediante la conexión de los gases de escape de la primera etapa a la entrada de la segunda, presiones más bajas pueden ser alcanzadas. Los gases en la segunda etapa contienen menos aire que los gases en el depósito. Físicamente, la segunda etapa de bombeo se encuentra al lado del primero y en el mismo eje.

*Figura 2-19*

*Sistema de dos etapas en bombas de paletas rotatorias*



*Fuente: Tecnovac*

### **2.8.5. Bomba para alto vacío de dos etapas**

Su diseño de vanguardia y la moderna tecnología empleada en su fabricación permiten obtener un producto de altísima calidad con el cual se consiguen altos niveles de vacío y tiempos de evacuado reducidos. Bombas compactas para vacío, rotativas a paletas en baño de aceite de dos etapas, diseñadas y desarrolladas específicamente para servicios de aire acondicionado y refrigeración. Tal como se muestra la figura 2.20, bomba que usaremos en nuestra máquina. Estas bombas de vacío reúnen un elevado estándar de calidad y de rendimiento, características que economizan su utilización, alta velocidad de bombeo en el campo de presión absoluta, comprendido entre 850 y 0,5 mbar, bajo nivel sonoro, ausencia de contaminación, refrigeración por aire, construcción particularmente robusta y mantenimiento reducido.

### 2.8.1. Presión atmosférica

Si imaginamos la atmósfera compuesta por diferentes capas, resulta evidente, que cada una de ellas descansa sobre la otra hasta alcanzar la superficie terrestre y sobre ella, recibiremos el resultado de estas cargas sucesivas, que conocemos como presión atmosférica y que es la fuerza que el aire ejerce sobre cada  $\text{cm}^2$  de la superficie terrestre por efecto de la fuerza de gravedad. Naturalmente, hay que tener en cuenta que nuestro planeta está en constante movimiento sobre sí mismo y alrededor del sol y, en consecuencia, cabe imaginar una serie de variaciones en las capas de aire, que se manifiestan como variaciones de la presión. No obstante, su valor podemos establecerlo al nivel del mar y con una temperatura de  $0^\circ\text{C}$  en: 101,3 Kpa. 1 Pa es equivalente a  $1 \text{ N/m}^2$ .

*Fotografía 2.11*

*Bomba para alto vacío de dos etapas*



### 2.8.2. Variación de la presión con la altura

Como se ha visto anteriormente, la presión atmosférica genera una fuerza motriz, si esta varía, en consecuencia, varía también la presión, esto se debe tener en cuenta y considerarlo en función de la altura que se encuentre el lugar de trabajo, hasta 2.000 metros de altitud la presión se reduce cerca del 1% cada 100 metros, esto significa que una aplicación de vacío calculada para elevar 100 kg a nivel del mar, baja su capacidad elevación a 89 kg en una altura de 1.000 metros.

### ***CAPÍTULO III***

#### **DISEÑO DEL MÓDULO DE CASTING**

##### **3.1. Diseño del módulo de casting**

Las características principales del módulo de casting son:

Capacidad nominal: 2 kg de plata vaciada

Duración del proceso integral: es de 8 h (inyectado de cera, armado del árbol, preparación del molde de yeso y desencerado y quemado en el horno)

##### **3.1.1. Diseño del horno**

Dimensiones de la cámara interior: 23 cm x 23 cm y altura 18 cm.

Disposición de la puerta del horno: nivel superior.

Ubicación de la resistencia eléctrica en las 4 paredes: 3 canales por pared

Tipo de calentamiento: uniforme en la cámara interior.

Aislamiento del horno: refractario JM-23.

Blindaje exterior: acero inoxidable ASTM 304 (ANEXO N)

Bancada del horno: ángulo estructural ASTM A36 de 1 1/2" x 1/8" (ANEXO J)

Caja de control: plancha BLAC A36, PD LAC A36 de 1/32" (ANEXO K)

### 3.1.2. Características principales del horno

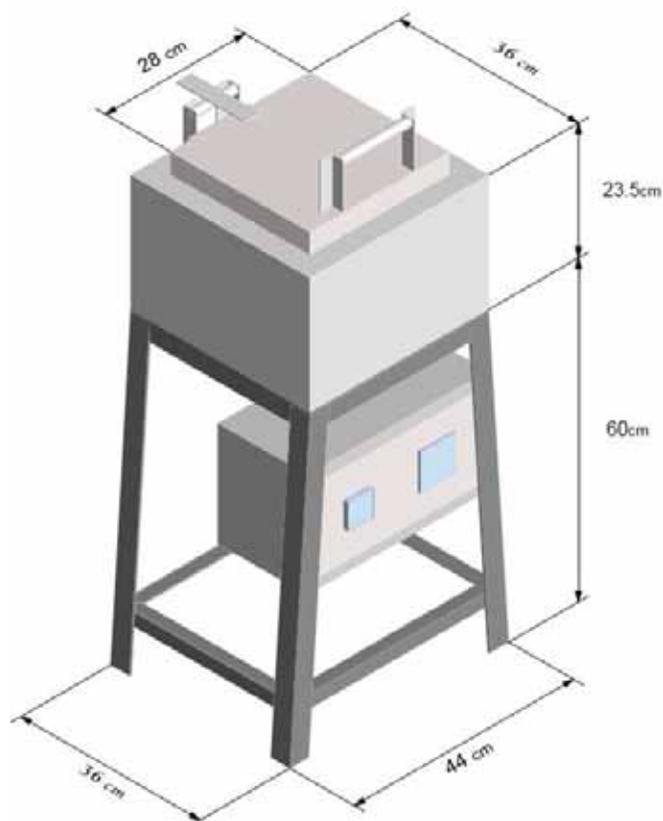
Se Presenta en la tabla 3.1 los datos técnicos generales y en la tabla 3.2 los datos específicos del horno.

### 3.1.3. Diseño del horno fabricado en el Cusco

Realizamos el diseño en 3D el horno para ver la apariencia que tendrá al fabricarlo como se puede ver en la figura 3.1, y está de acuerdo a las medidas que detallamos en los planos para el horno que se encuentran en ANEXO E.

*Figura 3-1*

*Diseño del horno (planos del horno en ANEXO C)*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3-1

Comparación de un horno eléctrico importada y de la fabricada en la ciudad del Cusco

<b>Horno eléctrico</b>		
	<b>Horno importada</b>	<b>Horno fabricado en el Cusco</b>
Material de la caja del horno	Acero estructural	Acero inoxidable
Tención eléctrica (V)	220	220
Instalación Eléctrica	Monofásico	Monofásico
Ubicación de la resistencia	Empotrado dentro del ladrillo	En canal exterior del ladrillo
presentación	Sobre masa	Con su propia armazón de mesa
Resistencia	En tres paredes laterales	En cuatro paredes laterales
Potencia (W)	2000	1750
Costo (S/)	4000	2400

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2

Datos técnicos del horno fabricado en la ciudad del Cusco

<b>Datos técnicos generales del horno fabricado en Cusco</b>		
Dimensiones	Altura (cm)	100
	Ancho (cm)	44
Peso kg		40
Capacidad (cilindros)		16
Instalación eléctrica		monofásica
Tención eléctrica (V)		220
Control de temperatura		Pirómetro

Nota: Estos datos son tomados de los planos del horno ANEXO C

En la figura 3.2, se detalla el circuito de la caja de control del horno donde la energía está interrumpida por lo tanto el horno no caliente esto debido a que la temperatura programada en el pirómetro es menor a la temperatura en el interior del horno.

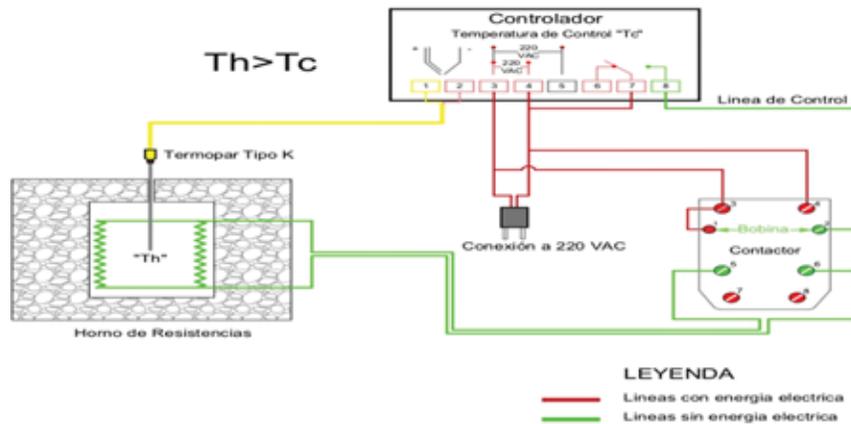
Th: Temperatura del horno.

Tc: Temperatura de control en el pirómetro.

Th>Tc: Energía desactivado hacia la resistencia.

Figura 3-2

Circuito del horno desactivado  $Th > Tc$



Fuente: Elaboración propia

Lo contrario pasa en la figura 3.3 donde la temperatura del horno es menor a la temperatura programada en el controlador del pirómetro el cual activa el contactor permitiendo el paso de la energía eléctrica al horno haciendo que esta se caliente, la combinación de ambos circuitos hace que el horno se mantenga a temperatura constante el cual programamos en el controlador del pirómetro.

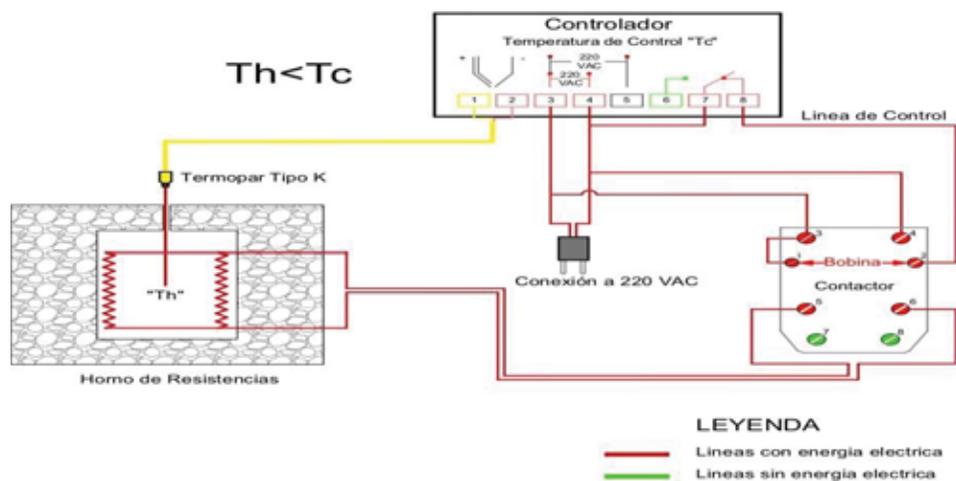
Th: Temperatura del horno.

$T_c$ : Temperatura de control en el pirómetro.

$T_h < T_c$ : Energía activo hacia la resistencia

Figura 3-3

Circuito del horno activado  $T_h < T_c$



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta los datos específicos para la instalación eléctrica en la tabla 3.3

Tabla 3-3

Datos técnicos específicos de la caja de acero inoxidable del horno fabricado en la ciudad Cusco

Datos técnicos específicos de la caja del horno		
Dimensiones de la cámara interior	Altura (cm)	17
	Ancho (cm)	23
	Largo (cm)	23
Ladrillos refractarios	Altura (cm)	6.5
	Ancho(cm)	11.5
	Largo (cm)	23
Resistencia micrón 80/20	Calibre SWG	19
	Diámetro (cm)	0.09
	Longitud (cm)	1520

Nota: Estos datos son tomados de los planos del horno (ANEXO C)

Tabla 3-4  
 Datos específicos de la caja de instalación eléctrica del horno

<b>Datos específicos de la caja de instalación eléctrica del horno</b>		
Pirómetro	Modelo	digital- digital
	Rango (°C)	0 a 1200
Contactor	Capacidad (A)	9
	Modelo	
Termo magnético	Capacidad (A)	30
	Línea	Monofásico
Cableado	(n°)	14
Termopar	Tipo	K

Nota: Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Inyectora

Dimensiones del crisol: diámetro 11cm y altura 27 cm.

Disposición del sellado del crisol: tapa superior con tres pernos de ½”.

Ubicación de la resistencia eléctrica: en la parte inferior del crisol.

Tipo de calentamiento: de la base del crisol hacia arriba.

Aislamiento del crisol: manta de fibra cerámica.

Blindaje exterior: plancha BLAC A36, PD LAC A36 de 1/64”

Caja de control: plancha BLAC A36, PD LAC A36 de 1/64”

Válvula de inyección: de bronce y a presión mecánica con resorte.

#### 3.2.1. Características principales de la inyectora de cera

Se Presenta la tabla 3.5 de comparación de las inyectoras y la tabla 3.6 de características propias de la inyectora de cera fabricada en la ciudad del Cusco.

Tabla 3-5

Comparación de una inyectora importada y de la fabricada en la ciudad del Cusco

<b>Inyectora de cera</b>		
	<b>inyectora importada</b>	<b>inyectora de fabricado en el Cusco</b>
Material del cilindro para cera	Aluminio	Acero Estructural
Alimentación del aire	Compresora	Inflador
Control de la presión	Manómetro	Llave de paso
Control de temperatura	Termostato analógico	Pirómetro digital
Resistencia	En la paredes del recipiente	En la base del recipiente
Potencia (W)	400	200
Costo (S/)	6000	2400

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6

Datos técnicos de inyectora de cera de fabricado en Cusco

<b>Datos técnicos generales</b>	
Altura (cm)	40
Dimensiones Ancho (cm)	21
Largo (cm)	35
Peso (Kg)	10
Capacidad (Lb)	3
Tipo de accionamiento	neumático
Calefacción	Resistencia eléctrica
Control de temperatura	Pirómetro digital
Regulador de presión	neumático
Tención eléctrica (V)	220

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-7

*Datos técnicos específicos regulador de presión*

<b>Datos técnicos específicos regulador de presión</b>	
Tamaño	Mini
Serie	IY001
Asegura el accionamiento	Con tres pernos de 1/2
Posición de montaje	Indistinto
Inyección	Válvulas de membranas
Indicación de la presión	Con manómetro
Margen de regulación	0.5-30 psi

*Nota: Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3-8

*Datos técnicos específicos del control de temperatura*

<b>Datos técnicos del pirómetro</b>	
Rango de temperatura (°C)	0 a 399
Tensión eléctrica (V)	220
Frecuencia (Hz)	60

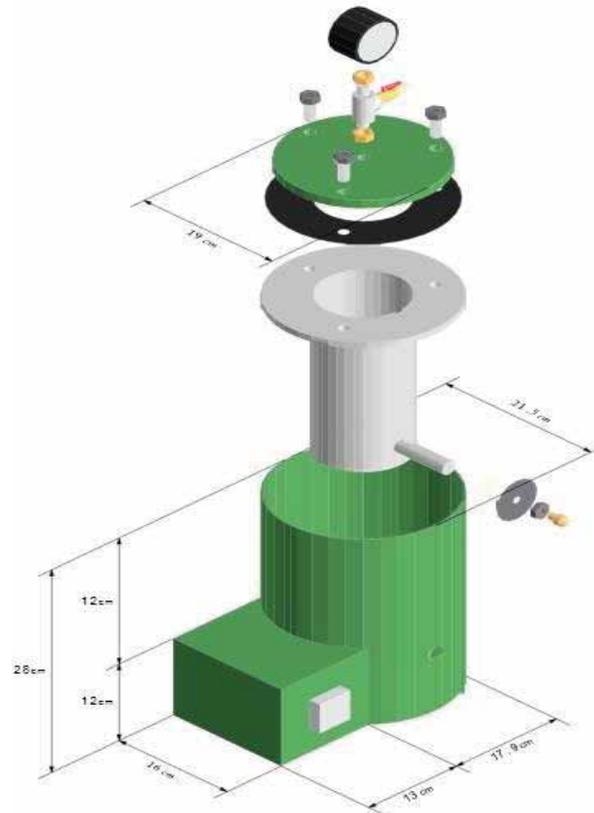
*Nota: Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2. Diseño de la inyectora fabricada en el Cusco

Realizamos el diseño en 3D de la inyectora de cera para poder ver la apariencia que tendrá al fabricarlo como se puede ver en la figura 3.4, y está desglosado en toda su parte de acuerdo a las medidas que detallamos en los planos para la inyectora de cera que se encuentran en ANEXO F.

Figura 3-4

Diseño de la inyectora de cera, planos de la inyectora de cera en (ANEXO d)



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Circuito eléctrico para el control de la temperatura de la inyectora

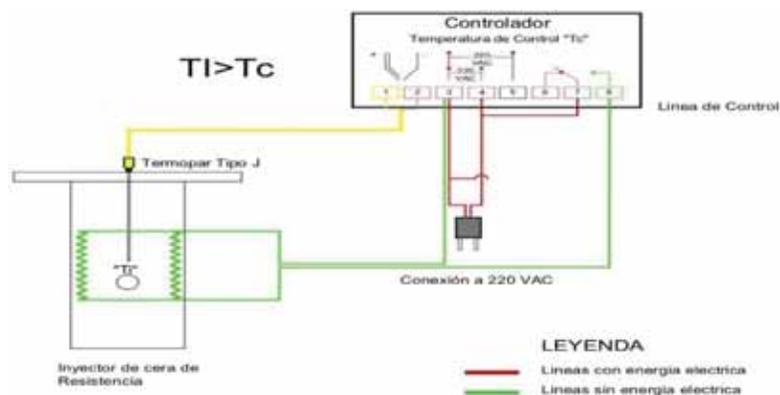
En la figura 3.4, se detalla el circuito de control de la inyectora de cera donde la energía está interrumpida por lo tanto la inyectora no calienta esto porque la temperatura programada en el controlador del pirómetro es menor a la temperatura en el interior de la inyectora de cera.

Ti: Temperatura del crisol de la inyectora.

Tc: Temperatura de control en el pirómetro.

Ti > Tc: Energía desactivado hacia la resistencia.

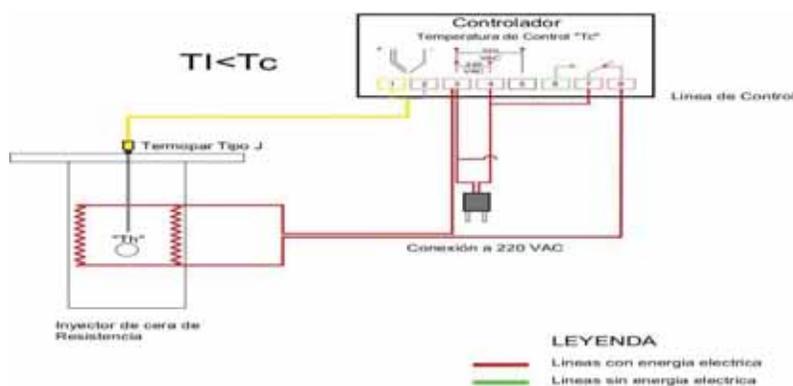
Figura 3-5

Circuito de inyectora de cera desactivada  $T_i > T_c$ 

Fuente: Elaboración propia

Lo contrario pasa en la figura 3.5 donde la temperatura del interior de la inyectora es menor a la temperatura programada en el controlador del pirómetro el cual activa el relay permitiendo el paso de la energía eléctrica a la inyectora haciendo que esta se caliente, la combinación de ambos circuitos hace que la inyectora se mantenga a temperatura constante el cual programamos en el controlador del pirómetro.

Figura 3-6

Circuito de inyectora de cera activada  $T_i < T_c$ 

Fuente: Elaboración propia

$T_i$ : Temperatura del crisol interno de la inyectora.

$T_c$ : Temperatura de control en el pirómetro.

$T_i < T_c$ : Energía activo hacia la resistencia.

### 3.3. Vulcanizadora

Dimensiones de las bases de aluminio: diámetro 16cm y altura 2 cm.

Disposición del prensado: eje de 1" roscado. REDO LISO A36.

Accionamiento del prensado: con volante de aluminio de 20cm de diámetro

Ubicación de la resistencia eléctrica: fijado a las bases de aluminio.

Tipo de calentamiento: por la cara inferior y superior del molde.

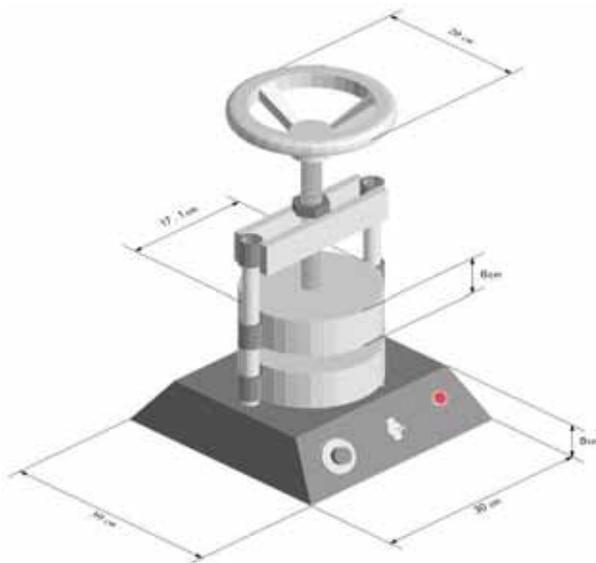
Blindaje de las bases de aluminio: TUBO LAC ASTM A500 de 6" de diámetro.

Armazón y base de control: PLANCHA BLAC A36, de 3/32"

Deslizamiento de los bases de aluminio: REDO PULI A36; eje de 7/8" cromado.

*Figura 3.7*

*Diseño de la vulcanizadora (planos en ANEXO E)*



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.1. Características principales de la vulcanizadora

En la tabla 3.8 vemos la comparación y características de las vulcanizadoras, y en la tabla 3,9 detallamos los datos técnicos generales de la vulcanizadora.

Tabla 3-9 Comparación de una vulcanizadora Importada y el fabricado en Cusco

<b>vulcanizadora</b>		
	<b>vulcanizadora importada</b>	<b>vulcanizadora fabricado en el Cusco</b>
Material de armazón	Fierro fundido uno solo	Acero estructural
Ubicación de la resistencia	Empotrado en la base de aluminio	Empernado sobre la base de aluminio
Potencia (W)	1000	2000
Costo (S/)	3000	1500
Montado	Sobre mesa	Sobre mesa

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-10

Datos técnicos de la vulcanizadora fabricado en Cusco

<b>Datos técnicos generales</b>		
Dimensiones	altura (cm)	35
	Ancho (cm)	30
Peso (kg)		12
Tamaño de molde (cm)		hasta 15
Tipo de accionamiento		mecánico
Calefacción		Resistencia eléctrica
Corriente (V)		220
Potencia (W)		2000
control de temperatura		analógico

Nota: Las dimensiones son tomados de los planos (ANEXO E)

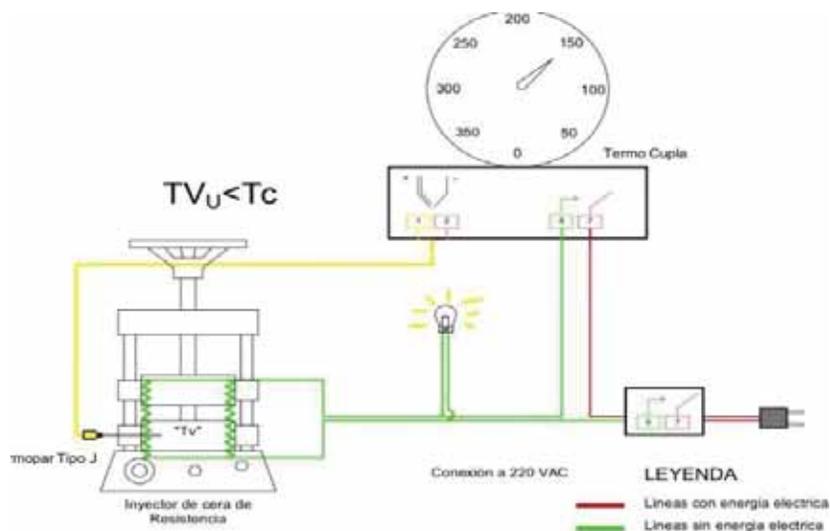
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Circuito eléctrico para el control de temperatura de la vulcanizadora

En la figura 3.7, se detalla el circuito de control de la vulcanizadora donde la energía está interrumpida por lo tanto la vulcanizadora no se calienta esto porque la temperatura programada en el termostato es menor a la temperatura de las bases de aluminio.

Figura 3.7

Circuito eléctrico de la vulcanizadora desactivado  $T_v > T_c$



Fuente: Elaboración propia

$T_v$ : Temperatura de la base de la vulcanizadora.

$T_c$ : Temperatura de control en la termocupla.

$T_v > T_c$ : Energía desactivado hacia la resistencia.

Lo contrario pasa en la figura 3.9 donde la temperatura de la vulcanizadora es menor a la temperatura programada en el termostato el cual se activa permitiendo el paso de la energía eléctrica a las bases de aluminio haciendo que esta se caliente, la combinación de ambos circuitos hace que el vulcanizador se mantenga a temperatura constante el cual programamos en el termostato.

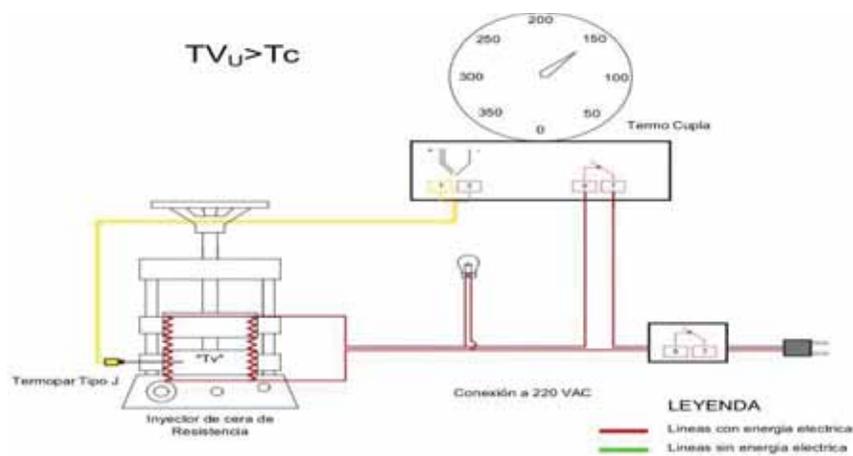
$T_v$ : Temperatura de la base de la vulcanizadora.

$T_c$ : Temperatura de control en la termocupla.

$T_v < T_c$ : Energía activo hacia la resistencia

Figura 3-7

Circuito eléctrico de la vulcanizadora activado  $T_v < T_c$



Fuente: Elaboración propia

Presentamos la tabla 3.10 de los datos técnicos específicos de la vulcanizadora fabricado en la ciudad del cusco.

Tabla 3-11

Datos técnicos específicos del circuito eléctrico de la vulcanizadora

Datos técnicos específicos del circuito eléctrico	
Resistencia	Blindada
Potencia (W)	2000
Termostato analógico (°C)	50 a 350
Interruptor de codo (V)	220
Piloto (V)	220
Cable (#)	14

Nota: Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Máquina de Fundición al Vacío

Dimensiones del cilindro de burbujeo: diámetro 27cm y altura 20 cm.

Dimensiones del cilindro de fundición: diámetro 16cm y altura 20cm.

Estructura de los cilindros: plancha BLAC A36, PD LAC A36 de 3/32”.

Tapa del cilindro de succión de burbujas: acrílico de 3/8”

Apertura de vacío a los tanques: llave de paso de 1/2”.

Conexiones: niples y manguear de 1/4”.

Armazón de la maquina: plancha BLAC A36, PD LAC A36 de 1/64”

### 3.4.1. Características de la máquina de fundición al vacío

En la tabla 3.11 detallamos la diferencia entre la Maquina de Fundición al Vacío importada y la Maquina de Fundición al vacío fabricado en cusco lo mismo en la tabla 3.12 se detalla los datos técnicos generales y en la tabla 3.13 tenemos los datos técnicos específicos de la máquina de Fundición al vacío de dos estas que utilizaremos

Tabla 3-12

*Comparación de la máquina de fundición al vacío importado y máquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco*

<b>Máquina de fundición al vacío</b>		
	<b>Máquina de fundición al vacío importado</b>	<b>Máquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco</b>
Estructura del armazón	Sobre mesa	Con pedestal
Motor de la máquina de fundición al vacío (Hp)	1/3	1
Cilindro de extracción de burbujas	Cúpula de acrílico	Cilindro de metal con tapa de acrílico
Tapa del cilindro de vaciado	Sobre puesto	Empernado
Costo (S/)	8000	4000

*Nota: Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3-13

Datos técnicos generales del máquina de fundición al vacío

<b>Datos técnicos generales del máquina de fundición al vacío</b>		
Dimensiones del almacón	Altura (cm)	120
	Largo (cm)	70
	Ancho (cm)	40
Cilindro succión de burbujas	Altura (cm)	20
	Diámetro (cm)	30
Cilindro de fundición	Altura (cm)	20
	Diámetro (cm)	17
Interruptor de codo (V)		220
Piloto (V)		220

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-14

Datos técnicos específicos de la máquina de fundición al vacío

<b>Máquina de fundición al vacío de 2 etapas</b>	
Modelo	2XZ-4 <sup>a</sup>
Desplazamiento de aire libre (CFM)	8
Vacío alcanzado (Pa)	$3 \times 10^{-1}$
Corriente (V)	220V
Motor (Hp)	1

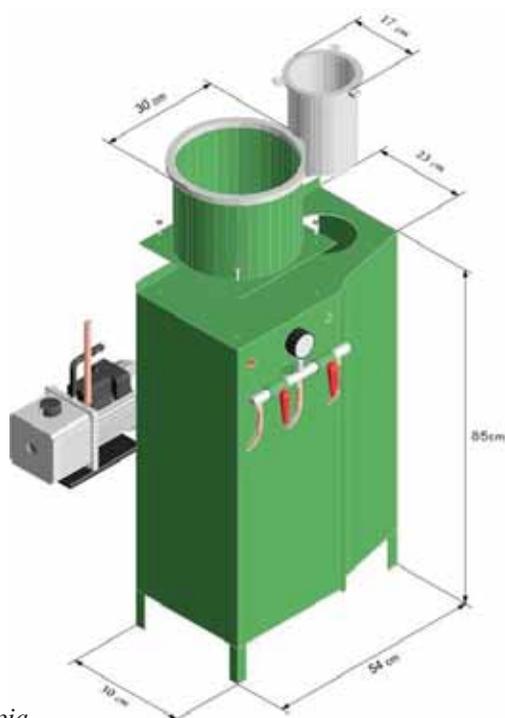
Nota: Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2. Diseño de la Máquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco

Realizamos el diseño de la Máquina de fundición al vacío en 3D, para ver la apariencia que tendrá, como se puede ver en la figura 3.10, y de acuerdo a las medidas que detallamos en los planos para la Máquina de fundición al vacío, ver ANEXO H.

Figura 3.9

Diseño del máquina de fundición al vacío, planos de la Máquina de fundición al vacío



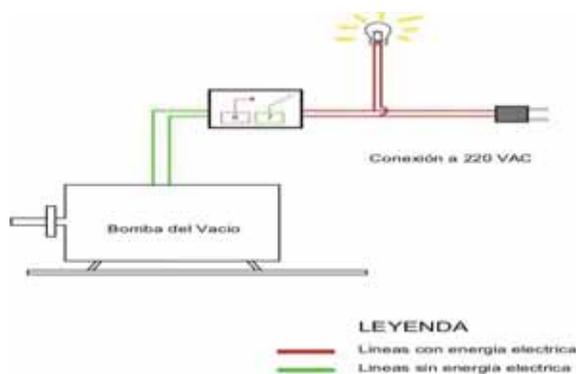
Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1. Circuito eléctrico de la máquina de fundición al vacío fabricado en el Cusco

En la figura 3.10 se baja el interruptor apagando el motor y deja de succionar la máquina de fundición al vacío.

Figura 3.10

Circuito eléctrico de la máquina de fundición al vacío desactivado

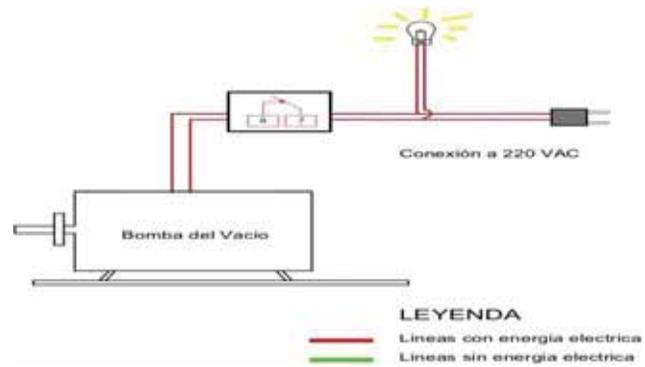


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.11, se detalla el circuito de encendido de la máquina de fundición al vacío que al accionar el interruptor se prende el motor donde procede a succionar el aire

Figura 3-11

Circuito eléctrico de la máquina de fundición al vacío activado



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### CÁLCULOS DE INGENIERÍA

#### 4.1. Cálculos realizados para el horno

Para el horno de resistencia fabricado en el Cusco se realizan los siguientes cálculos.

##### 4.1.1. Potencia requerida del horno

Considerando para la selección de materiales aislantes y la temperatura máxima de operación 800 °C, el calentamiento del horno será en intervalos de tiempo, a temperaturas distintas, cumpliendo ciclos de quemado de acuerdo al tamaño del cilindro.

Las variaciones bruscas de temperatura en tiempos muy cortos debido al frío del medio ambiente, esto influya de gran manera, por la naturaleza del procedimiento del vaciado.

##### 4.1.2. Los materiales aislantes seleccionados para la fabricación del horno son:

Lamina de acero inoxidable, se seleccionó este material para las paredes del horno, porque estas serán sometidas a condiciones de altas temperatura y humedad por lo que debe ser un material resistente a la corrosión, la plancha a utilizar será de 1/27” considerando que el peso que resistirá no será demasiado para deformarla.

El ladrillo refractario se colocará en las partes interiores de la carcasa para formar la batea de la cámara interior del horno, para evitar la pérdida de calor ya que tiene una baja conductividad térmica, es donde van alojadas la resistencia en forma de espiral, en unos surcos o vías que se tallan en de las paredes del ladrillo, además de ser un aislamiento eléctrico para evitar de que alguna parte de las resistencias entre en contacto con las carcasas del horno. Hay que tener en cuenta que un Kilovatio hora desarrolla, aproximadamente, 850 Cal/kg aunque parezca que el uso de esta energía eléctrica resulta demasiado cara, pero si contamos todas las ventajas que nos proporciona, todos estos inconvenientes se ven reducidos e incluso resultar ser ventajosos, los hornos alimentados con energía eléctrica son de un uso muy extendido por su comodidad y fácil manejo, en la actualidad con los sistemas de programación que se incorporan son muy útiles y fiables.

#### **4.1.3. Pérdidas de calor interna y externa del horno**

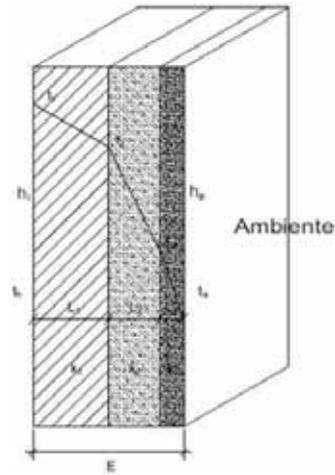
Como se mencionó en el Capítulo II el cálculo de las pérdidas de calor permite determinar la potencia extra consumida por las resistencias, esta pérdida de calor se las calculará mediante la ecuación establecida por el matemático francés J. B. FOURIER.

Los materiales aislantes y refractarios a utilizarse para la construcción del horno serán la fibra cerámica y ladrillos aislantes, estos dos materiales son muy buenos para trabajar en altas temperaturas, poseen una conductividad térmica muy baja esto quiere decir que su acumulación de calor en mínima, en la figura 4.1 se observa la composición de los materiales aislantes del horno.

Para hallar la resistencia térmica de las paredes planas del horno utilizaremos de la tabla del ANEXO C la conductividad térmica del ladrillo a 800 °C es  $k = 0.17 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  la medida del ladrillo refractario  $L = 0.065\text{m}$ .

Figura 4-1

Pérdidas de calor en las paredes del horno



La conductividad térmica en la tabla de ANEXO N de la plancha de acero inoxidable a 100 C°

$k = 16.3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  y espesor de la plancha de acero inoxidable es de 1/20 de pulgada = 0.00127m

$$k_1 = 0.17 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$L_1 = 0.065 \text{ m}$$

$$k_2 = 16.3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$L_2 = 0.00127 \text{ m}$$

En la fórmula 2-3 hallamos  $q$  = Cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo (W/m<sup>2</sup>)

$$q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} \text{ W/m}^2$$

La temperatura en la superficie dentro del horno a la que calentaremos se considera

$T_1 = 800 \text{ C}^\circ$  el cual convertido a grados Kelvin  $T_1 = 1073.15 \text{ K}$

El clima es cálido y templado en Cuzco y se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura aquí es en promedio 11.2 °C. Y convirtiéndolo a grados Kelvin  $T_2 = 284.35\text{K}$

Remplazando valores tenemos:

$$q = \frac{1073.15\text{K} - 284.35\text{K}}{\left(\frac{0.065\text{m}}{0.17\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}}\right) + \left(\frac{0.00127\text{m}}{16.3\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}}\right)}$$

$$q = 2075.79\text{W}/\text{m}^2$$

Para el coeficiente global de transferencia de calor en el interior del horno pierde calor por convección y por radiación la ecuación es:  $h_g = h_c + h_r$

En la fórmula 2-7

$$q = \frac{Q}{A} = h_c (T_s - T_f) = h_c \Delta T$$

Despejamos el coeficiente por convección  $h_c$

$$h_c = \frac{q}{\Delta T}$$

$$h_c = \frac{2075.79\text{W}/\text{m}^2}{1073.15\text{K} - 284.35\text{K}}$$

$$h_c = 2.63\text{W}/\text{m}^2\text{K}$$

De la fórmula 2-15 tenemos  $h_r =$  Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ )

$$h_r = 4\varepsilon_1\sigma T_m^3$$

Dónde:

$\sigma =$  Constante de Stefan-Boltzmann  $\cong 5.67 \times 10^{-8}\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ .

$\varepsilon_1 =$  Emisividad del ladrillo refractario de ANEXOS  $\tilde{N} = 0.93$

$T_m$  = Temperatura media de  $T_1$  y  $T_2$  (K)

$$h_r = 4 \cdot 0.93 \cdot 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4 \left( \frac{1073.15K + 284.35K}{2} \right)^3$$

$$h_r = 56.97 W/m^2K$$

Una vez determinado los coeficientes tanto de convección como de radiación, se suman estos valores para obtener el coeficiente global de transferencia de calor dentro del horno y reemplazando en la fórmula 2-6 tenemos:

$$h_g = h_c + h_r$$

$$h_g = 2.63 W/m^2K + 56.97 W/m^2K$$

$$h_g = 59.6 W/m^2K$$

Para el coeficiente global de transferencia de calor en el exterior del horno solo pierde calor por convección, la ecuación es:  $h_g = h_c$

Si la temperatura superficial del horno aproximada es de 60 °C esto en grados Kelvin es 333.15 K y la temperatura ambiente fuera del horno es de 11.2 °C esto en grados Kelvin es 284.35 K, utilizando la fórmula 2-7 el coeficiente por convección será:

$$q = \frac{Q}{A} = h_c (T_s - T_f) = h_c \Delta T$$

$$h_c = \frac{q}{(T_s - T_f)}$$

$$h_c = \frac{2075.79 W/m^2}{(333.15 K - 284.35 K)}$$

$$h_c = 42.54 W/m^2K$$

Entonces de lo anteriormente hallado tenemos

$h_i$  = Coeficiente global en el interior del horno = 59.6  $W/m^2K$

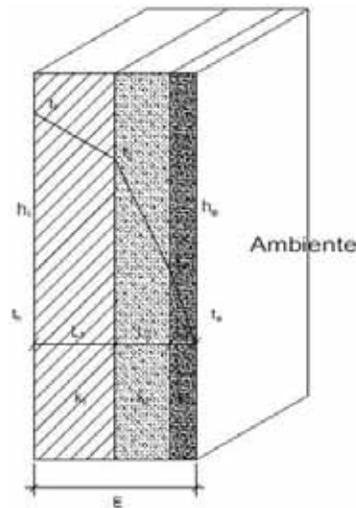
$h_e$  = Coeficiente global en el exterior del horno =  $42.54 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### 4.1.4. Pérdidas de calor en paredes planas del horno

En régimen estacionario la densidad de flujo de calor a través de la pared es constante la pérdida de calor ( $q$ ) a través de las paredes planas, dependen fundamentalmente de las características del aislamiento de los materiales empleados tal como podemos ver en la Figura 4.2

Figura 4-2

Flujo de calor de las paredes planas del horno



En la fórmula 2-16 tenemos

$$q = \dot{q} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \frac{T_h - T_a}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

$q$  = Pérdidas de calor a través de las paredes planas.

$T_h$  = Temperatura en el interior del horno.

$T_a$  = Temperatura en el ambiente exterior.

$L_1, L_2, L_3$  = Espesores de las capas de aislamiento.

$k_1, k_2, k_3$  = Conductividades térmicas de los materiales.

$h_1$  = Coeficiente global por convección en el interior del horno.

$h_e$  = Coeficiente global por convección en el exterior del horno.

$$q = \frac{Q}{A} \text{ ( } W/m^2 \text{ )} = \frac{T_h - T_a}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

$T_h$  = Temperatura en el interior del horno.

$T_a$  = Temperatura en el ambiente exterior.

$L_1, L_2$  = Espesores de las capas de aislamiento.

$k_1, k_2$  = Conductividades térmicas de los materiales.

$h_1$  = Coeficiente global por convección en el interior del horno.

$h_e$  = Coeficiente global por convección en el exterior del horno.

Para hallar la resistencia térmica de las paredes planas del horno utilizaremos de la tabla del

ANEXO C la conductividad térmica del ladrillo a 800 °C es  $k = 0.17 \text{ } W/m \cdot K$  donde la

medida del ladrillo refractario  $L = 0.065\text{m}$ .

La conductividad térmica en la tabla de ANEXO N de la plancha de acero inoxidable a 100C°

$k = 16.3 \text{ } W/m \cdot K$  y el espesor de la plancha de acero inoxidable de 1/20 de pulgada=

0.00127m

La temperatura dentro del horno a la que calentaremos se considera  $T_h = 800\text{ C}^\circ$  el cual convertido a grados Kelvin  $T_h = 1073.15\text{K}$

El clima es cálido y templado en Cusco y se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura aquí es en promedio  $11.2\text{ C}^\circ$ . Y convirtiéndolo a grados Kelvin  $T_a = 284.35\text{K}$

$$T_h = 1073.15\text{K}$$

$$T_a = 284.35\text{K}$$

$$k_1 = 0.17\text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$L_1 = 0.065\text{m}$$

$$k_2 = 16.3\text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$L_2 = 0.00127\text{m}$$

$$h_i = 59.6\text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_e = 42.54\text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{1073.15\text{K} - 284.35\text{K}}{\frac{59.6\text{ W/m}^2\text{K}}{m^2\text{K}} + \frac{0.065\text{m}}{0.17\text{ W/m}\cdot\text{K}} + \frac{0.00127\text{m}}{16.3\text{ W/m}\cdot\text{K}} + \frac{1}{42.54\text{ W/m}^2\text{K}}}$$

$$q = \frac{Q}{A} = 1878.1\text{ W/m}^2$$

Para hallar el potencial tenemos que multiplicar por el área de cada una de las paredes del horno para lo cual usamos la fórmula 2-18 tenemos:

$$S_m = \sqrt{S_e S_i}$$

Dónde:

$S_m$ : Superficie media de cálculo.

$S_e$ : Superficie exterior.

$S_i$ : Superficie interior.

Para hallar la superficie media de las paredes laterales del horno tomamos las medidas del plano de ANEXOS E y tenemos:

$$S_e = 0.360\text{m} \cdot 0.235\text{m} = 0.0846\text{m}^2$$

$$S_i = 0.230\text{m} \cdot 0.170\text{m} = 0.0391\text{m}^2$$

$$S_m = \sqrt{0.0846\text{m}^2 \cdot 0.0391\text{m}^2}$$

$$S_m = 0.058\text{m}^2$$

Entonces tenemos área lateral:

$$S_m = A = 0.058\text{m}^2$$

Hallamos la potencia de la pared lateral en W

$$q = \frac{Q}{A} = 1878.1 \text{ W/m}^2$$

$$Q = 1878.1 \text{ W/m}^2 \cdot A$$

$$Q = 1878.1 \text{ W/m}^2 \cdot 0.058\text{m}^2$$

Potencia de la pared lateral = 108.93W

Como el horno tiene cuatro paredes laterales de la misma área superficial tenemos:

Potencia total de las paredes laterales = 108.93W · 4

Potencia total de las 4 paredes laterales = 435.72 W

**Hallamos la superficie media de la base inferior del horno** tomamos las medidas del plano de ANEXOS E y tenemos:

$$S_e = 0.360\text{m} \cdot 0.360\text{m} = 0.130\text{m}^2$$

$$S_i = 0.230\text{m} \cdot 0.230\text{m} = 0.053\text{m}^2$$

$$S_m = \sqrt{0.130m^2 \cdot 0.053m^2}$$

$$S_m = 0.082m^2$$

Entonces tenemos:

$$S_m = A = 0.082m^2$$

Hallamos la potencia de la base inferior de horno en W

$$q = \frac{Q}{A} = 1878.1 \text{ W}/m^2$$

$$Q = 1878.1 \text{ W}/m^2 \cdot A$$

$$Q = 1878.1 \text{ W}/m^2 \cdot 0.082m^2$$

Potencia de la base inferior de horno =154.00W

Hallamos la resistencia térmica de la tapa del hornos utilizaremos la tabla del ANEXO D la conductividad térmica del manto cerámico a 800 °C es  $k = 0.24 \text{ W}/m \cdot K$  y el espesor de la tapa será dos capas de manto de 0.025m entonces  $L = 0.050 \text{ m}$ .

La conductividad térmica en la tabla de ANEXO N de la plancha de acero inoxidable a 100 C°  $k = 16.3 \text{ W}/m \cdot K$  y el espesor de la plancha de acero inoxidable de 1/20 de pulgada= 0.00127m

La temperatura dentro del horno a la que calentaremos se considera  $T_h = 800 \text{ C}^\circ$  el cual convertido a grados Kelvin  $T_h = 1073.15K$

El clima es cálido y templado en Cusco y se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura aquí es en promedio 11.2 °C. Y convirtiéndolo a grados Kelvin  $T_a = 284.35K$

$$T_h = 1073.15K$$

$$T_a = 284.35K$$

$$k_1 = 0.24 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$L_1 = 0.050m$$

$$k_2 = 16.3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$L_2 = 0.00127m$$

$$h_i = 59.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_e = 42.54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{1073.15K - 284.35K}{\frac{1}{59.6 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{0.050m}{0.24 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{0.00127m}{16.3 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{42.54 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

$$q = \frac{Q}{A} = 3167.87 \text{ W/m}^2$$

Para hallar el potencial tenemos que multiplicar por el área de la tapa del horno, usamos la fórmula 2-18 tenemos:

$$S_m = \sqrt{S_e S_i}$$

Dónde:

$S_m$  = Superficie media de cálculo.

$S_e$  = Superficie exterior.

$S_i$  = Superficie interior.

Para hallar la superficie media de la puerta del horno tomamos las medidas del plano de ANEXOS E y tenemos:

$$S_e = 0.280m \cdot 0.280m = 0.0784m^2$$

$$S_i = 0.230m \cdot 0.2300m = 0.0529m^2$$

$$S_m = \sqrt{0.0846m^2 \cdot 0.0391m^2}$$

$$S_m = 0.064m^2$$

Entonces tenemos:

$$S_m = A = 0.064m^2$$

Hallamos la potencia de la tapa superior del horno:

$$q = \frac{Q}{A} = 3167.87 W/m^2$$

$$Q = 3167.87 W/m^2 \cdot A$$

$$Q = 3167.87 W/m^2 \cdot 0.064m^2$$

Potencia perdida por la puerta del horno = 202.74 W

**La transmisión de calor de la superficie exterior del horno al ambiente** se calcula mediante

la fórmula 2-17

$$q_{ext} \left( \frac{W}{m^2} \right) = a(T_s - T_a)^{1.25} + 5.67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \left( \frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right]$$

Dónde:

$T_s$  = Temperatura de la calderería exterior.

$T_a$  = Temperatura ambiente exterior.

$\varepsilon$  = Emisividad total de la calderería.

$a$  = Coeficiente que depende de la velocidad del aire. Para aire en calma se toma, 2.71 para pared horizontal hacia arriba, 1.04 pared horizontal hacia abajo, y 2.09 pared vertical.

Como valor medio se puede tomar  $a = 2.2$ .

La transmisión de calor de las paredes laterales de la superficie exterior del horno al ambiente se tiene:

$T_s$  = Temperatura en la superficie exterior del horno (60 °C a grados Kelvin 333.15 K).

$T_a$  = Temperatura ambiente exterior (11.2 °C a grados Kelvin 284.35 K).

$\varepsilon$  = Emisividad total del horno en la Figura 2.5 se considera la emisividad total 0.9

$a$  = de la Figura 2.5 el coeficiente para aire en calma en pared vertical 2.09

Remplazando en la fórmula 2-17 tenemos:

$$q_{ext} \left( \frac{W}{m^2} \right) = 2.09(333.15 \text{ K} - 284.35 \text{ K})^{1.25} + 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4 \cdot$$

$$0.9 \left[ \left( \frac{333.15 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{284.35 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 \right]$$

$$q_{ext \text{ lateral}} = 269.57 \frac{W}{m^2}$$

Para hallar la potencia  $P_{ext \text{ lateral}} = qA$  multiplicamos por su área lateral que ya hallamos para la fórmula anterior:  $S_m = A = 0.058 m^2$

$$P_{ext \text{ lateral}} = 269.57 \frac{W}{m^2} 0.058 m^2 = 15.64 W$$

Como tenemos cuatro caras multiplicamos el potencial por  $4P_{ext \text{ lateral}}$

$$P_{ext \text{ lateral}} = 15.64 W \cdot 4$$

$$P_{ext \text{ lateral}} = 62.54 W$$

### **La transmisión de calor de la pared inferior de la base del horno al ambiente exterior**

Se tiene:

$T_s$  = Temperatura en la superficie exterior del horno (60 °C a grados Kelvin 333.15 K).

$T_a$  = Temperatura ambiente exterior (11.2 °C a grados Kelvin 284.35 K).

$\varepsilon$  = Emisividad total del horno en la Figura 2.5 se considera la emisividad total 0.9

$a$  = de la Figura 2.5 el coeficiente para aire en calma en pared horizontal hacia abajo 1.04

Remplazando en la fórmula 2-17 tenemos:

$$q_{ext inferior} (W/m^2) = 1.04(333.15 \text{ K} - 284.35 \text{ K})^{1.25} + 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4 \cdot$$

$$0.9 \left[ \left( \frac{333.15 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{284.35 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 \right]$$

$$q_{ext inferior} = 134.14 W/m^2$$

Para hallar la potencia  $P_{ext inferior} = qA$  multiplicamos por su área media de la base inferior del horno que ya hallamos anteriormente:

$$S_m = A = 0.082 m^2$$

$$P_{ext inferior} = 134.14 \frac{W}{m^2} 0.082 m^2 = 11.00 W$$

$$P_{ext inferior} = 11.00 W$$

### La transmisión de calor de la tapa superior hacia el exterior del horno al ambiente

Se tiene:

$T_s$  = Temperatura en la superficie exterior del horno (60 °C a grados Kelvin 333.15 K).

$T_a$  = Temperatura ambiente exterior (11.2 °C a grados Kelvin 284.35 K).

$\varepsilon$  = Emisividad total del horno en la Figura 2.5 se considera la emisividad total 0.9

$a$  = de la Figura 2.5 el coeficiente para aire en calma en pared horizontal hacia arriba 2.71

Remplazando en la fórmula 2-17 tenemos:

$$q_{ext superior} (W/m^2) = 2.71(333.15 \text{ K} - 284.35 \text{ K})^{1.25} + 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4 \cdot$$

$$0.9 \left[ \left( \frac{333.15 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{284.35 \text{ K} + 273}{100} \right)^4 \right]$$

$$q_{ext superior} = 349.54 W/m^2$$

Para hallar la potencia  $P_{ext superior} = qA$  multiplicamos por su área media de la tapa del horno que ya hallamos anteriormente:

$$S_m = A = 0.064 m^2$$

$$P_{ext superior} = 349.54 \frac{W}{m^2} 0.064 m^2 = 22.37 W$$

$$P_{ext superior} = 22.37 W$$

#### 4.1.5. Hallaremos el calor requerido de la carga útil en el horno en el proceso de vaciado.

Fórmula del cilindro hueco

$$V = \pi h (R^2 - r^2) \quad (4-1)$$

#### Calor de carga útil de los cilindros de acero inoxidable

El cilindro de acero inoxidable que usaremos para el vaciado tiene las siguientes dimensiones diámetro exterior es de 5 cm, y espesor es 0.3 cm y altura  $h = 14$  cm.

Entonces tenemos:

$R$  = Radio mayor es 2.5 cm convirtiendo a metros 0.025 m.

$r$  = Radio menor es 2.2 cm convirtiendo a metros 0.022 m.

$h$  = Altura es 14 cm convirtiendo a metros 0.14 m.

Remplazando en la fórmula 4-1 se tiene

$$V = \pi \cdot 0.14 ((0.025)^2 - (0.022)^2) m^2$$

$$V = 0.000062 m^3$$

$M$  = Masa de carga útil

$$M = D \cdot V$$

(4-2)

Densidad del acero inoxidable de la tabla de ANEXSOS N es  $7900 \text{ kg/m}^3$

$$M = 7900 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.000062m^3$$

$$M = 0.49kg$$

Calor específico del acero inoxidable de la tabla de ANEXSOS N es  $500 \frac{J}{Kg K}$

$$500 \frac{J}{Kg K} = 0.5 \frac{KJ}{KgK}$$

$$C = (0.5 \frac{KJ}{kgk}) (\frac{1 \frac{wh}{kgk}}{3.6 \frac{KJ}{kgk}})$$

$$C = 0.139 \frac{wh}{KgK}$$

### **Energía absorbida por el cilindro de acero inoxidable**

En este caso tomaremos la temperatura de calentamiento de los cilindros  $540^{\circ}C$  que es la temperatura a la que se calienta el cilindro para el vaciado.

Para hallar la el calor adsorbido por la masa en forma de energía utilizaremos la fórmula

2-35

$$E_a = MC\Delta T_c$$

Donde:

M: masa de la carga (kg).

C: calor específico de la carga (Wh/kg·K).

$\Delta T_c$ : incremento de la temperatura de la carga (K).

$T_f$  = Temperatura final 813.15 K

$T_i$  = Temperatura inicial 284.35 K

Remplazando en la fórmula

$$E_a = (0.49kg)(0.139 \frac{wh}{kg \cdot K})(813.15 - 284.35)K$$

$$E_a = 36.02Wh$$

Potencia requerida para el calentamiento del cilindro de acero inoxidable

Consideraremos 1.5 h

$$P_{cilindro\ inox} = \frac{E_a}{\Delta T}$$

$$P_{cilindro\ inox} = \frac{36.02Wh}{h}$$

$$P_{cilindro\ inox} = 24.01 W$$

Enseguida calcularemos

**El potencial requerido del molde de yeso que se forma dentro de los tubos de acero inoxidable.**

Volumen del molde de yeso

Tomaremos el diámetro interior del tubo de acero inoxidable =0.044m y altura=0.14m

$$V = \frac{\pi}{4}d^2h \quad (4-3)$$

$$V = \frac{\pi}{4}(0.044m)^2 \cdot 0.14m$$

$$V = 0.000213m^3$$

De la tabla 2.2 se tiene

D= Densidad yeso  $1800 \frac{kg}{m^3}$

C = Calor específico  $837 \frac{J}{kgK} = 0.837 \frac{KJ}{kgK}$

$$C = (0.837 \frac{KJ}{kgK}) \left( \frac{1 \frac{wh}{kgK}}{3.6 \frac{KJ}{kgK}} \right)$$

$$C = 0.23 \frac{Wh}{kgK}$$

### Masa de carga útil del molde de yeso

$$M = D \cdot V$$

$$M = 1800 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.000213m^3$$

$$M = 0.38kg$$

### Energía absorbida por el cilindro de yeso

En este caso tomaremos la temperatura de calentamiento de los cilindros 540 °C que es la temperatura a la que se calienta el cilindro para el vaciado.

Para hallar la el calor adsorbido por la masa en forma de energía utilizaremos la fórmula 2-35

$$E_a = MC\Delta T_c$$

Donde:

M: masa de la carga (kg).

C: calor específico de la carga (Wh/kg·K).

$\Delta T_c$ : incremento de la temperatura de la carga (K).

$T_f$  = Temperatura final 813.15 K

$T_i$  = Temperatura inicial 284.35 K

Remplazando en la fórmula

$$E_a = (0.38kg)(0.23 \frac{Wh}{kg \cdot K})(813.15 - 284.35)K$$

$$E_a = 46.22Wh$$

Potencia requerida para el calentamiento del cilindro de yeso

Consideraremos 1.5 h

$$P_{cilindro\ yeso} = \frac{E_a}{\Delta T}$$

$$P_{cilindro\ yeso} = \frac{46.22Wh}{1.5h}$$

$$P_{cilindro\ yeso} = 30.81\ W$$

Entonces para hallar el potencial total del cilindro del molde de vaciado

$$P_{cilindro} = P_{cilindro\ inox} + P_{cilindro\ yeso}$$

$$P_{cilindro} = 24.01\ W + 30.81\ W$$

$$P_{cilindro} = 54.82\ W$$

**El horno en carga llena a su máxima capacidad de trabajo opera con 16 cilindros**

$P_{carga\ util}$  =Potencial carga utili a su máxima capacidad

$$P_{carga\ util} = (16)(54.82\ W)$$

$$P_{carga\ util} = 877.12\ W$$

Potencia total Requerida en nuestro horno a fabricar será la suma de todos los potenciales como:

$P_{paredes\ laterales}$  = Potencial perdida de las cuatro paredes laterales de los bates del horno (435.72 W).

$P_{base\ inferior}$  = Potencial perdida de la base inferior de la batea del horno (154.00 W).

$P_{tapa\ superior}$  = Potencial perdida de la tapa superior del horno (202.74 W).

$P_{ext\ lateral}$  = Potencial perdida de la superficie exterior de las 4 paredes laterales del horno (62.54W).

$P_{ext\ inferior}$  = Potencial perdida de la superficie exterior de la base inferior del horno (11.00 W).

$P_{ext\ superior}$  = Potencial perdida de la superficie exterior puerta superior del horno (22.37 W).

$P_{\text{carga útil}} = \text{Potencial de la carga útil a capacidad llena (877.12 W)}$ .

$P = \text{Potencial total será la suma de todas las potencias antes halladas.}$

$$P = 435.72W + 154.00W + 202.74W + 62.54W + 11.00W + 22.37W + 877.12W$$

$$\mathbf{P = 1765.49W}$$

#### 4.2. Diseño de la resistencia para el calentamiento.

Potencia Requerida  $P = 1765.49W$

Tensión de Alimentación  $V = 220V$

Temperatura de Ejecución  $800^{\circ}C$

De acuerdo a la Figura 2.9 para  $800^{\circ}C$  la carga específica  $p = 3.5 W/cm^2$

En la Tabla 2.1 el coeficiente de resistividad para  $800^{\circ}C = 1.018$

Por lo tanto usaremos la Fórmula 2-24

$$\frac{Ac}{R_{20}} = \frac{P^2 C_t}{V^2 p}$$

Dónde:

$\frac{Ac}{R_{20}} = \text{Superficie radiante con la resistencia a } 20^{\circ}C$

$P = \text{Potencia Requerida por el horno } 1743.12W$

$C_t = \text{Coeficiente de resistividad } 1.018$

$V = \text{Tensión de Alimentación } 220V$

$p = \text{Carga específica } 3.5 W/cm^2+$

$$\frac{Ac}{R_{20}} = \frac{(1765.49W)^2 \cdot 1.018}{(220V)^2 \cdot 3.5 W/cm^2}$$

$$\frac{Ac}{R_{20}} = 18.73 \frac{cm^2}{\Omega}$$

Para hallar el diámetro del alambre nicromo utilizaremos la Fórmula 2-25:

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 \frac{\rho C_t}{p}}$$

Dónde:

$P$  = Potencia total requerida del horno 1743.12W

$V$  = Tensión de Alimentación 220V

$\rho$  = Resistividad eléctrica de la Tabla 2.1 para una temperatura de 800°C tenemos:

114X10<sup>-6</sup>Ωcm

$C_t$  = Coeficiente de resistividad de la Tabla 2.1 para 800°C tenemos: 1.018

$p$  = Carga específica 3.5 W/cm<sup>2</sup>

Remplazando en la Fórmula 2-25 tenemos

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{1743.12W}{220V}\right)^2 \frac{114X10^{-6}\Omega cm \cdot 1.018}{3.5 W/cm^2}}$$

$$d = 0.09 \text{ cm}$$

El diámetro de la resistencia  $d=0.09\text{cm} = 0.9\text{mm}$

Por lo tanto, de la ley de Ohm.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1765.49W}{220V}$$

$$I = 8.02 \text{ A}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220 \text{ V}}{8.02 \text{ A}}$$

$$R = 27.43 \Omega$$

La resistividad del micrón 80/20 de la Tabla 2.1 para 800 °C

$$\rho = 114 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$$

Por lo tanto deducimos la resistencia que existe para un metro de micrón a 20°C

$$R_{20} = \rho \frac{L}{A}$$

$$R_{20} = \frac{(114 \times 10^{-6} \Omega \text{cm})(100 \text{cm})}{(0.045 \text{cm})^2}$$

$$R_{20} = 1.79 \Omega$$

Así sabemos que por cada metro habrá  $1.79 \frac{\Omega}{m}$

### Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo

Tomando de la tabla 2.1 se tiene el coeficiente de resistividad a 800°C es 1.018

Y remplazamos en la fórmula 2-21

$$R_T = C_t R_{20}$$

$$R_T = (1.018) \left( 1.79 \frac{\Omega}{m} \right)$$

$$R_T = 1.82 \frac{\Omega}{m}$$

$$L = \frac{R}{R_T}$$

$$L = \frac{27.43 \Omega}{1.82 \frac{\Omega}{m}}$$

$$L = 15.1 m$$

Hallamos el diámetro de la espiral

$$D = 6 \cdot d$$

$$D = 6 \cdot 0.09cm$$

$$D = 0.54cm$$

Numero de Espiras

$$N = \frac{L}{\pi(D - d)}$$

$$N = \frac{1520cm}{(0.54cm - 0.09cm)}$$

$$N = 1067.9$$

La longitud arrollada de espiras es:

$$L = (1075.2)(0.09cm)$$

$$L = 96.11cm$$

### 4.3. Inyectora

#### 4.3.1. Cálculos del crisol

El crisol es el único particular sometido a cálculos, debido a que en éste se concentra todo el trabajo y será el único particular que estará sometido a grandes esfuerzos. Por lo tanto, se necesita saber si su forma es la correcta, qué presión neumática puede soportar, su relación con la temperatura, espesor de paredes, resistencia de soldaduras, etc.

Conjuntamente saldrán datos neumáticos importantes para tener una idea de los materiales que necesitamos.

*Tabla 4-1*

*Datos del crisol*

Diámetro (m)	Ø	0.10
Altura (m)	H	0.22
Volumen (m <sup>3</sup> )	V	0.0001727

*Nota: los valores son tomados de los planos: ANEXO D*

El aire es compresible

Para el cálculo de los datos iniciales son

$$P_1 = 1\text{Bar} \approx 100\text{kPa}$$

$$V_1 = 0.0001727\text{m}^3$$

$$V_2 = \frac{1}{3} V_1 = \frac{1}{3} 0.0001727\text{m}^3$$

$$V_2 = 0.0000576\text{m}^3$$

Estos datos están en base al volumen total del crisol, volumen final que tendría de capacidad, y una presión inicial permitida por el regulador de presión.

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{100\text{KPa} \cdot 0.0001727\text{m}^3}{0.0000576\text{m}^3}$$

$$P_2 = 300\text{kPa}$$

#### 4.3.2. El volumen del aire en función de la temperatura

Entonces tomando el caso en que se comience al uso de la inyectora a una temperatura ambiente de 20 °C y con los 2/3 de capacidad total del crisol hasta llegar a una temperatura hipotética de 100°C, existirá peligro de que el volumen del aire se dilate hasta el máximo de la capacidad del crisol

$$V_2 = \frac{2}{3} V_1$$

$$V_2 = \frac{2}{3} 0.0001727\text{m}^3$$

$$V_2 = 0.0001151\text{m}^3$$

$$T_1 = 11.2^\circ\text{C}$$

$$V_2 = ?$$

$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

Entonces se reemplaza en la fórmula:

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273^\circ\text{C} + T_1} (T_2 - T_1)$$

$$V_2 = 0.0001151\text{m}^3 + \frac{0.0001151\text{m}^3}{273^\circ\text{C} + 11.2^\circ\text{C}} (100^\circ\text{C} - 11.2^\circ\text{C})$$

$$V_2 = 0.0001511\text{m}^3$$

El volumen máximo de capacidad del crisol es de  $0.0001727 \text{ m}^3$ , por lo tanto, el cálculo es correcto y seguro.

#### 4.3.3. Presión total

Los tubos i tanques pueden ser sometidos a una presión desde el interior o también desde el exterior, en el primer caso están sometidos al esfuerzo de tracción en el segundo a compresión.

#### 4.3.4. Cálculo de la resistencia mecánica de los recipientes de paredes delgadas:

A los espesores (e) así determinados, se le debe añadir una constante c para tomar en cuenta las exigencias de fabricación y del continuo deterioro, por consiguiente, la fórmula definitiva es:

$$e = \frac{PD}{2K} + c$$

Dónde:

c=3 para acero y cobre

c=6-10 para la fundición y el bronce.

Entonces para este caso se aplica las siguientes condiciones:

Tabla 4-2

Condiciones del recipiente de paredes delgadas

Presión	P	12 Bar	1.2 Mpa
Diámetro	D	10 cm	0.10 m
Carga de seguridad	K	140 N/mm <sup>2</sup>	Acero normal
Coefficiente de seguridad	C	3	Cobre y acero

Nota: Los valores son tomados de los cálculos anteriores

$$e = \frac{PD}{2K} + c$$

$$e = \frac{1.2Mpa \cdot 0.10m}{2 \cdot 140 \frac{N}{mm^2}} + 3$$

$$e = 3.429mm$$

Por lo tanto, el resultado es usar una plancha de 3.429 mm de espesor, pero por razones de seguridad, construcción y estructura, las paredes del crisol serán de 5mm de espesor.

#### 4.3.5. Cálculo de presión interna en recipiente

Establecido el espesor del crisol, calculamos la fuerza o presión que sería capaz de resistir y paralelamente obtener un coeficiente de seguridad K para aplicarlos en el cálculo de soldadura.

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

$$S = DL$$

$$F = PS$$

$$F = PDL$$

$$F = 1.2Mpa \cdot 0.10m \cdot 0.22m$$

$$F = 1200000 \frac{N}{m^2} \cdot 0.10m \cdot 0.22m$$

$$F = 26400N$$

La presión que es capaz de resistir el crisol en su máxima capacidad para el regulador de presión que es de 12 bares es de 26400 N.

#### 4.3.6. Resistencia de las soldaduras

$$K = \frac{T}{S}$$

$$T = SK$$

$$S = eb$$

Dónde:

K= Carga de seguridad

b = Longitud de soldadura

e = Espesor de la plancha

S = Sección de la soldadura

T = resistencia de la soldadura.

Carga de seguridad en las soldaduras según el código de soldaduras por fusión de sociedad americana de la soldadura (AWS) determina las cargas de seguridades siguientes para las soldaduras de estructuras.

A corte  $K = 790 \text{ daN/cm}^2$

A tracción  $K = 910 \text{ daN/cm}^2$

A compresión  $K = 1260 \text{ daN/cm}^2$

Entonces para este caso se aplica las siguientes condiciones:

Tabla 4-3

Resistencia de soldaduras

	Símbolo	Conversión de mm a cm	
Espesor	e	3.429mm	0.3429 cm
Longitud de soldadura	b	220mm	22 cm
Carga de seguridad	K	790 daN/cm <sup>2</sup>	a corte

Nota: Los datos son tomados de los cálculos anteriores y de la teoría

Fuente. Elaboración propia

$$T = SK$$

$$T = ebK$$

$$T = 0.3429cm \cdot 22cm \cdot 790 \frac{daN}{cm^2}$$

$$T = 59590N$$

La costura de soldadura en el crisol podrá soportar una carga de 90850 N.

### Verificación

Por lo tanto, para que el cálculo de resultado se debe cumplir con la siguiente condición

$$F \leq T$$

Que significa que la resistencia al corte de la costura de la soldadura en arco voltaico t debe ser igual o mayor a la presión interior que se produce en el cilindro o en este caso crisol F.

$$26400N \leq 59590N$$

El proceso de soldadura se lo realizo con arco, con electrodo E-6013 y amperaje de 100 A.

## 4.1. Vulcanizadora

### 4.1.1. Cálculo de la potencia eléctrica del control de temperatura

Es necesario incorporar a la máquina un dispositivo que controle el suministro de

energía a través de bases cilíndricas. De esta manera, se hace un estudio de la relación existente entre las principales variables que intervienen en el proceso del vulcanizado.

Energía suministrada.

Temperatura de vulcanizado.

Temperatura superficial de las bases cilíndricas para cada instante de tiempo.

Temperatura ambiente en la cual trabaja la máquina.

Tiempo de calentamiento de las bases cilíndricas.

El análisis se lo realiza en base a la ecuación de la conservación de la energía, aplicada a un volumen de control representado en la Figura 3.1

Dónde:

$E_e$  = Energía de entrada (W)

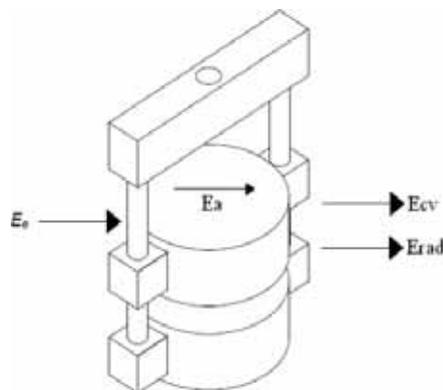
$E_a$  = Energía acumulada en los enfriadores (W/h)

$E_{cv}$  = Energía perdida al ambiente por convección (W).

$E_{rad}$  = Energía perdida por radiación (W)

*Figura 4-3*

*Diseño de una Vulcanizadora*



*Fuente: Elaboración propia*

$$E_e = E_a + E_{cv} + E_{rad}$$

#### 4.1.2. Calor acumulado en las bases cilíndricas del vulcanizado

Toda la energía que se acumula en las bases es para mantener la temperatura de trabajo constante en la fórmula 2-35 se tiene:

$$E_a = M C \frac{dt}{d\phi}$$

Dónde:

M = Masa de los enfriadores (kg.)

C = Calor específico de los enfriadores de aluminio (Wh/kg.k)

$\frac{dt}{d\phi}$  = Variación de la temperatura de calentamiento con respecto al tiempo

(k/h) en grados kelvin por hora.

La energía que se acumula en las bases, depende de la temperatura que estos alcancen en un determinado tiempo, iniciando el proceso de calentamiento a través de la lámina en la cara del enfriador.

Las dimensiones de la base de aluminio son:

r = radio de la base de aluminio: 0.08m

h = altura de la base de aluminio: 0.02m

De la Tabla 2.2 se tiene calor específico y densidad del aluminio

C = calor específico: 909 J/kg.k

$\rho$  = Densidad del aluminio 2700 kg /m<sup>3</sup>

La masa de las bases cilíndricas se calcula con la siguiente expresión:

$$M = \rho \pi r^2 h$$

Dónde:

$r$  = Radio de la base cilíndrica ( $m^2$ )

$\rho$  = Densidad del aluminio. ( $kg /m^3$ )

$h$  = altura de la base cilíndrica. (m)

Reemplazando los valores en cada uno de los términos se obtiene:

$$M = 2700 \text{ kg. } /m^3 \cdot 3.1416 \cdot (0.08m)^2 \cdot 0.02m$$

$$M = 1.086 \text{ kg.}$$

La energía acumulada en los enfriadores se obtiene reemplazando valores en la Fórmula 2-35:

$$T_f = 180 \text{ }^\circ\text{C} = 453.15 \text{ k}$$

$$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293.15 \text{ k}$$

$$M = 1.08 \text{ kg}$$

$$C = 909 \text{ J/kg.k}$$

Entonces  $(0.909K \text{ J/kg.k})(1)$

$$C = 0.909 \frac{KJ}{kgk} \times \frac{1Wh/kg.k}{3.6 \frac{KJ}{kgk}}$$

$$C = 0.2525Wh/kg.k$$

$$E_a = M.C \frac{dt}{d\phi}$$

$$E_a = 1.086 \text{ kg} \cdot 0.2525Wh/kg.k \cdot \frac{(453.15 \text{ K} - 293.15 \text{ K})}{d\phi}$$

$$E_a = 43.87 \text{ Wh}/d\phi$$

#### 4.1.3. Calor perdido por convección

Las pérdidas por convección al ambiente se calculan con la siguiente ecuación:

$$E_{cv} = h.A.DT$$

Dónde:

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección  $5.95 \text{ W/m}^2\text{k}$

$A$  = Área de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )

$DT$  = Gradiente de temperatura (k)

El área de convección de la base cilíndrica de aluminio se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_t = A_1 + A_2$$

$$A_1 = \pi r^2$$

$$A_2 = 2\pi r h$$

$$A_1 = (3.1416) (0.08\text{m})^2$$

$$A_1 = 0.02 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 (3.1416) (0.08\text{m}) (0.02\text{m})$$

$$A_2 = 0.01 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0.02 + 0.01$$

$$A_t = 0.03 \text{ m}^2$$

Reemplazando los valores se obtiene  $A = 0.03 \text{ m}^2$ .

Se utiliza la ecuación simplificada para calcular la energía perdida por convección:

$$E_{cv} = (5.95 \text{ W/m}^2\text{k}) (0.03\text{m}) (453.15 \text{ k} - 293.15 \text{ k})$$

$$E_{cv} = 28.56 \text{ Wh}$$

#### 4.1.4. Calor perdido por radiación

La ecuación para calcular estas pérdidas es:

$$E_{rad} = \varepsilon * \sigma_{sb} * A * (T_f^4 - T_a^4)$$

Dónde:

$\varepsilon$  = Emisividad 0.17

$T_f$  = Temperatura absoluta superficial de la base cilíndrica

$T_a$  = Temperatura absoluta de los alrededores.

$$E_{rad} = (0.17) (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4) ((453.15 \text{ k})^4 - (293.15 \text{ k})^4)$$

$$E_{rad} = 2.3917 \times 10^{-10} \text{ W} ((453.15 \text{ k})^4 - (293.15 \text{ k})^4)$$

$$E_{rad} = 10.08 \text{ Wh}$$

Para calcular conservación de la energía, aplicada

$$E_e = E_a + E_{cv} + E_{rad}$$

Los valores son:

$$E_e = M \cdot C_p \frac{dt}{d\phi} + E_{cv} + E_{rad}$$

Datos:

$$E_a = 43.87 \text{ Wh/ } d\phi$$

$$E_{cv} = 28.56 \text{ Wh}$$

$$E_{rad} = 10.08 \text{ Wh}$$

$$E_e = (43.87 \text{ Wh/ } d\phi) + (28.56 \text{ W} + (10.08 \text{ W}))$$

$$E_e = 82.51 \text{ Wh/ } d\phi$$

Dónde:

$t_i$  = tiempo inicial = 0

$t_f$  = tiempo final

$$d\phi = (\phi_f - \phi_i)$$

$$E_e = 82.51 \text{ Wh/ } t_f$$

$$\phi_f = 82.51 \text{ Wh/ } E_e$$

Hallar una tabla con distintos potenciales

Tabla 4-4

*Energía entregada a las láminas y tiempo de calentamiento*

$E_a$ (W)	$\phi$ (h)	$\phi$ (min)
100	0.8251	49.5
200	0.4126	24.8
300	0.2750	16.5
400	0.2063	12.4
500	0.1650	9.9
1000	0.0825	5.0
1500	0.0550	3.3

*Nota: pruebas realizadas en la vulcanizadora*

El balance de energía para el análisis es el siguiente:

$$E_e = E_{cv} + E_{vul}$$

Dónde:

$E_e$  = Energía que compensa el calor perdido a través del molde de caucho (W)

$E_{cv}$  = Energía que se pierde por convección y radiación a los alrededores (W)

$E_{vul}$  = Energía absorbida por el caucho (W)

#### 4.1.5. Calor ganado por el molde de caucho.

La energía aprovechada por el molde de caucho, es la requerida para su ablandamiento y se calcula de la siguiente manera:

$$E_{vul} = (M \cdot C_p) \int_b \frac{dT}{dt}$$

Dónde:

$m$  = Masa del molde de caucho (kg)

$C_p$  = Calor específico del caucho (Wh/kg°C)

$dT$  = Variación de la temperatura con respecto al tiempo (°C/h)

Las propiedades del caucho butadieno son

$\rho$  = Densidad del caucho. = 1700(kg. /m<sup>3</sup>)

$C_p$  = Calor específico del caucho W.h/kg.k

$$C_p = 1000 \text{ J.kg.k}$$

$$C_p = \frac{1KJ}{kg \text{ K}} * \frac{1Wh}{\frac{3.6KJ}{kg.k}}$$

$$C_p = 0.28 \frac{Wh}{kg.k}$$

El área del volumen de vulcanizado de caucho.

$$V_{vul} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{vul} = (3.1416)(0.05m)^2 (0.02m)$$

$$V_{vul} = 0.00015708m^3$$

La masa de la vulcanizadora es:

$$M = \rho * v$$

$$M = (1700(\text{kg. /m}^3)) (0.00015708 \text{ m}^3)$$

$$M = 0.27 \text{ kg}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.77, se obtiene:

$$E_{vul} = (M * C_p) \int_b \frac{dt}{d\phi}$$

$$E_{vul} = (0.27Kg)(0.28 Wh/(kg * k)) \int_b \frac{(453.15 - 295.15)k}{(0.33 - 0)k}$$

$$E_{vul} = 35.35$$

## CAPÍTULO V

### SELECCIÓN DE MATERIALES

#### 5.1. Materiales para el horno eléctrico

Tabla 5-1

Materiales para el horno eléctrico

	material	medida(pulg.)	soldabilidad	propiedades mecánicas	
<b>Horno eléctrico</b>	Angulo Estructural ASTM A36	1½ x 1/8"	Buena	Límite de fluencia mínimo	2,530 kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	4,080-5,620 kg/cm <sup>2</sup>
				Conductividad térmica a 1000°C	16W/mk
	Acero Inoxidable ASTM(AISI) 304	1/40"	Buena	Coefficiente de dilatación térmico medio a 700°C	18.80X10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup>
	Plancha BLAC A36, PD LAC A36.	1/32"	Buena	Límite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	4,080 -5,610kg/cm <sup>2</sup>
	Platina PLAT A36. ASTM A36/A36	1 ½ x 3/8"	Buena	Límite de fluencia	2,530kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>

FUENTE: Elaboración propia

## 5.2. Materiales para la vulcanizadora

Tabla 5-2

Materiales para la vulcanizadora

	Material	Medida pulg	soldabilidad	propiedades mecánicas	
Vulcanizadora	Plancha BLAC A36, PD LAC A36.	3/32"	Buena	Limite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Barra redonda Liso SAE 1045	7/8"	Buena	Limite de fluencia	4,000 -5,500kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	6,700 -8,200kg/cm <sup>2</sup>
	Barra redonda Liso SAE1045	1"	Buena	Limite de fluencia	4,000 -5,500kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	6,700 -8,200kg/cm <sup>2</sup>
	Platina PLAT A36. ASTM A36/A36	2x1/2"	Buena	Limite de fluencia	2,530kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Tubo lac ASTM500	1"	Buena	Limite de fluencia	230MPa
				resistencia a la tracción	310MPa
	Tubo LAC ASTM A500	6"	Buena	Limite de fluencia	230MPa
				resistencia a la tracción	230MPa

FUENTE: Elaboración propia

### 5.3. Materiales para la inyectora de cera

Tabla 5-3

Materiales para la inyectora de cera

Material	medida (pulg.)	soldabilidad	propiedades mecánicas		
Inyectora de cera	Planchas BLAC A36, PD LAC A36.	1/2"	Buena	Límite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Planchas BLAC A36, PD LAC A36.	1/64"	Buena	Limite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Barra Redondas Redo Liso SAE1045	1"	Buena	Limite de fluencia	4,000 -5,500kg/cm <sup>2</sup>
				Resistencia a la tracción	6,700 -8,200kg/cm <sup>2</sup>
Tubo LAC ASTM A500-A	4"	Buena	Limite de fluencia	230MPa	
			Resistencia a la tracción	310MPa	

FUENTE: Elaboración propia

#### 5.4. Materiales para la máquina de fundición al vacío

Tabla 5-4

Materiales para la máquina de fundición al vacío

	material	medida (pulg.)	soldabilidad	propiedades mecánicas	
Máquina de Fundición al Vacío	Planchas BLAC A36, PD LAC A36.	3/32"	Buena	Límite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080-5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Planchas BLAC A36, PD LAC A36.	1/64"	Buena	Límite de fluencia	2,550kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	PLAT A36 ASTM A36/A36 m	1/2x1/8"	Buena	Límite de fluencia mínimo	2,530kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080 -5,620kg/cm <sup>2</sup>
	Angulos ASTM A36/A36m	1 1/2x1/8"	Buena	Límite de fluencia	2,530kg/cm <sup>2</sup>
				resistencia a la tracción	4,080-5620kg/cm <sup>2</sup>

Nota: Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO VI

### FABRICACIÓN DEL MÓDULO DE CASTING

#### 6.1. Fabricación del horno de resistencia

##### 6.1.1. Bancada del horno

Primero se realiza el corte del angular de 1 1/2" x 1/8" para obtener un armazón de 60 cm de altura con un cuadrado de 36 x 36 cm, realizando su respectiva soldadura con cellocord AP E6011 seguidamente procedemos al esmerilado y lijado tal como podemos ver en la fotografía

6.1.

*Fotografía 6.1*

*Bancada del horno eléctrico de resistencia*



*Fuente: Elaboración propia*

### 6.1.2. Caja de acero inoxidable

Procedemos al corte de la plancha de acero inoxidable de espesor de 1/20", realizamos el plegado para dar la forma necesaria, fijándolo con soldadura de punto de esta manera obtenemos la caja donde se alojarán los ladrillos, de la misma manera se realiza la tapa del horno en plancha de acero inoxidable el cual se fija en la caja del horno con la bisagra hechos de angular y platina tal como se ve en la fotografía 6.2.

*Fotografía 6.2*

*Caja para el alojamiento de los ladrillos refractarios*



*Fuente: Elaboración propia*

### 6.1.3. Caja de control

Para su fabricación usaremos plancha negra de un 1/20" de pulgada procediendo a cortar en las medidas de acuerdo al diseño del plano una vez realizado todos los cortes procedemos a realizar al plegado y armado con soldadura de punto, realizamos los huecos cuadrados donde se alojarán el pirómetro, el termo magnético y el contactór, procedemos a lijar y pintar con esmalte tal como se puede ver en la fotografía 6.3

*Fotografía 6.3 Caja donde se instalara el control del horno*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **6.1.4. Armazón del horno**

El armazón del horno una vez realizado toda la soldadura y empernado se realiza el pintado para proceder a realizar la instalación eléctrica como se ve en la fotografía 6.4

*Fotografía 6.4*

*Armado del horno de resistencia fabricado*



*Fuente: Elaboración propia*

### 6.1.5. Armado de los ladrillos

Para realizar la batea del horno se colocarán los ladrillos refractarios de tal manera que se entrelacen entre ellos el cual permitirá obtener una batea rígida y sin necesidad de utilizar ningún pagamento o pasta cerámica adicional como se ve en la fotografía 6.5

*Fotografía 6.5*

*Ensamblado de ladrillos*



*Fuente: Elaboración propia*

### 6.1.6. Acanalado de los ladrillos

Para realizar el acanalado de los ladrillos utilizaremos un cuchillo de forma de U el cual nos hacemos de una pedazo de plancha a la medida de la espiral, siendo una característica de este ladrillo fácil de ser tallado a la forma necesaria para alojar el espiral de resistencia como se ve en la fotografía 6.6

### 6.1.7. Resistencia eléctrica

Realizaremos los siguientes pasos:

Se tiene que el diámetro del nicron es 0.9 mm la longitud que necesitamos es 15.2 m en cual enrollamos en espiral de 5.4 mm de diámetro con una longitud total de 0.97m al que hacemos la separación necesaria para distribuirla en toda la longitud del canal que realizamos en los ladrillos.

*Fotografía 6.6*

*Acanalado para ladrillos refractarios*



*Fuente: Elaboración propia*

Para fijar la resistencia en todo el canal del horno usaremos unas grapas hechas del mismo alambre de la resistencia que nos servirá para fijarlo a presión en todo el canal del horno.

#### **6.1.8. Instalación eléctrica**

En la instalación eléctrica necesitaremos los siguientes componentes:

Cable, pirómetro, contactor, termo magnético y termocupla, podemos ver en la fotografía 6.7

En la caja de control del horno procedemos a realizar la instalación.

*Fotografía 6.7*

*Accesorios eléctricos*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **6.2. Inyectora de cera**

Para la fabricación de la de la Inyectora realizamos los siguientes pasos

### 6.2.1. Crisol de la inyectora

El crisol de la inyectora es el componente donde se aloja la cera para ser calentada y recibe el aire presurizado para que pueda evacuar el material fundido por la pipeta de inyección.

### 6.2.2. Preparado del material

El tubo de 4" de espesor, cortamos en una longitud de 22 cm, y lo refrentamos en el torno por ambos lados como se ve en la fotografía 6.8

*Fotografía 6.8*

*Tubo para el crisol*



*Fuente: Elaboración propia*

Cortamos la plancha negra de ½ "de espesor en diámetros de 22 cm exterior y 10 cm interior en forma de una volanda el que torneamos para la parte superior del crisol de la inyectora como vemos en la fotografía 6.9

*Fotografía 6.9*

*Volanda de la parte superior de la inyectora*



*Fuente: Elaboración propia*

También cortamos la plancha de  $\frac{1}{2}$ " de espesor en un diámetro de 10.5 cm para la base del crisol como vemos en la fotografía 6.10.

*Fotografía 6.10*

*Base de la parte inferior de la inyectora*



Fuente: Elaboración propia

### **6.2.3. Soldado de las piezas mecanizadas**

Procedemos a soldar con cellocord AP E6011 ya que este nos permite una adecuada penetración y sellado hermético de la soldadura para que de esa manera soporte la presión neumática del aire y no permita fuga alguna esto es muy importante porque nos permitirá lograr una adecuada inyección de la cera en la fotografía 6.11 vemos el crisol soldado

*Fotografía 6.11*

*Borde Inferior de la inyectora*



Fuente: Elaboración propia

### **6.2.4. Carcasa de la inyectora**

Es en ella donde se aloja el crisol la boquilla de inyección y toda la instalación eléctrica y es por ello que el material elegido es de un grosor adecuado que soporte el paso y la presión

necesaria al momento del inyectado

### 6.2.5. Preparación del material

Para esto utilizaremos Plancha BLAC A36, PD LAC A 36 de 1/64” el cual procedemos a cortar de acuerdo a la medida que se establece en el plano tanto del cilindro como de la caja que alojará el pirómetro y la base rectangular donde se fijará toda la carcasa y además permitirá fijar en la mesa de trabajo.

### 6.2.6. Plegado y rolado

Es en ella donde se aloja el crisol la boquilla de inyección y toda la instalación eléctrica y es por ello que el material elegido es de un grosor adecuado que soporte el paso del crisol y al momento del inyectado. para esto utilizaremos la plancha de 1/64” el cual procedemos a cortar, plegar y soldar se procede al esmerilado, masillado, y lijado para poder pintarlo con una pintura base de anticorrosivo para un posterior pintado de acabado con esmalte el resultado se ve en la fotografía 6.12 del armazón.

*Fotografía 6.12*

*Carcasa de la inyectora*



*Fuente: Elaboración propia*

Después de terminado el armazón, se monta el crisol para realizar la instalación eléctrica.

## 6.3. Vulcanizadora

Como primer paso cortamos 2 tubos de 6" de diámetro por 5 cm de altura para fijar las bases de aluminio fotografía 6.13, se procede a torneado ambas caras para garantizar tener unas superficies planas y paralelas donde fijamos las bases de aluminio torneados.

*Fotografía 6.13*

Soporte de las bases de aluminio



Fuente: Elaboración propia

### **6.3.1. Armazón de la vulcanizadora**

La base del armazón de la vulcanizadora fotografía 6.14 está fabricado en plancha de 3/32" de espesor, es la parte principal de la máquina en ella es donde se presiona el molde de caucho al momento de vulcanizarlo y además aloja el cableado eléctrico de la máquina, las dimensiones deben de ser las adecuadas porque en ella va la termocupla el piloto y el interruptor de la máquina.

*Fotografía 6.14*

*Base de la vulcanizadora*



Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2. Ejes de guía de deslizamiento

Se realiza el armado de los ejes laterales cromados fotografía 6.15 en los cuales se desliza la parte superior de la base de aluminio ejerciendo una presión al molde de caucho por medio de un eje roscado accionado por un volante de aluminio.

*Fotografía 6.15*

*Armado de los ejes*



*Fuente: Elaboración propia*

### 6.3.3. Eje roscado

Procedemos al torneado del volante de a aluminio que irá en la parte superior de la vulcanizadora que servirá para ajustar a manera de prensa con el eje roscado de 1" ambas bases de aluminio el cual pensará el molde de caucho al vulcanizarlo. En la parte inferior del eje roscado se ajusta un rodamiento cónico que permitirá el deslizamiento al momento de presionar ambas caras como se ve en la fotografía 6.16.

*Fotografía 6.16*

*Eje roscado*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.4. Armado de la vulcanizadora

Una vez armado la vulcanizadora se procede al lijado y decapado para luego proceder a pintar, para dicho proceso primero utilizaremos una pintura base que nos permita proteger de la corrosión y luego se realiza el pintado con pintura esmalte fotografía 6.17

*Fotografía 6.17*

*Armado de la vulcanizadora*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.5. Instalación eléctrica

Para la instalación eléctrica utilizamos cable aislado con asbesto que soporte la temperatura, dos terminales de loza con bronce, dos resistencias cada una de 1000 W de potencia, terminales de bronce hembras, un interruptor de codo de 220 V, un foco piloto de 220 V y el termostato capilar de rango de trabajo de 50 a 350 °C como se ve en la fotografía 2.18

*Fotografía 6.18*

*Accesorios para la instalación eléctrica*



*Fuente: Elaboración propia*

Procedemos a la instalación de las resistencias blindadas que se fijan en la base de aluminio con plancha y perno al aluminio, también se fija la termocupla esto nos permite la lectura del vulcanizador las dos resistencias se instalarán en paralelo. Junto con el foco piloto que nos indicará el momento en que el vulcanizador llegó a la temperatura adecuada para empezar a contar el tiempo en el que se cocina el jebe porque este variará de acuerdo al tamaño del molde.

## **6.4. Máquina de fundición al vacío**

### **6.4.1. Preparación del material**

Realizaremos la parte de la base o mesa esta parte es muy importante ya que este contendrá el motor de la Máquina de Fundición al Vacío como la olla de succión de las burbujas del yeso, y el cilindro de vaciado, como primer paso realizaremos el trazado y corte de la plancha de 1/64" de grosor en las dimensiones tal como está especificado en el plano tanto del cajón de la mesa y de la tapa al mismo tiempo se realiza el trazado y corte de la olla de succión y del cilindro del vaciado. Se procede al plegado del cajón de la mesa y la tapa y rolado de la olla de succión y el cilindro de vaciado fotografía 6.19

*Fotografía 6.19*

*Carcasa del cilindro de succión*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **6.4.2. Soldado y pintado**

Una vez soldado del armazón tanto de la mesa como de los dos cilindros, procedemos al esmerilado, lijado y decapado de la mesa y las ollas de la máquina el cual pintamos con base gris y luego con pintura esmalte y proteger de la corrosión la máquina fotografía 6.20

#### **6.4.3. Instalación eléctrica**

Procedemos a la instalación del motor de la máquina de fundición al vacío dentro de la máquina, como se observa en la fotografía 6.21, para lo cual necesitaremos dos metros de manguera, un filtro, dos llaves de paso, ocho abrazaderas, un manómetro de vacío que permita ver la presión negativa a la que se llega en el momento del vaciado.

*Fotografía 6.20*

*Armado de la máquina de fundición al vacío*



*Fuente: Elaboración propia*

Fotografía 6.21

Maquina de Fundicion al Vacio de 2 etapas



Fuente: Elaboración propia

Realizamos la instalación eléctrica y ponemos un interruptor de codo y una luz piloto que nos indique el momento que se realiza la succión del vacío. Fotografía 6.22

Fotografía 6.22

Accesorios para la Maquina de Fundicion al Vacio



Fuente: Elaboración Propia

### 6.5. Comparación factico experimental del módulo de casting

En la tabla 6.1 detallamos la diferencia entre el horno de fabricación industrial y el horno fabricado en el Cusco.

La tabla muestra los rendimientos de ambos artefactos respecto a los indicadores de tiempo de calentamiento, costo del proceso, piezas vaciadas por unidad, mantenimiento y posición de los cilindros de trabajo.

La inyectora de cera tiene que ver con la alimentación de aire, temperatura, potencial de consumo visualizándose diferencias significativas el cual se detalla en la tabla 6.2

*Tabla 6-1*

*Comparación fáctica del horno eléctrico fabricación Importada y de fabricado en el Cusco*

<b>horno eléctrico</b>		
	<b>fabricación Importada</b>	<b>fabricado en el cusco</b>
Costo del proceso	elevado	Económico
Calentamiento de los cilindro	No es uniforme	Completamente uniforme
Disposición de las Resistencia	En 3 paredes verticales	En 4 paredes verticales
Piezas obtenidas al vaciado	Algunas hervidas o con micro poro	Completamente uniforme
Mantenimiento	Complicado las resistencias vienen sellados con pasta cerámica	Fácil totalmente accesible
Puerta del Horno	En la pared frontal del horno	En la pared superior del horno

*Fuente: Elaboración propia en función de resultados comparativos*

Respecto a la Vulcanizadora de Caucho los indicadores relevantes tienen que ver con el tiempo de calentamiento, apriete de volante, mantenimiento y el tamaño de molde vulcanizado, en cada uno de estos aspectos el módulo fabricado es definitivamente superior.

En la tabla 6.4 detallamos la comparación de ambas bombas de vacío.

Tabla 6-2

Comparación fáctica inyectora de cera de Fabricación Importada y Fabricado en el Cusco

<b>inyectora de cera</b>		
	<b>fabricación Importada</b>	<b>fabricado en el Cusco</b>
Alimentación de aire	Continua con compresora	Una sola con inflador manual una vez por proceso
variación de temperatura	+/- 5	+/-1
Material del Crisol	Aluminio	Acero LAC ASTM A500
Disposición de las Resistencias	En la pared cilíndrica del crisol	En la Base del Crisol
piezas obtenidas en el inyectado	Pequeños y gruesos con burbujas de aire	Pequeños, grandes ,gruesos, delgados sin burbujas de aire
Potencia consumida	Motor de compresora y resistencia	Solo resistencia
Costo de operación	Elevado	Económico
Mantenimiento	Difícil. la resistencia no se encuentra localmente	Fácil resistencia blindada de hervidora alemana

Fuente: Elaboración propia en función de resultados comparativos

A continuación, en la tabla 6.3 detallamos la diferencia significativa de la vulcanizadora.

Tabla 6-3

Comparación fáctica vulcanizadora de caucho de Fabricación Importada y de Fabricación en el Cusco

<b>vulcanizadora de caucho</b>		
	<b>fabricación Importada</b>	<b>fabricado en el Cusco</b>
Disposición de las Resistencias	Empotrados en las Bases de Aluminio	Fijado sobre las Bases de Aluminio
Potencia Consumida (Watts)	1000	2000
Tamaño del molde vulcanizado	pequeño	Grandes y pequeños
Ajuste del Eje Roscado	Sobre volanda	Sobre Rodamiento cónico
Mantenimiento	Complicado las resistencias vienen sellados con arcilla cerámica	Fácil totalmente accesible con pernos

Fuente: Elaboración propia en función de resultados comparativos

Tabla 6-4

*Comparación fáctica de la Máquina de Fundición al Vacío de Fabricación Importada y Fabricado en el Cusco*

<b>Máquina de Fundición al Vacío</b>		
	<b>fabricación Importada</b>	<b>fabricado en el Cusco</b>
Diseño de la máquina de vacío.	Diseñados para temperatura y presión atmosférica a nivel del mar.	Diseñado para condiciones de presión atmosférica y altitud del Cusco a 3399 msnm.
piezas obtenidas en el vaciado	Quebradizos	Totalmente compactos

*Fuente: Elaboración propia en función de resultados comparativos*

Finalmente, en la Máquina de Fundición al Vacío los indicadores tienen que ver con el diseño de la máquina, que debe ser conveniente para los diferentes pueblos o artesanos de los andes, cuya vivencia es diferente respecto a la altitud de sus pueblos e incluso en el propio Cusco, además el tamaño de las piezas para el vaciado.

## CAPITULO VII

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación efectuada respecto a la ubicación de defectos y estudio para su cambio duro más de 20 años de trabajo diario en la producción de joyas en cantidades menores hasta la llegada final de las nuevas máquinas de fabricación local efectuada por los tesistas es importante expresar que la propia experimentación fue controlada también por artesanos a quienes se les facilitó estas unidades de trabajo las que presentan las siguientes nuevas características.

#### 7.1. En Cuanto al Horno

El horno construido en **Ecuador** la tesis intitulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS” Podemos resaltar que el tipo de materiales para la construcción del horno se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y parámetros que se establecieron en su diseño y en el diseño que nosotros realizamos coincidimos en utilizar ladrillo refractario JM23, y el uso de la fibra de vidrio para el aislamiento, ambos utilizamos una termo cupla tipo K y la resistencia de hilo kanthal.

El horno construido en el **Ecuador** el calor transmitido hacia las paredes externas del horno está dentro de los parámetros considerados en su diseño, alcanzando una temperatura muy baja alrededor de 50°C, y en nuestro horno la temperatura que alcanza la pared exterior es de 60°C

comprobando que en ambos casos se evitara sufrir quemaduras al momento de utilizar los hornos.

En cuanto a los resultados obtenidos en la tesis “Diseño, construcción e instalación de un horno de resistencias para fundir minerales de oro y plata en la ciudad de Iquitos, **Perú**”. Se puede observar que en ambos hornos fabricados coincidimos en que la posición de las resistencias juega un papel importante, porque depende de ello para que la transferencia de calor sea uniforme. Llegando en ambos hornos a un rango de sensibilidad de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , esto debido al uso de un controlador de temperatura digital, que permite lectura exacta y manipular la temperatura de manera precisa.

Teóricamente se tienen los siguientes elementos demostrados, el calentamiento en estos hornos eléctricos de resistencias, tiene como cualidades la Ausencia de humos de combustión, mejores condiciones de trabajo alrededor del horno, y la eliminación del peligro de explosiones.

Encontramos este horno en el mercado internacional como el modelo horno MIC Fabricado por la empresa HORNOS DEL VALLE S.A. Cuyo diseño presenta, una puerta al lado izquierdo, resistencia fabricado con hilo Kanthal, está distribuido en tres caras colocadas en el interior de las placas refractarias.

El horno para laboratorio dental joyería fundición de metal ofrecido por la empresa importadora OLBAX presenta la resistencia en tres superficies de calentamiento, la radiación térmica para formar un campo uniforme de la temperatura de la cámara, la uniformidad de la temperatura  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  para evitar la temperatura y regular, la estructura del horno Shell asegura la temperatura de la superficie del horno inferior a  $60^{\circ}\text{C}$ .

En nuestro horno a diferencia de los dos hornos antes mencionados la tapa ubicada en la parte superior permite que la resistencia se encuentre en las 4 paredes verticales y ofrece una ventaja

real en el calentamiento es uniforme de los cilindros de yeso, dando una fundición de todas las piezas que sea homogénea resultando piezas de joyería perfectos como lo muestran las fotos (anexos). Otra ventaja lograda se ubica en el mantenimiento de los hornos fabricados en el Cusco se realizan fácilmente porque las resistencias se encuentran en sus ranuras echa sobre el ladrillo y son visibles y pueden ser remplazados fácilmente, finalmente otra ventaja lograda tiene relación con que los hornos del cusco están diseñados para la producción de 2 kilos de capacidad por proceso haciendo que su consumo de energía eléctrica sea menor por lo tanto el costo de producción sea barata al realizar las joyas.

## **7.2. Respecto a la Inyectora**

En la tesis desarrollado en la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca, **Ecuador**. Intitulado “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA INYECTORA PARA CERA IC – 6Lb” Autor: Juan Gabriel Aguirre Mejia

el aporte que se realizó en la Inyectora para Cera IC – 6Lb a diferencia de sus similares es que cuenta con un controlador electrónico digital, que aparte de ser bastante exacto en el campo de manejar temperaturas, nos brinda la posibilidad de conocer la temperatura que existe dentro del Crisol, dato importante para realizar el trabajo de inyección de cera. En nuestra inyectora fabricada en la ciudad del Cusco coincidimos en la importancia del uso del control de la temperatura con un pirómetro electrónico digital.

En la Inyectora para Cera IC – 6Lb la plancha de acero que usaron para el crisol donde se funde la cera es de 5mm de espesor, en comparación a la inyectora que fabricamos en la ciudad del cusco que tiene la capacidad de 3Lb y después de haber realizado los cálculos el espesor que usamos para fabricar el crisol de la inyectora es de 3.4mm podemos darnos cuenta que guarda cierta relación en función a la capacidad como al espesor de la plancha usado en ambas inyectoras.

En la Inyectora para Cera IC – 6Lb el crisol deberá estar en contacto permanente a una fuente de calor, para que se cumpla un ciclo normal de trabajo, su calefacción será eléctrica transmitida por una resistencia debidamente colocada en la base del crisol, otro punto en el que coincidimos ya que la inyectoras fabricada en el Cusco lleva la resistencia de 200 Watts en la base del crisol dando como resultado que la cera se disuelva uniformemente desde la base donde se produce la inyección y nos permite obtener modelos de cera uniformes.

En cuanto a la teoría La inyectora de cera es un recipiente de aluminio que se calienta eléctricamente de manera controlada al cual se le aplica presión de aire para forzar a la cera derretida a salir por las válvulas o picos cuando estas son presionadas la inyectora M1500 cuenta con un recipiente de cera de aluminio fundido, controlador analógico, recubierto con Pintura EPOXI de primera calidad, 1 Pico para inyección más guía de derrame, capacidad 1500 cc, peso de total 8.7 Kg, potencia 770 W tensión 220 V.

En cuanto a la inyectora de marca orfebre sus características principales se tienen Inyector de cera de 1.500W con tanque de 2,5 kg, regulador de presión con válvula de seguridad, tanque de aluminio para un calentamiento rápido de la cera, tensión 110-220v, 50-60Hz potencia 500W rango de visualización de temperatura de 30-110 °C rango máximo de aire comprimido de 0,30-0. 70mpa.

Respecto a la Inyectora fabricada en el Cusco, los aspectos positivos logrados son los siguientes:

La inyectora fabricada en Cusco no necesitan el suministro de aire de una compresora porque están diseñadas para suministrar aire por medio de un inflador la razón es fundamental el crisol es fabricado en acero que permite un sellado totalmente hermético.

En el diseño de la inyectora la resistencia está ubicado en la base del crisol favoreciendo que la cera se disuelva uniformemente desde la base del crisol donde se produce la inyección esta

resistencia al ser de 200 Watts en comparación al de las inyectoras importadas abarata el costo en el consumo de la corriente eléctrica.

El control de la temperatura de las máquinas fabricadas en cusco tiene un pirómetro digital que nos proporciona un rango de precisión de temperatura es de +/- 1 grado de temperatura que nos permite una inyección uniforme y continua de los moldes de cera.

### **7.3. Sobre la Vulcanizadora**

En cuanto a la teoría de vulcanizado es un proceso de cura irreversible, lo que quiere decir que una vez vulcanizado no es posible regresar el caucho a su estado natural debido a la acción del azufre sobre los enlaces moleculares del caucho, Este proceso define a los cauchos curados como materiales termo-rígidos (no se derriten con el calor) Este fenómeno puede producirse a diversas temperaturas comprendidas entre el punto de fusión del azufre a los 160°C. El grado de vulcanización del caucho depende de varios factores, tales como el tiempo que dura el tratamiento, la temperatura, la presión y la cantidad de azufre agregado.” (Manual del Caucho, 2014), la vulcanizadora que se encuentran en el mercado PRENSA VULCANIZADORA TECHNOFLUX 200X200 MM. 1000 W /220 V

Prensa de vulcanizado para trabajos en moldes de caucho o silicona, fusión eficaz de las capas que componen el molde gracias a sus dos gruesas placas de aluminio mecanizado, el armazón está fabricada en acero fundido de alta resistencia de máxima calidad, el volante nos permitirá controlar la presión ejercida sobre el molde con tal de que esta sea uniforme.

Potente vulcanizadora fabricada por Chinetti, una empresa italiana que ofrece siempre una calidad excepcional en su maquinaria, equipada con un puente sólido, doble guía lineal y un preciso control de temperatura (con resolución de 5°C).

Una máquina ideal para talleres de joyería que realizan microfusión, y que hacen solamente moldes de silicona (máquina no recomendada para moldes de caucho).

Características, medida placas 200 x 170 mm, máxima apertura de placas 100 mm, máxima temperatura 220 °C, potencia 700 W, temporizador 120 minutos, medidas 380 x 210 x 450 mm, peso 22 Kg.

De acuerdo a esta información y los cálculos adecuados logramos una nueva máquina con las siguientes características positivas.

En la vulcanizadora fabricada en el Cusco el armazón, la rosca y el eje roscado son de acero estructural de todas maneras sufre desgaste por su constante uso sin embargo ahora son de fácil recambio y permiten un prensado correcto del molde de caucho.

En el mantenimiento de las vulcanizadoras fabricada en el Cusco el cambio de resistencia es fácil porque son resistencias blindadas y están fijadas en las bases planas de aluminio de fácil remplazo, adicionalmente se instaló un rodamiento cónico entre eje roscado y la base superior de la vulcanizadora el cual evita que se perfore por en rozamiento contante al presar el molde de caucho.

#### **7.4. En relación con la Máquina de fundición al Vacío**

La información presupuesto indica que las Bombas compactas para vacío, rotativas a paletas en baño de aceite de dos etapas, son de moderna tecnología Su diseño de vanguardia permiten obtener un producto de altísima calidad con el cual se consiguen altos niveles de vacío y tiempos de evacuado reducidos fueron diseñadas y desarrolladas específicamente para servicios de aire acondicionado y refrigeración, en cuanto a las máquinas de fundir al vacío en el mercado de vacío tenemos, MÁQUINA DE FUNDIR AL VACÍO MICROVAC 100

Características técnicas: Potencia bomba 11 m<sup>3</sup>, potencia 400 Wat./0.50 Hp, dimensiones de la campana 20 cms diam. x 23 cms alt, dimensiones maxima del cilindro 10 cms diametro, x 15 cms altura, peso 42 Kgs.

MÁQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO, HAJET Número de Modelo HJ-CM1

Lugar del origen Guangdong, China, Voltage 110V / 220V, 50/60hZ, motor 1/3 Hp, peso 34kg (72.75lbs)

Para cilindros estándar y perforados, nuestra rueda de sobremesa te permite invertirlos al vacío en el lado izquierdo de la máquina y en el lado derecho y la potente bomba de vacío de 3 CFM extrae burbujas de aire de la inversión bajo un tarro alto de 9 "de diámetro x 8-1/2".

Por la experiencia con las máquinas de fundir al vacío importados que viene con motor de 1/3 Hp y 3CFM de presión negativa y la ciudad del cusco se encuentra a una altitud media, de 3399 m s. n. m. pierde considerablemente su poder de succión en el vaciado de la plata a los moldes de yeso.

Bajo este criterio fabricamos la maquina con bombas de vacío que tienen un motor de 1 hp 8 CFM el cual permite una perfecta colada de la fundición porque produce la presión negativa necesaria para el proceso a la altitud del cusco.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

PRIMERO; En el horno eléctrico el calentamiento es uniforme y preciso, eliminando la presencia de micro poros y piezas ásperas por la sulfatación del yeso, obteniendo piezas de joyería de calidad.

SEGUNDO; El uso de un pirómetro digital en la inyectora de cera nos asegura que el rango de variación de la temperatura sea  $\pm 1$  °C, permitiendo que las piezas de cera inyectadas salgan sin defecto de burbujas de aire y la piezas obtenidas sean de forma continua.

TERCERO; En la vulcanizadora de caucho, el rodamiento cónico en el punto de fricción entre el eje roscado y la base superior de la vulcanizadora, eliminan el rozamiento en el momento de aplicar la presión en el molde.

CUARTO; La máquina de fundición al vacío, está fabricado para condiciones de presión atmosférica y altitud del Cusco a 3399 m s. n. m. consta de una bomba de vacío de 2 etapas de 1Hp con 8CFM de presión negativa, garantizando la extracción de burbujas del molde de yeso, y el llenado completo del árbol de cera, en el momento del vaciado obteniendo piezas compactas.

### Recomendaciones

UNO; Profundizar en la conceptualización de las maquinas componentes del módulo, por cuanto hay poca información teórica.

DOS; Efectuar, el estudio de los hornos de inducción, para mayores lotes de producción en menos tiempo.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

America, S. C. (4 de 11 de 2014). *MANUAL DEL CAUCHO*. Recuperado el 12 de 02 de 2016, de Struktol: [http://www.struktol.com/pdfs/Manual\\_del\\_caucho.pdf](http://www.struktol.com/pdfs/Manual_del_caucho.pdf)

aprendequimica.blogspot. (01 de 10 de 2010). *Quimica facil*. Recuperado el 14 de 11 de 2016, de quimica facil: <http://aprendequimica.blogspot.pe/2010/10/ley-de-boyle.html>

aprendequimica.blogspot. (10 de 2010). *QUIMICA FACIL*. Recuperado el 15 de 01 de 2015, de aprendequimica.blogspot.com/2010/10/ley-de-boyle.html

Astigarraga, J. (1995). *Hornos Industriales de Resistencias*. Colombia: McGraw Hill.

Balanzá. Julio. (1993). *Resistencia de materiales teoría y práctica*. Xalapa Ver., México: Universidad Veracruzana.

chaquilla, m. (s.f.). *es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/miguelchaquillabustinza9/plan-10951-plandedesarrolloconcertado2011>

ecured. (01 de 12 de 2010). *REFRACTARIOS*. Recuperado el 03 de 11 de 2016, de REFRACTARIOS: <https://www.ecured.cu/Refractario>

Gómez de León, F., & González Carpena, A. (2010). *Soldaduras y Tecnicas de Union*. Murcia(España): UNIVERCIDAD DE MURCIA.

Gómez de León, F., & González Carpena, A. (s.f.). *Soldaduras y Tecnicas de Uniones*. Recuperado el 24 de 12 de 2015, de Resistencia de Materiales y Calculo de Estructuras: <http://ocw.um.es/ciencias/resistencia-de-materiales-y-calculo-de-estructuras/material-de-clase-1/tema06.pdf>

Hernández R.S. (2016) Metodología de la investigación, México D.F. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

Herrejon, M. (3011). Diseño y Construcción de un Horno de Resistencias de Recalentamiento con forma cilíndrica. (*Tesis Ing. Mecánico*). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Mexico.

Orellana, i. M. (s.f.). *resipientes de paredes delgadas*. Recuperado el 20 de 02 de 2015, dediseño mecanico: [http://docentes.uto.edu.bo/mruizo/wp-content/uploads/CAP6\\_RECIPIENTES\\_DE\\_PARED\\_DELGADA.pdf](http://docentes.uto.edu.bo/mruizo/wp-content/uploads/CAP6_RECIPIENTES_DE_PARED_DELGADA.pdf)

QuimiNet . (31 de octubre de 2011). *Ventajas y aplicaciones de la manta cerámica*. Obtenido de Ventajas y aplicaciones de la manta cerámica: <https://www.quiminet.com/articulos/ventajas-y-aplicaciones-de-la-manta-ceramica-2634469.htm>

Reyes.Javier. (2011). *Automatización del sistema de control y monitoreo de una autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru.

RUIZ, J. A. (s.f.). *revista espacios*. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a17v38n46/a17v38n46p12.pdf>

Sinha, S. (2016). *ley de Ohm y la potencia electrica*. Obtenido de Electronica Unicrom: <https://unicrom.com/ley-de-ohm-potencia-electrica/>

Tancredf Diego. (20 de Abril de 2011). *PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES*. Obtenido de <https://es.scribd.com.>:

<https://es.scribd.com/document/53424367/PROPIEDADES-TERMICAS-DE-MATERIALES-DE-CONSTRUCCION-Y-AISLANTES>

wikipedia. (11 de 10 de 2016). *ley de gay- lussac*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de ley degay lussac: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Gay-Lussac](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gay-Lussac)

wikipedia. (6 de 07 de 2016). *wikipedia la enciclopedia libre*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de ley de Gay-Lussac: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Gay-Lussac](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gay-Lussac)

Anatolio Ernitz. (2000). *Manual de aislación térmica*. Alsina.

Astigarraga, I. (2006). *Lección 2. hornos. resistencias. 2006*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/5865762/leccion2.hornos.resistencias.2006>

carlos, A. M. (s.f.). *academia.edu*. Obtenido de [https://www.academia.edu/20274577/Tesis\\_Refractarios](https://www.academia.edu/20274577/Tesis_Refractarios)

CARPIO, A. K. (mayo de 2014). <http://repositorio.ute.edu.ec/>. Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19140/1/7247\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19140/1/7247_1.pdf)

Erika. (s.f.). *www.ERICA.es*. Obtenido de <http://www.ERICA.es/aislamiento-termico/#:~:text=Calor%20espec%C3%ADfico,calor%20espec%C3%ADfico%20ser%C3%A1n%20buenos%20aislantes>.

*es.wikipedia.or.* (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Vac%C3%ADo#:~:text=Por%20extensi%C3%B3n%2C%20se%20denomina%20tambi%C3%A9n,es%20menor%20que%20la%20atmosf%C3%A9rica>.

hector, I. (s.f.). <http://cybertesis.uach.cl/>. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcib859a/doc/bmfcib859a.pdf>

hugo. (s.f.). <http://res-elec.blogspot.com/>. Obtenido de <http://res-elec.blogspot.com/2012/08/practico-n-1.html>

I.U.T.A, J. F. (s.f.). *TIPOS DE INVESTIGACION Y DISEÑO DE INVESTIGACION*. Obtenido de

<http://metodologia02.blogspot.com/p/operacionalizacion-de-variables.html#:~:text=Cada%20tipo%20de%20dise%C3%B1o%20posee,investigaci%C3%B3n%20que%20se%20est%C3%A1%20realizando.>

Mayorquin, J. D. (s.f.). *aleph.org.mx*. Obtenido de [https://aleph.org.mx/que-es-la-resistividad-y-resistencia#:~:text=La%20resistividad%20o%20resistencia%20espec%C3%ADfica,%3D%20R%20\\*A%20%2F%20L%20.](https://aleph.org.mx/que-es-la-resistividad-y-resistencia#:~:text=La%20resistividad%20o%20resistencia%20espec%C3%ADfica,%3D%20R%20*A%20%2F%20L%20.)

olbax, i. (s.f.). <https://larevista.aqpsoluciones.com/2018/08/11/horno-para-laboratorio-dental-joyeria-fundicion-de-metal/>. Obtenido de <https://larevista.aqpsoluciones.com/2018/08/11/horno-para-laboratorio-dental-joyeria-fundicion-de-metal/>

uniovi.es. (s.f.). *www6.uniovi.es*. Obtenido de <https://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Lección11.HornosResistencia.RESISTENC.>

valle, h. d. (s.f.). <https://www.tecnopiro.com/category/catalegs/>. Obtenido de <https://www.tecnopiro.com/category/catalegs/>

# ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO DE CASTING PARA JOYERÍA” (INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Será posible el diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería que incida en la eficiencia operacional?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>1.- ¿Los cálculos de ingeniería permitirán un buen diseño de los componentes del módulo de casting para joyería?</p> <p>2.- ¿El diseñar un nuevo casting para joyería nos permitirá obtener mayor productividad y calidad en el producto?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Diseñar y fabricar un módulo de casting para joyería que incida en la eficiencia operacional.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>1.- Desarrollar los cálculos de ingeniería que nos permitan un buen diseño de los componentes del módulo de casting para joyería.</p> <p>2.- Diseñar un nuevo casting para joyería y obtener mayor productividad y calidad en el producto.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>El diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería incide en la eficiencia operacional.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>1.- El desarrollo de los cálculos de ingeniería nos permite un buen diseño de los componentes del módulo de casting para joyería.</p> <p>2.- El nuevo diseño de casting para joyería tiene mayor productividad y calidad en el producto.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Diseño y fabricación</p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Eficiencia operacional.</p>	<p>La investigación es aplicada y experimental.</p>

ANEXO B: OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  DISEÑO Y FABRICACION	Es el esquema de planos y cálculos para concretar la producción con procedimientos de conformado utilizando las maquinas adecuadas y el trabajo manual de expertos en el ensamblaje e instalación eléctrica para lograr un sistema de máquinas económicas y de calidad.	Las actividades a desarrollarse para el diseño del módulo de casting, son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de cálculos de ingeniería que nos permita un buen diseño.</li> <li>• Conformado de los materiales.</li> <li>• Ensamblaje de los componentes de cada máquina.</li> <li>• Instalación del sistema eléctrico y de los controles digitales de cada máquina.</li> </ul>	Cálculos	Perdida de calor en las paredes	W
				Potencial por maquina	KW
				Resistencia mecánica de cilindros de paredes delgadas	N/cm <sup>2</sup>
			planos	Tamaño de la maquina	m
			Conformado	Cantidad de fierro cortado por maquina	Kg
				Longitud de plancha plegado por maquina	m
				Tiempo de torneado de la piezas por maquina	h
Ensamblaje	Tiempo utilizado en el armado pormaquina	h			
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  EFICIENCIA OPERACIONAL	Engloba la práctica de realizar actividades específicas en el proceso con el objeto de llegar a un mejor producto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de fundición por casting</li> </ul>	Tiempo operativo	Tiempo perdido	h
			productividad	Piezas con calidad	Nº

## ANEXO C: LADRILLO REFRACTARIOS AISLANTES

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES				
		JM 23 125 0.5L 1260	JM 26 140 0.8L 1430	JM 28 150 0.9L 1540	JM 30 160 1.0L 1650	JM 32 170 1.2L 1760
• Clasificación ISO 2245						
• Temperatura de clasificación	°C					
<b>Características a temperatura ambiente (23°C/50% humedad relativa)</b>						
• Densidad media (ASTM C-134-84)	kg/m <sup>3</sup>	480	800	890	1020	1250
• Módulo de rotura (ASTM C-93-84)	MPa	1.0	1.5	1.8	2.1	2.1
• Resistencia a la compresión (ASTM C-93-84)	MPa	1.2	1.6	2.1	2.2	3.5
<b>Prestaciones a alta temperatura</b>						
• Contracción lineal permanente inmerso durante 24 h a la temperatura de (ASTM C-210)						
1230°C	%	0.2	-	-	-	-
1400°C	%	-	0.1	-	-	-
1510°C	%	-	-	0.4	-	-
1620°C	%	-	-	-	0.8	-
1730°C	%	-	-	-	-	0.6
• Expansión lineal reversible máxima	%	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1
• Resistencia a la compresión en caliente durante 90 min (% de deformación) (ASTM C-16)						
1100°C at 0.034 MPa (5psi)	%	0.1	-	-	-	-
1260°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	0.2	0.1	-	-
1320°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	0.2	0.1	-
1370°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	0.5	0.2
• Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:						
400°C	W/m.K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49
600°C	W/m.K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50
800°C	W/m.K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51
1000°C	W/m.K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53
1200°C	W/m.K	-	0.35	0.38	0.42	0.56
1400°C	W/m.K	-	-	-	-	0.60
• Calor específico 1000°C	kJ/kg.K	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10

<https://www.yumpu.com/es/document/view/22771641/refractariostema2propiedadesfisicas20092010>

REFRACTARIOS.Tema2.PropiedadesFISICAS.2009.2010

www6.uniovi.es

## ANEXO D: MANTO CERAMICO



Fiberfrax® Durablanket® Z

Ahorre energía ya.  
Contacte con su distribuidor.

Unifrax España.

T: +34 91 395 22 79

www.unifrax.com

F: +34 91 395 21 24

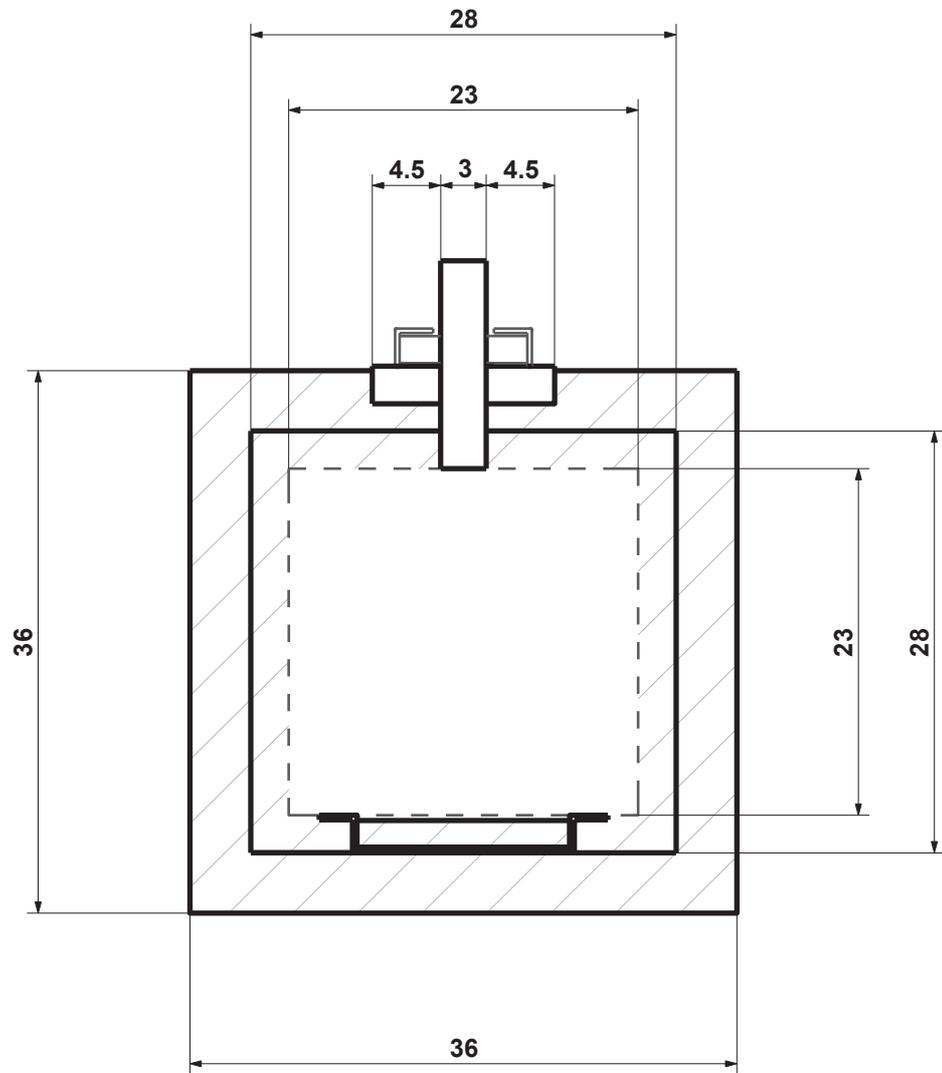
### PARAMETROS TÍPICOS DEL PRODUCTO

Durablanket Z			
<b>Análisis Químico Típico (wt.%)</b>			
SiO <sub>2</sub>	52.0 - 56.0		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.0 - 32.0		
ZrO <sub>2</sub>	14.0 - 18.0		
Alcalis	<0.25		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub>	<0.2		
<b>Propiedades Físicas</b>			
Color	Blanco		
Temperatura de clasificación (°C) *	1400		
Punto de fusión (°C)	1740		
Diámetro medio de fibra (micrones)	3.25		
Calor específico a 1000°C (J/kgK)	1035		
<b>Contracción Lineal Permanente (%) 24 horas remojo</b>			
1400 °C	2.7		
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	96	128	160
<b>Conductividad Térmica (W/mK)</b>			
Temp. media			
800 °C	0.24	0.19	0.18
1000 °C	0.34	0.27	0.25
1200 °C	0.44	0.36	0.33
<b>Resistencia a la Tracción (kPa)</b>			
	70	90	110

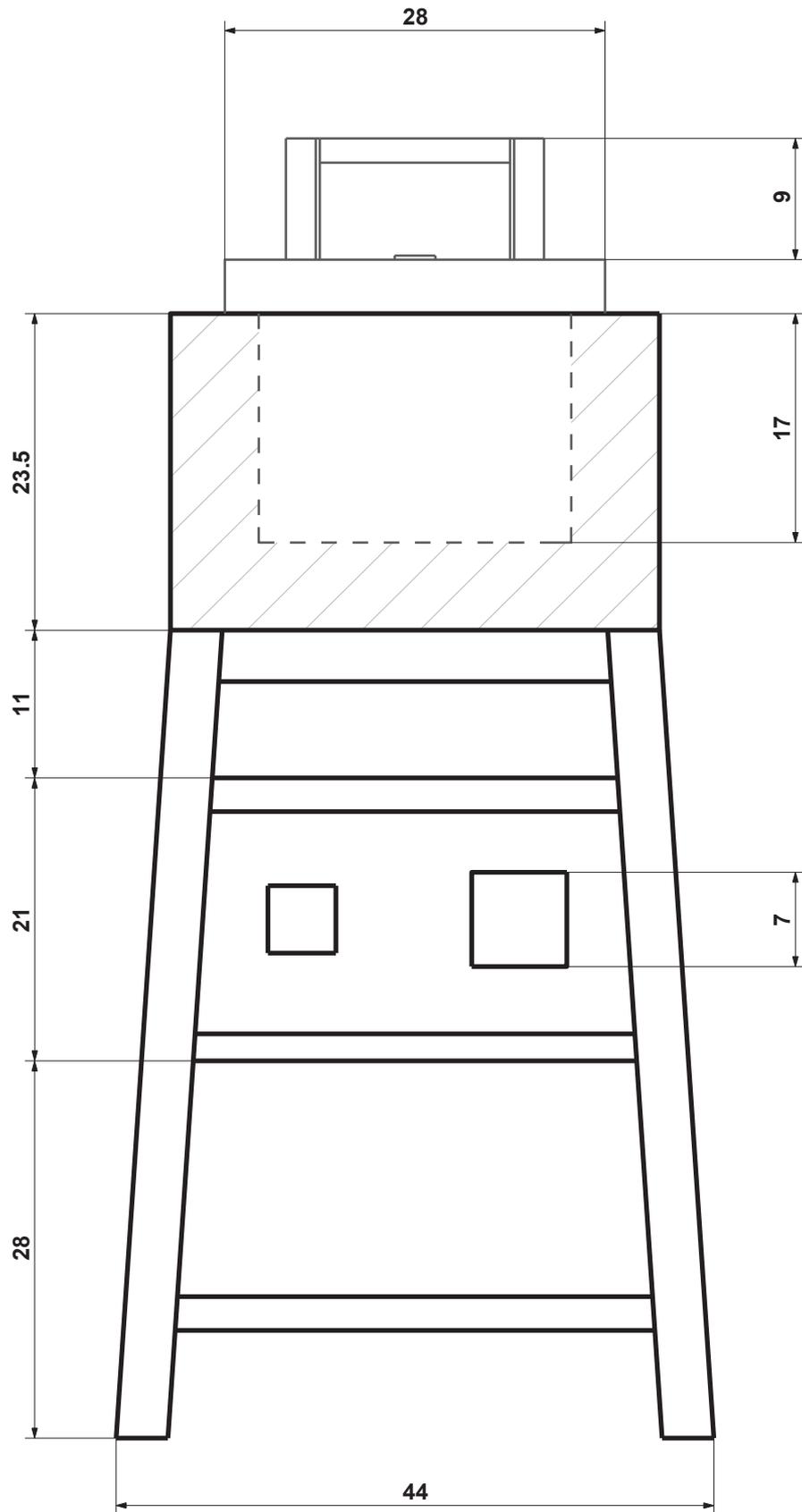
### DISPONIBILIDAD

Espesores (mm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )			Largura Rollo (m)
	96	128	160	
13	✓	✓	✓	14.64
19	✓	✓	✓	10.00
25	✓	✓	✓	7.32
38	✓	✓	✓	5.00
50	✓	✓		3.66

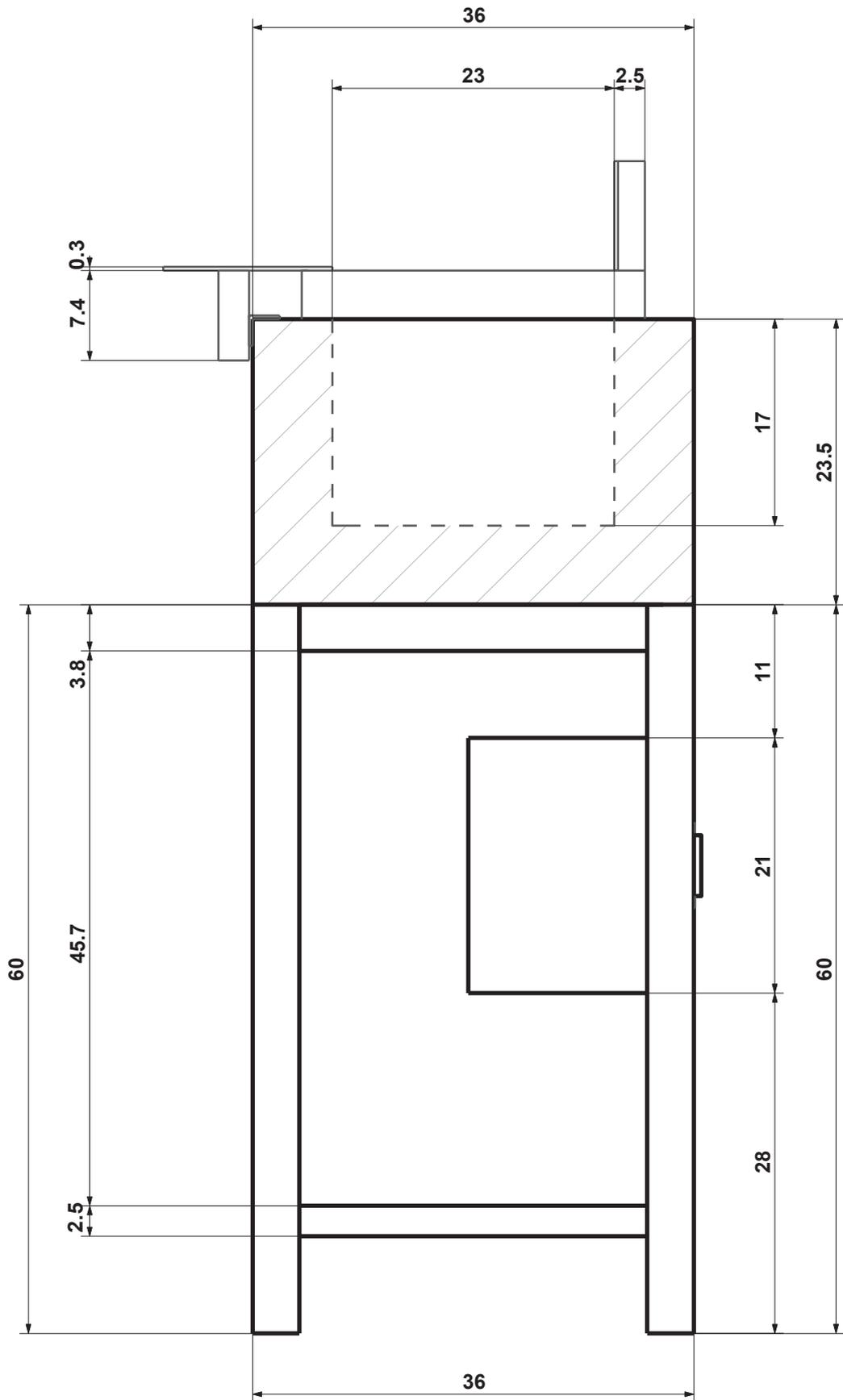




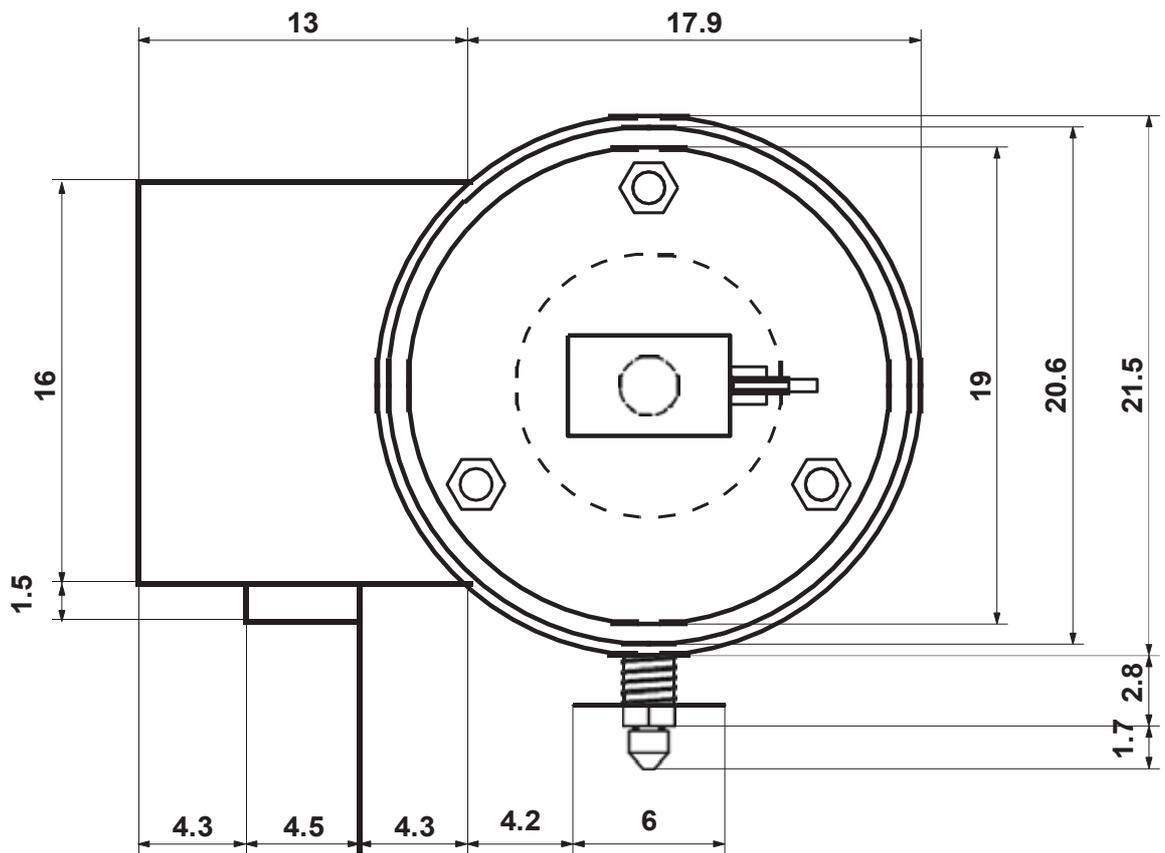
NÚMERO ANEXO E.1.	<b>HORNO ELÉCTRICO</b>	VISTA SUPERIOR	ESCALA 1:5
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



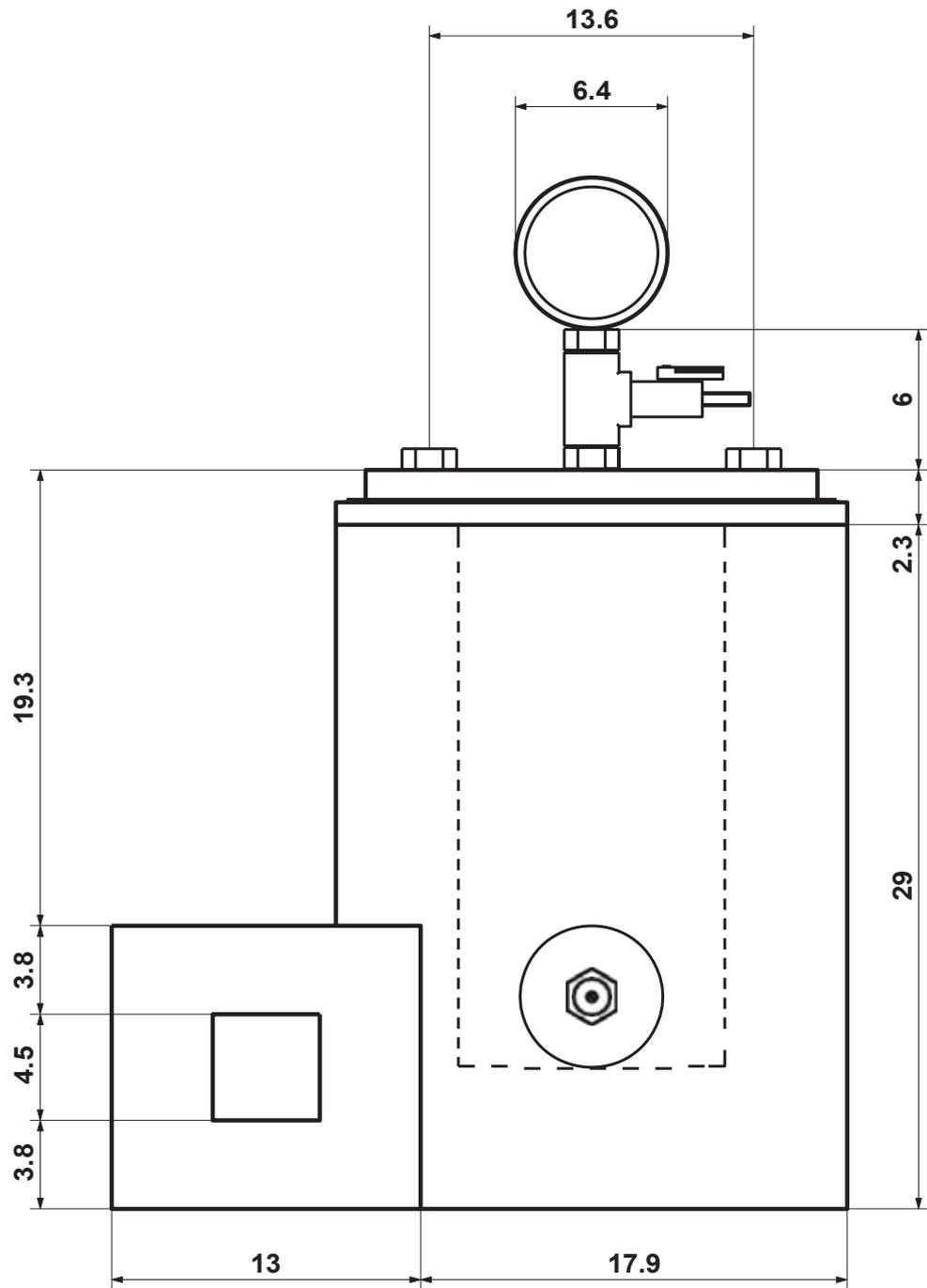
NÚMERO ANEXO E.2.	<b>HORNO ELÉCTRICO</b>	VISTA FRONTAL	ESCALA 1:5
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO ANEXO E.3.	<b>HORNO ELÉCTRICO</b>	VISTA LATERAL	ESCALA 1:5
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO ANEXO F.1.	<b>INYECTORA DE CERA</b>	VISTA SUPERIOR	ESCALA 1:3
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO

ANEXO F.2.

**INYECTORA DE CERA**

VISTA

FRONTAL

ESCALA

1:3

FECHA

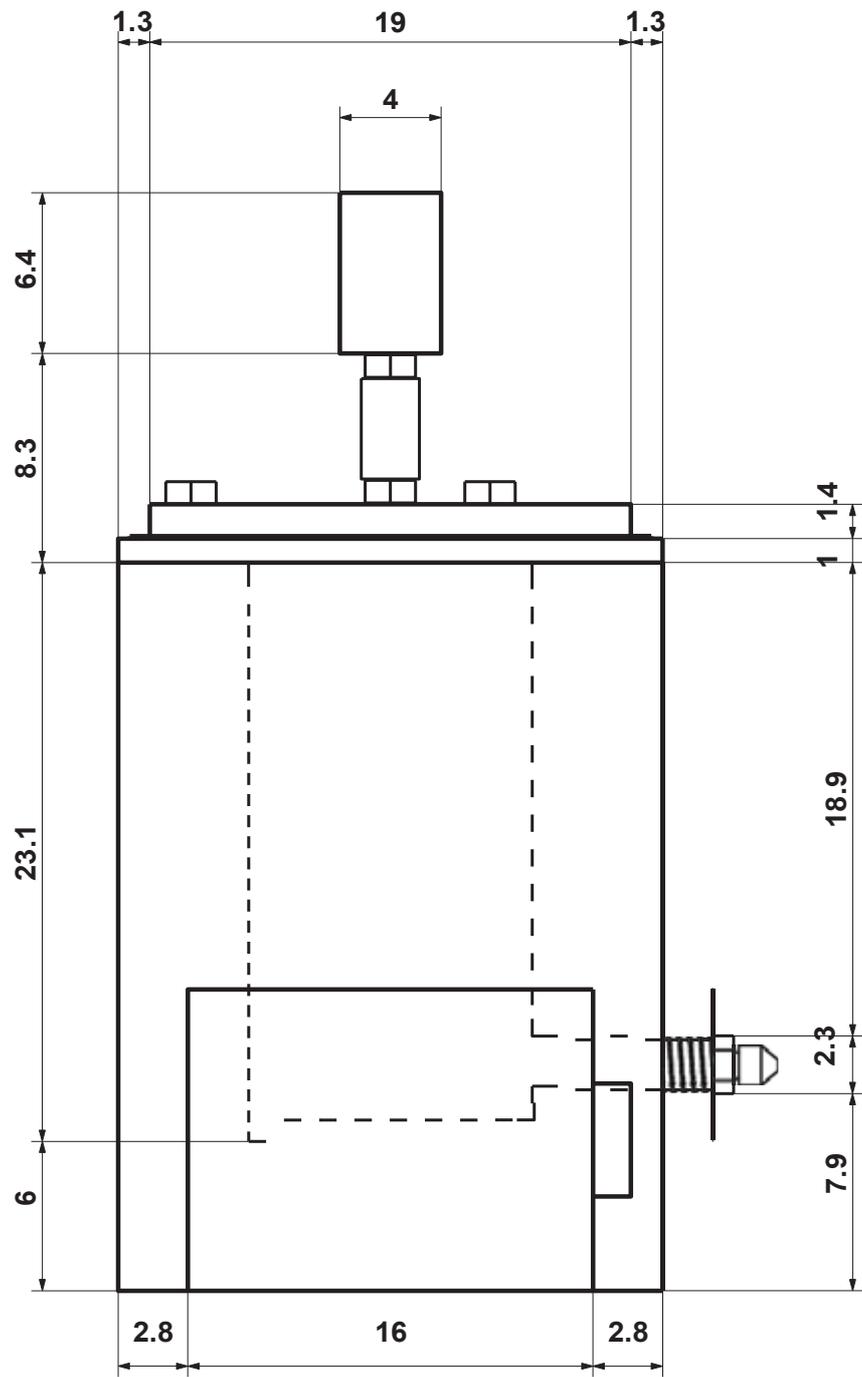
15/07/2020

ESCUELA PROFESIONAL

**INGENIERÍA METALÚRGICA**

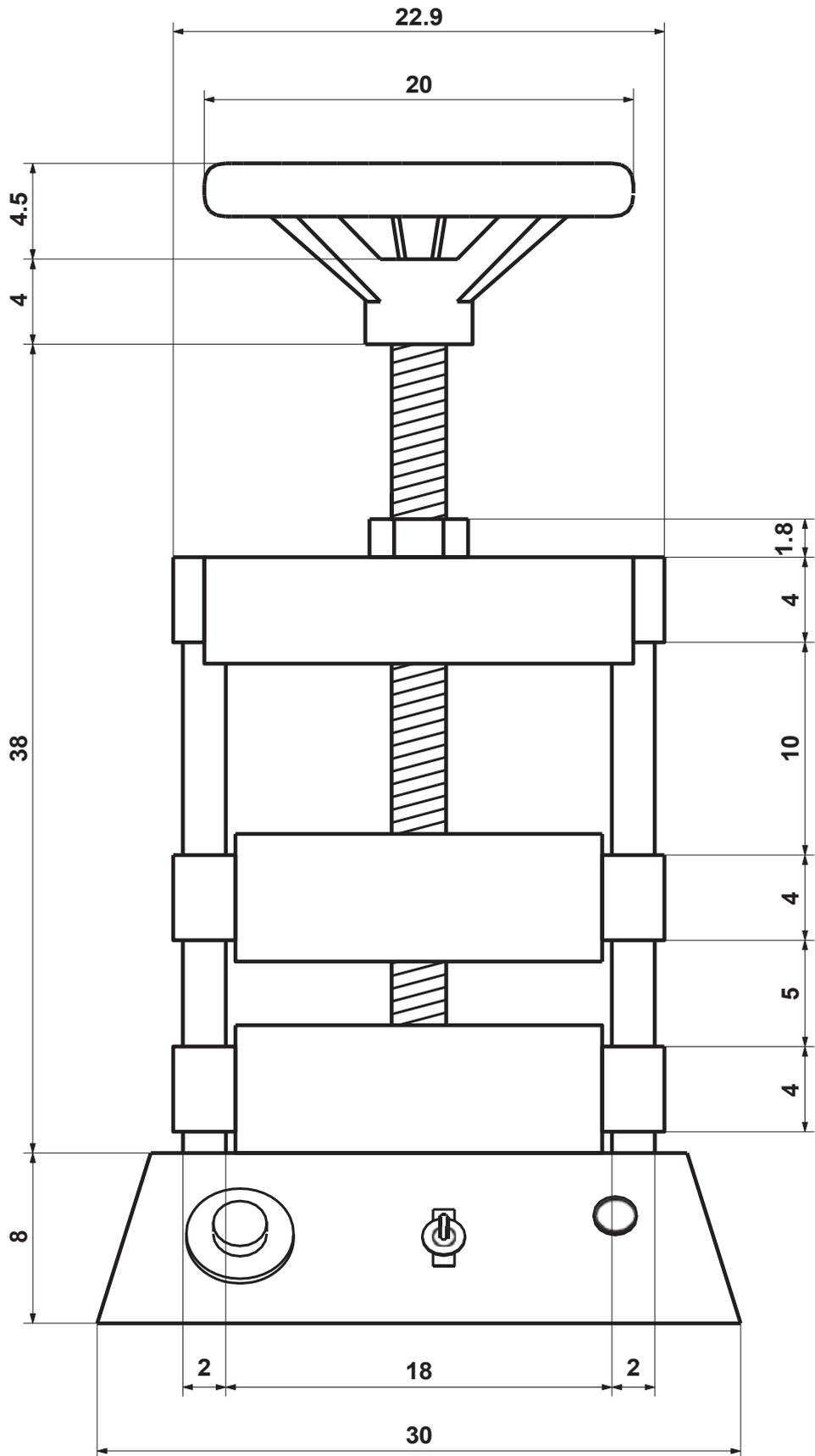
UNIDAD

cm

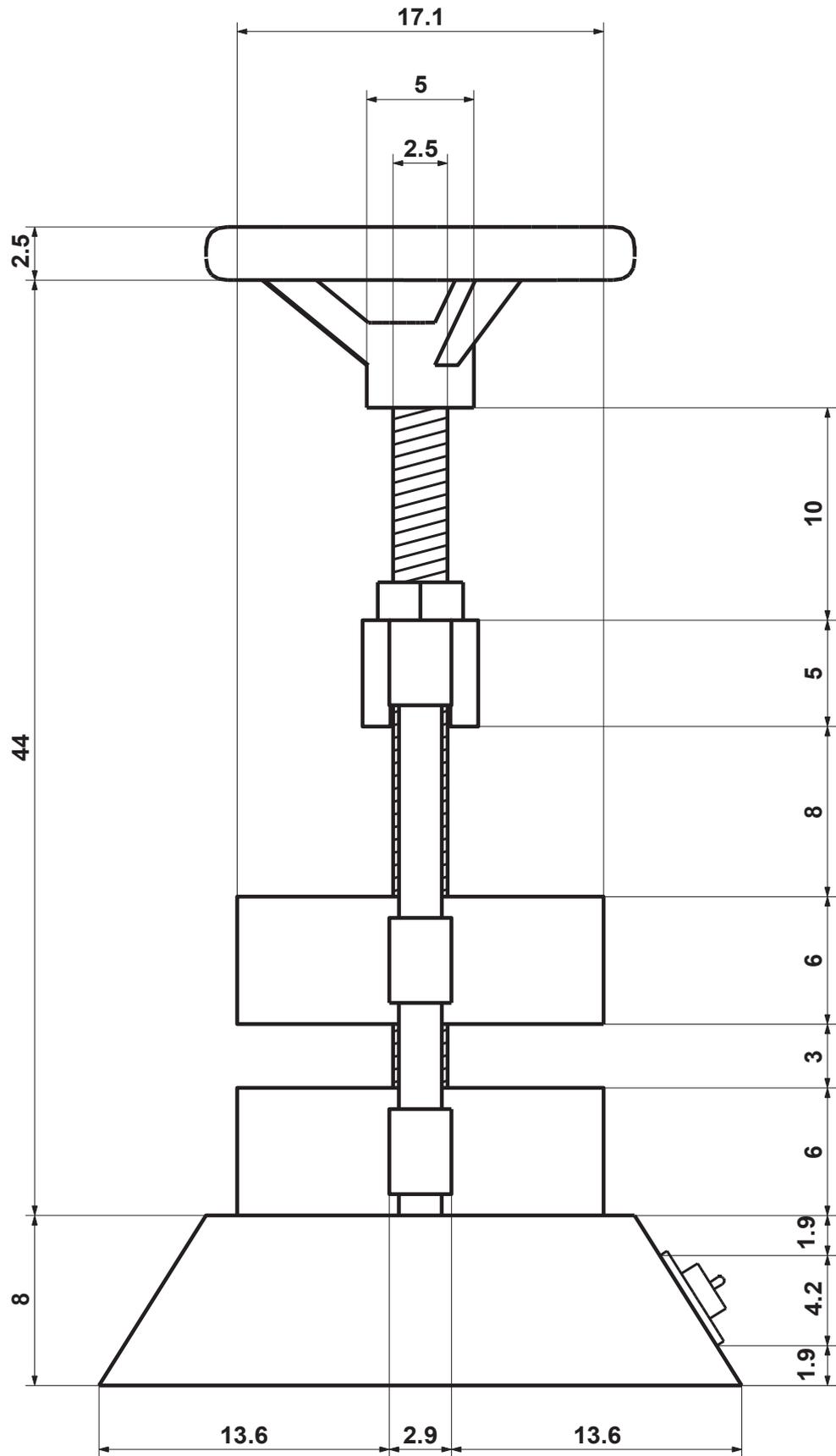


NÚMERO ANEXO F.3.	<b>INYECTORA DE CERA</b>	VISTA LATERAL	ESCALA 1:3
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>	UNIDAD cm	

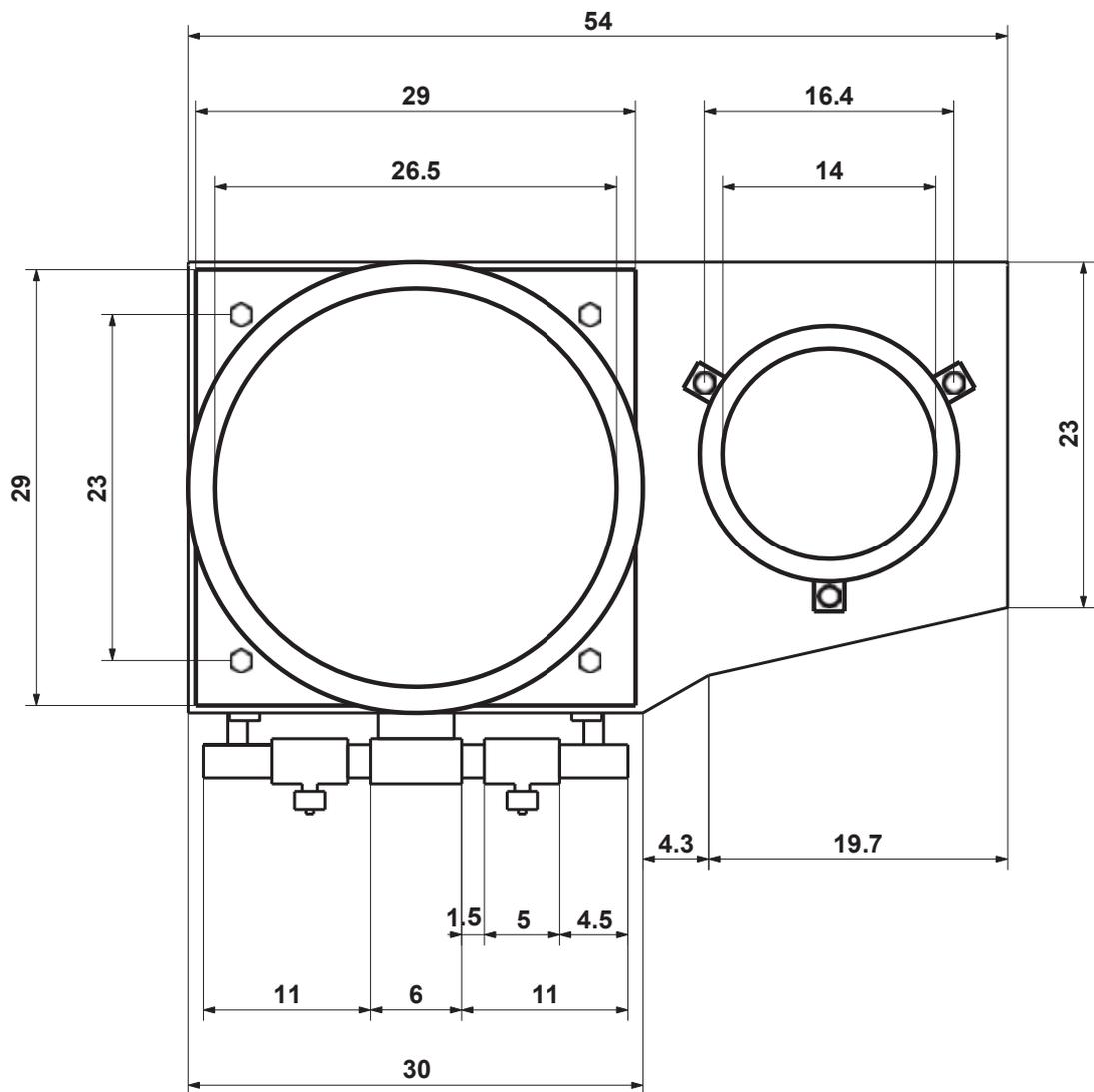




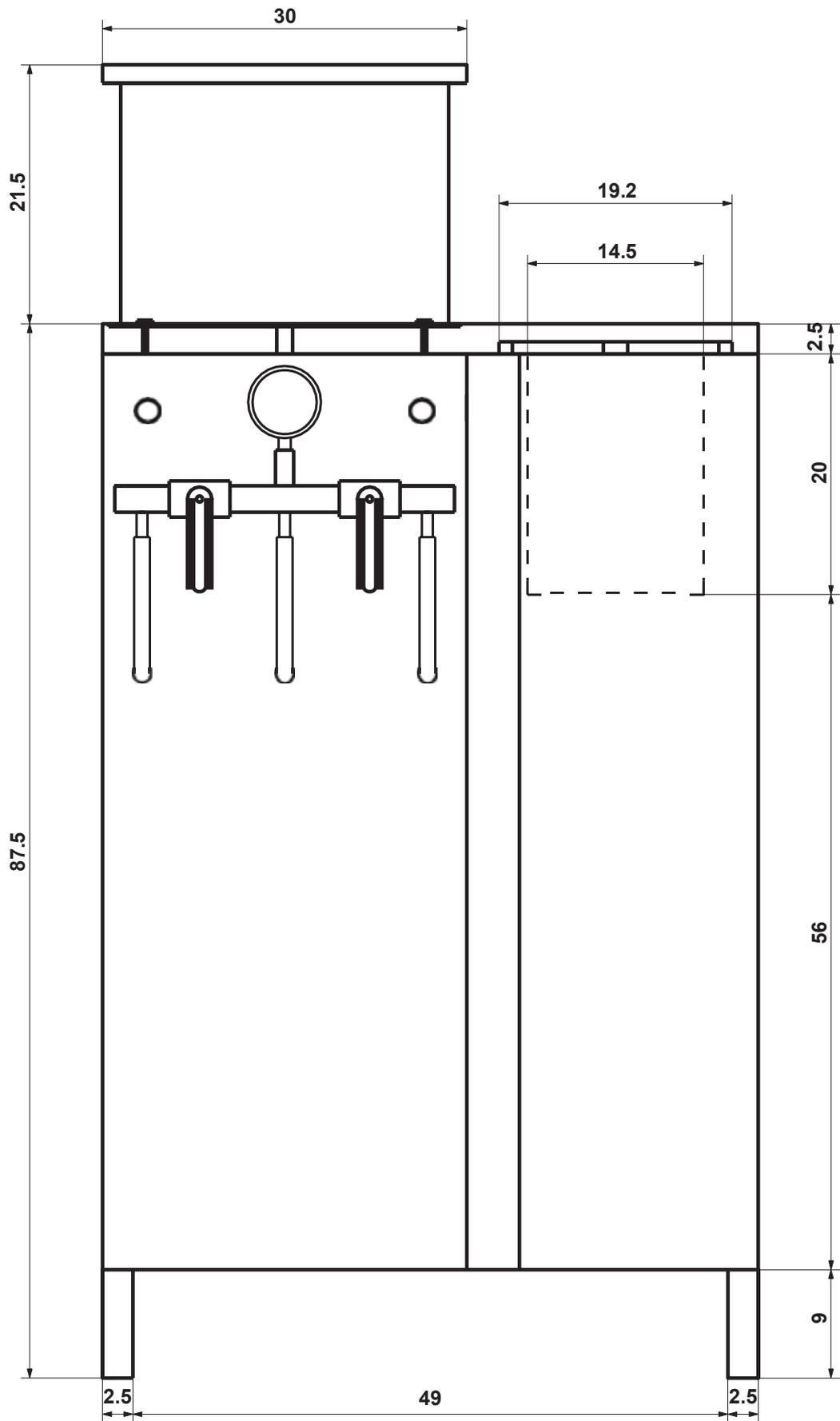
NÚMERO ANEXO G.2.	<b>VULCANIZADORA</b>	VISTA FRONTAL	ESCALA 1:3
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



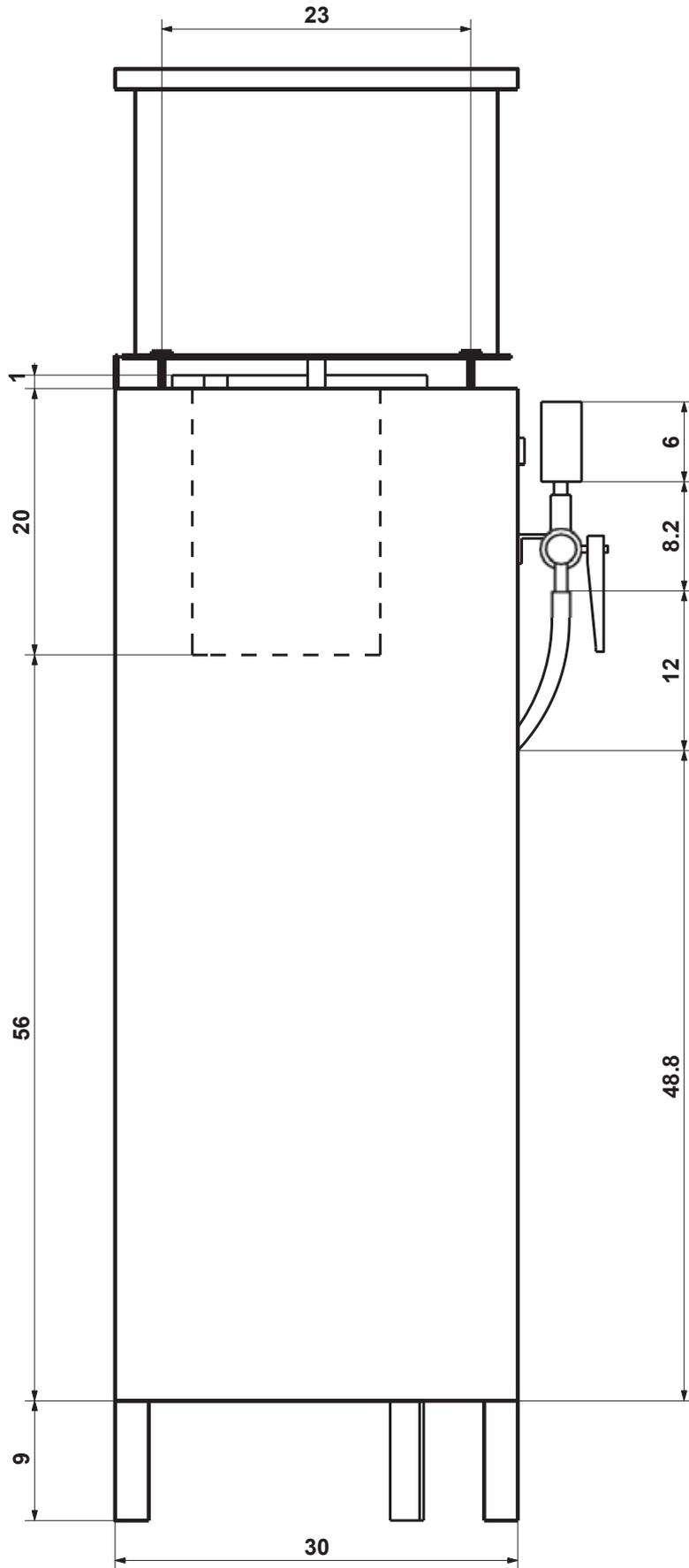
NÚMERO ANEXO G.3.	<b>VULCANIZADORA</b>	VISTA LATERAL	ESCALA 1:3
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO ANEXO H.1.	<b>MAQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO</b>	VISTA SUPERIOR	ESCALA <b>1:5</b>
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO ANEXO H.2.	<b>MAQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO</b>	VISTA FRONTAL	ESCALA 1:5
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm



NÚMERO ANEXO H.3.	<b>MAQUINA DE FUNDICIÓN AL VACÍO</b>	VISTA LATERAL	ESCALA 1:5
FECHA 15/07/2020	ESCUELA PROFESIONAL <b>INGENIERÍA METALÚRGICA</b>		UNIDAD cm

# ANEXO I: TABLA DE PLATINAS

## Platinas CALIDAD: ASTM A36

**DENOMINACIÓN:**  
PLAT A36.

**DESCRIPCIÓN:**

Producto de acero que ha sido laminado en caliente en sus cuatro superficies, con una sección transversal rectangular. Tiene las superficies lisas.

**USOS:**

En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas y otros.

**NORMAS TÉCNICAS:**

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M
- Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

**PRESENTACIÓN:**

Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en paquetes de 2 TM, formados por paquetes de 1 TM c/u.

**DIMENSIONES Y PESOS:**

DIMENSIONES NOMINALES (pulg)	PESO NOMINAL	
	Kg/m	Kg/6m
1/8" x 1/2" x 6 m	0.32	1.92
1/8" x 5/8" x 6 m	0.39	2.34
1/8" x 3/4" x 6 m	0.48	2.88
1/8" x 1" x 6 m	0.64	3.84
1/8" x 1 1/4" x 6 m	0.80	4.80
1/8" x 1 1/2" x 6 m	0.95	5.70
1/8" x 2" x 6 m	1.27	7.62
3/16" x 1/2" x 6 m	0.48	2.88
3/16" x 5/8" x 6 m	0.61	3.66
3/16" x 3/4" x 6 m	0.74	4.44
3/16" x 1" x 6 m	0.98	5.88
3/16" x 1 1/4" x 6 m	1.18	7.08
3/16" x 1 1/2" x 6 m	1.42	8.52
3/16" x 2" x 6 m	1.90	11.40
3/16" x 2 1/4" x 6 m	2.14	12.84
3/16" x 2 1/2" x 6 m	2.37	14.22
3/16" x 3" x 6 m	2.85	17.10
1/4" x 1/2" x 6 m	0.64	3.84
1/4" x 5/8" x 6 m	0.80	4.80
1/4" x 3/4" x 6 m	0.95	5.70
1/4" x 1" x 6 m	1.28	7.68
1/4" x 1 1/4" x 6 m	1.58	9.48
1/4" x 1 1/2" x 6 m	1.90	11.40
1/4" x 2" x 6 m	2.53	15.18
1/4" x 2 1/2" x 6 m	3.16	18.96
1/4" x 3" x 6 m	3.80	22.80
1/4" x 4" x 6 m	5.06	30.36
3/8" x 1" x 6 m	1.92	11.52
3/8" x 1 1/4" x 6 m	2.38	14.28
3/8" x 1 1/2" x 6 m	2.85	17.10
3/8" x 2" x 6 m	3.80	22.80
3/8" x 2 1/2" x 6 m	4.74	28.44
3/8" x 3" x 6 m	5.70	34.20
3/8" x 4" x 6 m	7.60	45.60

DIMENSIONES NOMINALES (pulg)	PESO NOMINAL	
	Kg/m	Kg/6m
1/2" x 1" x 6 m	2.94	15.24
1/2" x 1 1/2" x 6 m	3.79	22.74
1/2" x 2" x 6 m	5.06	30.36
1/2" x 2 1/2" x 6 m	6.33	37.98
1/2" x 3" x 6 m	7.60	45.60
1/2" x 4" x 6 m	10.13	60.78
5/8" x 2 1/2" x 6 m	7.91	47.46
5/8" x 3" x 6 m	9.50	57.00
5/8" x 4" x 6 m	12.66	75.96
3/4" x 4" x 6 m	15.19	91.14
1" x 3" x 6 m	15.19	91.14
1" x 4" x 6 m	20.26	121.56

**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):**

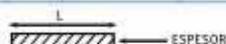
NORMA	%C máx	%Si máx	%P máx	%S máx
ASTM A36/A36M	0.26	0.40	0.04	0.05

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

- Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>
- Alargamiento en 200 mm:
  - 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo,
  - 1/4" = 17.5% mínimo,
  - 5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0% mínimo.
- Doblado a 180° = Bueno.
- Soldabilidad = Buena.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:**

DIMENSIÓN NOMINAL b (pulg)	ANCHO b (mm)	TOLERANCIAS (mm)		DESVIACIÓN MÁX. DE RECTITUD (mm/m)	LONGITUD (mm)
		ESPESOR			
		e < 3/4"	3/4" ≤ e ≤ 1 5/8"		
b < 2"	± 0.8	± 0.4	± 0.8	4.0	+50 -0
2" ≤ b < 3"	± 1.2				
3" ≤ b < 4"	± 1.5	± 0.5	± 1.0		
b ≥ 4"	± 2.0				



QCQA05-F1D4 / 02 / FEB 16



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

ANEXO J: TABLA DE ANGULOS ESTRUCTURALES

# Ángulos Estructurales

## CALIDAD: ASTM A36

**DENOMINACIÓN:**  
L A36.

**DESCRIPCIÓN:**  
Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

**USOS:**  
En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
 • Sistema Inglés:- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M  
 • Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6M  
 • Sistema Métrico:- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M  
 • Tolerancias Dimensionales: ISO 657 / V

**PRESENTACIÓN:**  
Se produce en longitudes de 6 metros. Se suministra en paqueteros de 2 TM, los cuales están formados por paquetes de 1 TM c/u.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
 • Límite de Fluencia mínimo = 2,530 Kg/cm<sup>2</sup>.  
 • Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 Kg/cm<sup>2</sup> (\*).  
 • Alargamiento en 200 mm  
 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, 1/8", 3/32",  
 4,5 mm y 3/16" = 15,0% mínimo.  
 6,0 mm = 17,0% mínimo.  
 1/4" = 17,5% mínimo.  
 5/16", 3/8" y 1/2" = 20,0% mínimo.  
 (\*) Para los espesores de 2,0 mm a 2,5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 3,500 kg/cm<sup>2</sup>.  
 • Soldabilidad = Buena.

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:**  
SISTEMA INGLÉS

DIMENSIONES (pulg)	PESO NOMINAL		
	Lb/pie	Kg/m	Kg/Barril
1 1/2 x 1 1/2 x 3/32	0,929	1,382	8,292
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	1,230	1,830	10,983
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	1,800	2,679	16,672
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4	2,340	3,482	20,894
2 x 2 x 1/8	1,650	2,455	14,733
2 x 2 x 3/16	2,440	3,631	21,787
2 x 2 x 1/4	3,190	4,747	28,483
2 x 2 x 5/16	3,920	5,834	35,002
2 x 2 x 3/8	4,700	6,994	41,966
2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	3,070	4,569	27,412
2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	4,100	6,101	36,609
2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	5,000	7,441	44,645
2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	5,900	8,780	52,681
3 x 3 x 1/4	4,900	7,292	43,752
3 x 3 x 5/16	6,100	9,078	54,467
3 x 3 x 3/8	7,200	10,715	64,289
3 x 3 x 1/2	9,400	13,989	83,932
4 x 4 x 1/4	6,600	9,822	60,932
4 x 4 x 5/16	8,200	12,203	73,238
4 x 4 x 3/8	9,800	14,584	87,504
4 x 4 x 1/2	12,800	19,048	114,288

**SISTEMA MÉTRICO**

DIMENSIONES (mm)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m
20 x 20 x 2,0	0,597	3,582
20 x 20 x 2,5	0,736	4,416
20 x 20 x 3,0	0,871	5,226
25 x 25 x 2,0	0,754	4,524
25 x 25 x 2,5	0,932	5,592
25 x 25 x 3,0	1,107	6,642
25 x 25 x 4,5	1,607	9,642
25 x 25 x 5,0	1,766	10,596
25 x 25 x 6,0	2,072	12,432
30 x 30 x 2,0	0,911	5,466
30 x 30 x 2,5	1,128	6,768
30 x 30 x 3,0	1,342	8,052
30 x 30 x 4,5	1,961	11,766
30 x 30 x 5,5	2,353	14,118
30 x 30 x 6,0	2,543	15,258
38 x 38 x 2,0	1,162	6,972

Los productos a partir de 1 1/2" se fabrican bajo la Norma Técnica ASTM A36(A572)-050

**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN CUCHARA (%):**

NORMA	%C máx	%Mn máx	%P máx	%S máx
ASTM A36(A36M)	0,26	0,40	0,04	0,05

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:**

Sistema Inglés

NORMA TÉCNICA	DIFEREN. ENTRE ALAS (mm)	DIFER. ENTRE ALAS (pulg)	ESPESOR (e - mm)			DIFER. MÁX. DE RECTITUD (pulg/m)	LONG. (pulg)		
			+e/-3e	+e/-3e	+e/-3e				
ASTM A36/A36M	1,14" a 1,12"	1,14" y 1,12"	± 1,19	1,78	± 0,25	± 0,25	± 0,30	4,16	+50 -0
	1,54" y 2"	± 1,58	2,00	± 0,30	± 0,38	± 0,38			
	2,12"	+3,17	(*)	(*)	(*)	2,08			
	3,12"	-2,38	2,77	(*)	(*)	(*)			

(\*) La máxima diferencia entre alas 15%, 60% y 50% de la tolerancia total de longitud de alas, respectivamente según la dimensión del ángulo. Fuera de Escuadra entre Alas: máximo permitido ±1.3".  
 (\*\*) El peso métrico no deberá variar más de +3.0%/-2.5% del peso nominal.

**SISTEMA MÉTRICO**

CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	LONGITUD DE ALAS (L) hasta 50 mm inclusive	ESPESOR DE ALAS (e) hasta 50 mm inclusive	DIFERENCIA ENTRE ALAS (D) hasta 50 mm inclusive	LONGITUD DE BARRIL (L) hasta 30 m inclusive	DESVIACIÓN DE RECTITUD (f) (mm)	PUNTO DE ESCUADRA (e) hasta 30 mm inclusive
NORMA TÉCNICA ISO 657/V	+/- 1,00 mm	+/- 0,50 mm	1,5 mm	0/+ 50 mm	4,0 mm/m máx.	1 mm máx.

(\*) No incluye puntas dobladas.

QCQAD1-F103 / 01 / NOV 15



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

Lima: Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.  
 Pisco: Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.  
 Arequipa: Variante de Uchumayo KM. 5,5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

LA PAZ: Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.  
 Santa Cruz: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial U1 06, Mz. L, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76 303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)



## ANEXO K: TABLA DE PLANCHAS

# Laminados en Caliente

## BOBINAS LAC / PLANCHAS LAC

**DENOMINACIÓN:**  
BLAC A36, PDLAC A36.

**DESCRIPCIÓN:**  
Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

**USOS:**  
Se usa en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

**NORMAS TÉCNICAS:**

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36

**DIMENSIONES NOMINALES:**

BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE BLAC A36	PLANCHAS DE LISADAS LAMINADAS EN CALIENTE PDLAC A36
1.5 x 1200 mm	1.5 x 1200 x 2400 mm
1.8 x 1200 mm	1.8 x 1200 x 2400 mm
1.9 x 1200 mm	1.9 x 1200 x 2400 mm
2.0 x 1200 mm	2.0 x 1200 x 2400 mm
2.2 x 1200 mm	2.2 x 1200 x 2400 mm
	2.3 x 1200 x 2400 mm
	2.5 x 1200 x 2400 mm
	2.9 x 1200 x 2400 mm
	4.0 x 1200 x 2400 mm
	4.5 x 1200 x 2400 mm
	5.9 x 1200 x 2400 mm

**ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):**

CALIDAD ASTM	% C	% Mn MÁX.	% P MÁX.	% S MÁX.	% Si MÁX.
A36	0.25 máx.	0.5 - 1.20 (0 x 3/4")	0.040	0.050	0.40

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

CALIDAD	NORMA ASTM	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO (%) en 50 mm	DOBLADO
Estructural	A36	2550	4080-5,610	20 mín.	a 180° (opcional) Diámetro Rn = 3a Sentido Laminación

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**

Según AISI G3193

ESPESOR NOMINAL e (mm)	TOLERANCIAS (mm)						
	CAMBER	APLANADO	ANCHO		LONGITUD	ESPESOR	
			±1200	1500		ANCHO 1200	ANCHO 1500
1.8-1.9	30 mm/m máx.	18 máx.				± 0.19	± 0.23
2.0-2.4		18 máx.	+30	+35	+25	± 0.20	± 0.25
2.5-3.0		18 máx.	-0	-0	-0	± 0.22	± 0.29
4.0-5.9		14 máx.				± 0.45	± 0.55

QCQA01-F202/02 / ABR 16 - QCQA01-F201/03 / MAY 16



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 580830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

# Tubo LAC ASTM A500

## PARA ESTRUCTURAS

### DENOMINACIÓN:

TNM RED ND A500, TNM RED OD A500, TGM RED ND A500,  
TGM RED OD A500, TNM CUA A500, TNM REC A500, TGM CUA A500,  
TGM REC A500.

### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

### USOS:

Diversas estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales, postes, etc.

### NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 – A y B.

### PRESENTACIÓN:

- 1.- Longitud
  - Redondos: 6.40 m y 6 m.
  - Cuadrados y rectangulares: 6 m.
  - Otras longitudes a pedido.
- 2.- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- 3.- Recubrimiento
  - Negro.
  - Galvanizado.
  - (mínimo de 120 gr/m<sup>2</sup>).

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)									
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6		
REDONDO NOMINAL	1/2"	21.3	0.866	0.952	1.159						
	3/4"	26.7	1.105	1.218	1.492						
	1"	33.4	1.403	1.549	1.905	2.249					
	1 1/4"	42.2	1.793	1.983	2.448	2.900					
	1 1/2"	48.3	2.064	2.284	2.824	3.351					
	2"	60.3	2.597	2.876	3.564	4.239					
	2 1/2"	73.0		3.502	4.347	5.179					
	3"	88.9		4.285	5.327	6.305					
	4"	114.3		5.539	6.892	8.234					
	CUAD L.E.	25x25	1.061	1.460							
30x30		1.300	1.700								
40x40		1.770	2.244		3.320						
50x50		2.250	3.122	3.872	4.316						
2"		50.8	3.122	3.872	4.316						
75x75		4.500	5.560	6.810							
100x100		6.165	7.675	9.174	12.133	13.594	16.980				

■ Negro y Galvanizado

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
RECT L.E.	20x40	1.354	1.700							
	25x50	1.650	2.261							
	40x60	2.260	3.033	3.600	4.250					
	40x80	2.710	3.660	4.390	5.190					
	50x75				5.423					
	50x100			4.500	5.560	6.600	8.590			
50x150			6.165	7.676	9.174	11.730				

■ Negro y Galvanizado

### PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)

SECCIÓN	GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
REDONDO	A	230	310
CUADRADO Y RECTANGULAR	A	270	310
	B	315	400

### MATERIA PRIMA:

Acero laminado en caliente calidad estructural.

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES

(Referidas a los valores nominales):

Espesor : + / - 10%  
Longitud : +12.7 / -6.4 mm

### Sección:

#### 1.- Redondo:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	TOLERANCIA DIMENSIONAL + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.5%
Mayores 2"	0.75%

#### 2.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.020
2 1/2" a 3 1/2" incl.	0.025
3 1/2" a 4 incl.	0.030

#### 3.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores a 63.5 incl.	0.51
63.5 a 88.9 incl.	0.64
88.9 a 139.7 incl.	0.76
Mayores a 139.7	0.01 veces el largo de la dimensión plana

QCQA01-F219 / 02 / MAY 16



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

Lima: Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

Pisco: Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 08 30.

Arequipa: Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

LA PAZ: Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

Santa Cruz: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

# Barras Redondas Lisas y Pulidas

## CALIDADES: ASTM A36 Y SAE1045

**DENOMINACIONES:**

REDO LISO A36; REDO LISO SAE1045  
 REDO PULI A36; REDO PULI SAE1045

**DESCRIPCIÓN:**

Producto laminado en caliente de sección circular, de superficie lisa y pulida (según requerimiento).

**USOS:**

CALIDAD	USOS
ASTM A36	Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc.
SAE 1045	Pernos y tuercas por recalado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**

- ASTM A36 / A36M
- SAE J403
- ISO 1035 / 4

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**

- Barras de diámetros  $\leq$  a 1": ISO 1035/4
- Barras de diámetros  $>$  a 1": ASTM A6

**PRESENTACIÓN:**

- Se produce en longitudes de 6 metros.<sup>(\*)</sup>
- Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas.
- Se suministra en paquetones de 2 TM.
- La calidad 1045 se identifica con los colores blanco o blanco y negro.
- La calidad A36 se identifica con los colores verde o verde y negro.

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:**

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	PESO MÉTRICO Kg/m	PESO DE LA BARRA Kg/6m
3/8	0.599	3.596
1/2	0.994	5.966
5/8	1.584	9.323
3/4	2.237	13.425
7/8	3.045	18.272
1	3.978	23.866
1 1/8	5.034	30.205
1 1/4	6.215	37.291
1 3/8	7.520	45.122
1 1/2	8.990	53.938
1 3/4	12.182	73.090
2	15.911	95.464
2 1/4	20.137	120.822
2 1/2	24.860	149.162

(\*) También se produce en otras longitudes a pedido del cliente.

**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):**

NORMA	%C	%Mn	%Si	%P	%S
ASTM A36	0.26 máx.	0.60 - 0.90 <sup>(1)</sup>	0.40 máx.	0.04 máx.	0.05 máx.
SAE 1045	0.41 - 0.50	0.60 - 0.90	0.15 - 0.25 <sup>(2)</sup>	0.030 máx.	0.050 máx.

(1) Para diámetros mayores que 3/4".  
 (2) Las barras con norma SAE 1045 contienen silicio a partir de 1 1/8".

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO EN 200 mm, mín (%)
ASTM A36	2,530	4,080 - 5,620	20.0
SAE 1045 <sup>(*)</sup>	4,000 - 5,500	6,700 - 8,200	12.0

(\*) Valores Típicos.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**

Barras de diámetro  $>$  1"

NORMA TÉCNICA	DIÁMETRO NOMINAL (")	DIÁMETRO (d - mm)	OVALIZACIÓN (o - mm) máx.	DESVIACIÓN DE MÁXIMA DE RECTITUD (f - mm/m)	LONGITUD (l - mm) (*)
ASTM A6	1" < D $\leq$ 1 1/8"	$\pm 0.25$	0.38	4.16	+50 -0
	1 1/8" < D $\leq$ 1 1/4"	$\pm 0.28$	0.41		
	1 1/4" < D $\leq$ 1 3/8"	$\pm 0.30$	0.46		
	1 3/8" < D $\leq$ 1 1/2"	$\pm 0.36$	0.53		
	1 1/2" < D $\leq$ 2"	$\pm 0.40$	0.58		
	2" < D $\leq$ 2 1/2"	+ 0.79 - 0.0	0.58		

Barras de diámetro  $\leq$  1"

CARACTERÍSTICA DE CALIDAD	NORMA TÉCNICA ISO 1035/4	GRÁFICOS
Dimensión Nominal (d)	$\pm 0.4$ mm $\pm 1/2$ $1/2 < d \leq 7/8$ $7/8 < d \leq 1$	
Ovalización (o)	0.60 mm máx. $d \leq 1/2$ 0.75 mm máx. $1/2 < d \leq 7/8$ 0.90 mm máx. $7/8 < d \leq 1$	
Longitud de Barra (l)	$l / + 50$ mm $3 < l \leq 12$ m	
Desviación Máxima de Rectitud (f)	4.0 mm/m máx.	

ISO 9001:2015  
 CERTIFICATE N° 87239

ISO 14001:2015  
 CERTIFICATE N° 87239

OHSAS 18001:2007  
 CERTIFICATE N° 87221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar, Tel. (51-01) 517 1800.  
**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica, Tel. (51-056) 58 0830.  
**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa, Tel. (51-01) 517 1800.  
**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko, Tel. (591) 77641658.  
**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes, Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)



ANEXO N: TABLA DE PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300 -					
TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300 -					
		Acero al Cromo Níquel					
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)	301	302	303	304	304 L	321
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 N% 6,008,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 N% 8,0010,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 N% 8,0010,00 S% 0,15 Máx.	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 N% 8,0010,50	C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 N% 8,0010,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 N% 9,0012,00 Ti%≤Cr%0,07
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20°C (J/Kg K)	500	500	500	500	500	500
	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m.K)	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21,5
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	8100 C 16,92 8300 C 17,10 8500 C 18,18 8700 C 18,72	17,28 17,82 18,36 18,72	17,3 17,8 18,4 18,7	17,30 17,80 18,40 18,80	17,30 17,80 18,40 18,80	16,74 17,10 18,54 19,26
	INTERVALO DE FUSIÓN (°C)	13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1,02	AMAGNÉTICO 1,028	AMAGNÉTICO 1,028	AMAGNÉTICO 1,028	AMAGNÉTICO 1,028	AMAGNÉTICO 1,028
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20°C (μΩ·cm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

<https://www.yumpu.com/es/document/view/22771641/refractariostema2propiedadesfisicas20092010>

REFRACTARIOS.Tema2.PropiedadesFISICAS.2009.2010

www6.uniovi.es

ANEXO Ñ: TABLA DE EMISIVIDAD

## Tablas de emisividad

Material	Temperatura	$\epsilon$
Aluminio, laminado brillante	170 °C	0,04
Asbestos	20 °C	0,96
Asfalto	20 °C	0,93
Algodón	20 °C	0,77
Hormigón	25 °C	0,93
Piomo, gris oxidado	20 °C	0,28
Piomo, muy oxidado	20 °C	0,28
Techo de fieltro	20 °C	0,93
Hielo, brillante	0 °C	0,97
Hielo, irregular	0 °C	0,99
Hierro, esmerilado	20 °C	0,24
Hierro brillante -grabado	150 °C	0,13
Hierro con cuero	100 °C	0,80
Hierro con laminas de cuero	20 °C	0,77
Hierro ligeramente oxidado	20 °C	0,61
Hierro muy oxidado	20 °C	0,85
Tierra cultivada arada	20 °C	0,38
Tierra, arcilla negra	20 °C	0,66
Tejas	25 °C	0,93
Yeso	20 °C	0,90
Vidrio	90 °C	0,94
Oro, pulido	130 °C	0,02
Caucho duro	23 °C	0,94

Caucho gris blando	23 °C	0,86
Madera	70 °C	0,94
Gullaró	90 °C	0,95
Corcho	20 °C	0,70
Esmerli rojo (desigual)	80 °C	0,86
Camara calor, negra anodizada	50 °C	0,98
Cobre, ligeramente mate	20 °C	0,04
Cobre, oxidado	130 °C	0,76
Cobre, pulido	20 °C	0,03
Cobre, negro oxidado	20 °C	0,78
Plásticos (PE, PP, PVC)	20 °C	0,94
Hojas	20 °C	0,84
Mármol, blanco	20 °C	0,95
Recubrimiento de minio pintura	100 °C	0,93
Lafón, oxidado	200 °C	0,61
NATO-verde	50 °C	0,85
Papel	20 °C	0,97
Porcelana	20 °C	0,92
Pizarra	25 °C	0,95
Pintura negra (mate)	80 °C	0,97
Seda	20 °C	0,78
Plata	20 °C	0,02
Acero (superficie tratamiento calor)	200 °C	0,52
Acero oxidado	200 °C	0,79
Arcilla, cocida	70 °C	0,91
Pintura transformadora	70 °C	0,94
Agua	38 °C	0,67
Ladrillo, mortero, yeso	20 °C	0,93
Zinc blanco (pintura)	20 °C	0,95

<http://www.academiatesto.com.ar/cms/tablas-de-emisividad>

Testo Argentina S.A.

Buenos Aires (C1407EBN)

ANEXO O: PIEZAS CON DEFECTOS DE FUNDICION



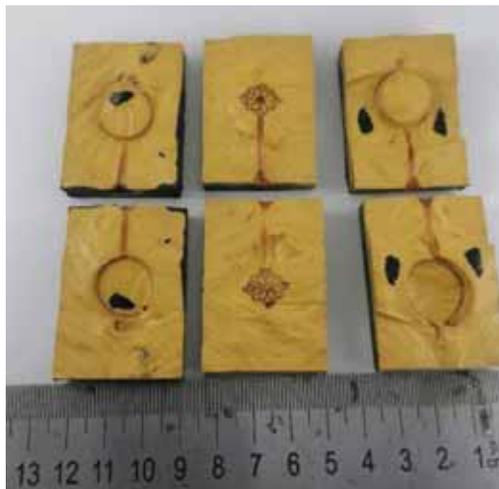
ANEXO P: PIEZAS ACABADOS SIN DEFECTOS



ANEXO Q: MOLDES INYECTADOS DE CERA



ANEXO R: MOLDES VULCANIZADOS DE CAUCHO



ANEXO S: ARMADO Y VACIADO DE ARBOLES



ANEXO T: DESGASTE DE LAS PAREDES DEL HORNO POR CONSTANTE USO

