



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Diseño de un horno para el proceso de curado en la aplicación de  
pinturas electroestáticas"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Freddy Patricio Yagual Montezuma

Erick Antonio Goyes Franco

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica, por brindarnos la oportunidad de elaborar este proyecto. Un reconocimiento especial al Ing. Manuel Helguero Director del tema y a la MSc. Carola Sánchez Coordinadora de la materia integradora que nos ha contribuido sus conocimientos y sabiduría en guiarnos de la mejor manera. A nuestros padres y hermanas que nos han apoyado en esta larga carrera de educación y darnos la oportunidad de ser alguien con valores y conocimientos en el área profesional como personal, a Dios sobre todas las cosas que nos dio la vida y la fortaleza para culminar la etapa como estudiante.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:


Freddy Yagual Montezuma

Erick Goyes Franco

Ing. Manuel Helguero Gonzales

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



---

Freddy Yagual M.



---

Erick Goyes F.



---

Ing. Manuel Helguero G.

## RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un horno para proceso de curado de pintura electroestática con campana de extracción, aplicado al área de metalmecánica para una empresa que se encarga de la elaboración en serie de estructuras de acero o racks, conocidos en el mercado como perchas industriales para bodegas; y también kits para el ensamblaje de motos en el Ecuador. La mencionada empresa necesita tener al menos una producción de 20 perchas por día y alrededor de 400 piezas de motos, para lo cual necesitan de un sistema que se ajuste a sus necesidades optimizando el proceso final, que es el curado de las piezas.

Lo primero que realiza la compañía para la elaboración de sus productos es un tratamiento superficial, que consiste en la inmersión de la pieza en una piscina, la cual contiene una combinación de fosfato y ácido para extraer toda la calamina del material y tener una mejor adherencia de la pintura. Luego, se procede con la aplicación de la pintura en polvo. Para que esta aplicación sea efectiva, se necesita que la capa de pintura en polvo alcance la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$ , a este proceso se conoce como proceso de curado, el cual es un factor importante en el proceso final de producción de las piezas. Para la elaboración de un correcto curado se necesita tener un control preciso de los parámetros de temperatura y otros factores que pueden afectar al proceso, para esto se realiza el diseño de un horno de convección forzada, el cual calienta su cámara hasta la temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de tiempo de 45 min. Se usa gas licuado de petróleo como combustible para calentar el interior del horno. Un factor importante que se considera es el aislamiento del sistema que pueda soportar la temperatura establecida.

Objetivos requeridos con el diseño de horno propuesto: evitar la corrosión, mejor acabado del producto final y optimización del uso del gas licuado de petróleo (GLP), todo esto enfocado al mejoramiento en la producción.

Además, el diseño de horno propuesto es más amigable con el medio ambiente que los otros tipos de hornos comúnmente usados en el mercado, ya que las emisiones de compuestos volátiles son casi nulas y los gases son menos

contaminantes debido a que las pintura en polvo contiene un aproximado de 5% de resina a diferencia de las pinturas acrílicas que se usan para la aplicación en el recubrimiento en metales tienen un 15% de resinas y se diluyen en un 60% lo cual genera exceso de compuestos volátiles (Sanchez, 2014).

Otro tema a tener en cuenta es la volatilidad de los materiales particulados de la pintura en polvo, que suelen tener un tamaño entre 5 y 100  $\mu\text{m}$  (Kenneth & Cecil, 2006). Este trabajo final de graduación plantea el diseño de una campana de extracción, para prevenir esta situación.

Por otro lado, se seleccionó un aislamiento adecuado para este tipo de operaciones, a fin de mantener siempre el control de la temperatura dentro del horno.

**Palabras Clave:** Electroestática, horno, curado, pintura.

## ABSTRACT

*This project involves the design of a curing oven for electrostatic painting, applied to the area of Metalworking in a company that is in charge of developing series of steel or Racks, known in the market as industrial warehouses and hangers also Kits for the assembly of motorcycles in Ecuador. The company needs to have at least an output of 20 hangers per day and about 400 pieces of motorcycles, for which they need a system that meets your needs optimizing the final process is the curing of the pieces.*

*The first thing done by the company for the manufacture of its products, is to perform a surface treatment and then go to the application of powder coating that helps prevent corrosion and good visibility of the product.*

*The surface treatment consists of a bath product in a pool, which contains a combination of phosphate and acid to remove all scale of the material and have a better paint adhesion. For the application to be effective, you need the oven which is in charge of the final process. It should be noted that also for a perfect adhesion is needed the correct process as possible, this will allow a better finish in the company's product performance and consumption of liquefied gas (LPG), focusing primarily on improving production . Keep in mind that this process is much more environmentally friendly because emissions of volatile compounds are almost nil and gases are less polluting than other painting process. The only problem is when you paint as particulate matter is very volatile and becomes between 5-100 um (micron), (Kenneth & Cecil, 2006) and escapes easily from the paint booth. For this we have designed a hood who runs the material particles, has also performed the analysis for perfect insulation system to perform a perfect temperature control thus leading to a better performance of the oven.*

**Keywords:** *Electrostatics, micron, volatile, cured.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	II
ABSTRACT .....	IV
ÍNDICE GENERAL .....	V
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Marco teórico.....	3
1.3.1 Hornos para pinturas electroestáticas.....	3
1.4 Indicadores de fallas en el Horno (evaluación del curado).....	6
1.4.1 Inspección visual .....	6
1.4.2 Tonalidad de la pintura .....	6
1.4.3 Mala calidad de la pintura en polvo.....	8
1.4.4 Limpieza previa de los objetos.....	9
1.4.5 Espesor de pintura .....	9
1.4.6 Evaluación de la adhesión.....	10
1.4.7 Evaluación del curado .....	11
1.4.8 Prueba de dureza con lápiz .....	11

CAPÍTULO 2 .....	12
2.1 Selección de alternativas del horno .....	12
2.2 Diseño del horno.....	14
2.2.1 Ubicación del horno .....	18
2.2.2 Metodología que se va implementar en la optimización del proceso .....	19
2.2.3 Análisis de las reacciones de propiedades de la pintura a ciertas temperaturas.....	19
2.3 Infraestructura del horno.....	23
2.3.1 Diseño y análisis de carga de los soportes para la ubicación del material a ser curado.....	23
2.3.2 Diseño de campana de extracción para vapores y VOC's.....	29
2.3.3 Ventilador de extracción.....	33
2.4 Análisis energético del horno .....	36
2.4.1 Consumo de combustible.....	37
2.4.2 Velocidad de secado.....	38
2.4.3 Cámara de mezcla .....	39
2.4.4 Aislamiento del sistema .....	41
 CAPÍTULO 3 .....	 45
3.1 Análisis de costo.....	45
3.2 Comparación horno por resistencia vs convección .....	49
 CAPÍTULO 4 .....	 51
4.1 Conclusiones.....	51
4.2 Recomendaciones.....	54
 BIBLIOGRAFÍA .....	 55
APÉNDICES .....	57



## ABREVIATURAS

ASME	American Society of Mechanical Engineer
ASTM	American Society for Testing and Materials
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HHL	High Heating Value
LWL	Low Heating Value
CFM	Pies cubico por minuto
VP	Presión de velocidad
SP	Presión estática
R	Reacción
M	Momento
V	Velocidad
A	Área [ $m^2$ ]
$Q$	Caudal [ $m^3/s$ ]
$\rho$	Densidad [ $g/cm^3$ ]
$g$	Gravedad
$L$	Longitud
$F$	Fuerza
$AB$	Fuerza cortante desde A hasta B
$HEB$	Perfiles de largas alas
$KPa$	Kilopascales
$MPa$	Megapascales
$UPN$	Perfil U
VOC's	Compuestos volátiles
GLP	Gas licuado de petróleo

## SIMBOLOGÍA

$ab$	Fuerza cortante de la viga
$M_{AB}$	Momento de la viga
$I_{viga}$	Inercia de la viga
$\eta$	Factor de seguridad de la viga
$I_{viga}$	Inercia de la viga
$\sigma_{max}$	Esfuerzo máximo de la viga
$W$	Longitud de entrada de la campana
$L$	Ancho de entrada de la campana
$\dot{m}$	Flujo másico del gas
$Hh\nu_{Glp}$	Pode calorífico del gas
$C_p$	Calor específico
$\rho$	Densidad
$D$	Diámetro
$K$	Conductividad térmica
$h$	Coefficiente de convección
$Kg$	Kilogramo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Horno de convección .....	4
Figura 1-2. Horno de radiación .....	4
Figura 1-3. Horno de resistencia .....	5
Figura 1-4. Análisis de fallas de la pintura por mal curado .....	7
Figura 1-5. Erosión de la pintura por exceso de curado .....	7
Figura 1-6. Falla por mala calidad de la pintura en el producto .....	8
Figura 1-7. Porosidades en el recubrimiento del producto por mala limpieza .....	9
Figura 1-8. Piezas terminadas con diferentes tipos de pintura.....	10
Figura 1-9. Producto final después del curado (Racks).....	11
Figura 2-1. Racks instalados de 6000 mm de longitud.....	15
Figura 2-2. Esquema del horno de convección forzada vista frontal .....	15
Figura 2-3. Esquema del horno en vista lateral.....	16
Figura 2-4. Esquema de un oscilante para motos .....	17
Figura 2-5. Esquema de un timón para montos .....	17
Figura 2-6. Ejemplos de hornos por convección en funcionamiento .....	18
Figura 2-7. Gráfica de temperatura Vs tipo de la pintura epóxica .....	21
Figura 2-8. Gráfica de temperatura Vs tipo de la pintura poliester .....	22
Figura 2-9. Gráfica de temperatura Vs tipo de la pintura epóxi/poliester.....	23
Figura 2-10. Diagrama de cuerpo libre de la viga.....	24
Figura 2-11. Diagrama de fuerza cortante y del momento flector.....	26
Figura 2-12. Esquema de una viga HPN.....	29
Figura 2-13. Esquema de un quemador industrial.....	40
Figura 2-14. Esquema del aislamiento del sistema .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Ponderación a las alternativas del horno. ....	14
Tabla 2-2. Propiedades mecánicas de la pintura epóxica .....	20
Tabla 2-3. Propiedades mecánicas de la pintura poliéster .....	21
Tabla 2-4. Propiedades mecánicas de la pintura epóxi/poliéster .....	22
Tabla 3-1. Costos por concepto de estructura del horno.....	45
Tabla 3-2. Costos por concepto de materiales de la campana de extracción .....	46
Tabla 3-3. Costos por concepto de quemadores y sistema del gas del horno .....	47
Tabla 3-4. Costos por concepto de soporte y accesorios.....	48
Tabla 3-5. Costos por concepto de aislación térmica del horno.....	48
Tabla 3-6. Valor total de la propuesta para la construcción .....	49
Tabla 3-7. Resultados .....	50

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Estructura del horno en vista isométrica .....	70
Plano 2. Estructura del horno en vista lateral y frontal .....	71
Plano 3. Plano general .....	72
Plano 4. Campana de extracción .....	73
Plano 5. Ducto de campana de extracción .....	74
Plano 6. Quemador tipo flauta .....	75
Plano 7. Parrilla .....	76

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En una empresa aplicada al área de metalmecánica, dedicada a la fabricación de perchas industriales y piezas para el ensamblaje de motos. Los productos mencionados pasan por un proceso de recubrimiento superficial que aplica a la técnica de protección anticorrosiva y a buenos acabados superficiales, lo que proporciona el aumento de la vida útil. El proceso de protección de metales que se le aplica es de recubrimiento con pintura en polvo llamado como pintura “electrostática”, los cual consiste en la aplicación sobre la superficie de un objeto polarizado de manera contraria al polvo, generándose entre ellos una atracción magnética que permite la adherencia de las partículas a la superficie. El proceso de pintura electrostática es aplicado en la empresa para mejorar la producción, los gastos y reducir la liberación de partículas volátiles que afectan al medio ambiente. Para la perfecta adherencia del recubrimiento necesita pasar por un proceso de curado el cual consiste en ingresar las piezas que se encuentran con el polvo polarizado dentro de una cámara u horno, para luego proceder a su quemado o curado. En esta cámara se alcanzan temperaturas de hasta 180<sup>0</sup> C que es la temperatura con la cual el polvo electroestático se quema y se adhiere perfectamente al producto.

En la empresa actualmente consta de un horno elaborado artesanalmente, el cual no trabaja eficientemente, su distribución de calor no es uniforme y no consta de un control de operación, debido a estos inconvenientes se desarrolla el proyecto: “DISEÑO DE UN HORNO PARA EL PROCESO DE CURADO EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS ELECTROESTÁTICAS”

### 1.1 Descripción del problema

La propuesta se genera por la necesidad de optimizar la línea de producción-de una empresa dedicada a pintar piezas en serie, tales como perchas y partes de motocicletas. Comúnmente, este proceso se lo realiza con pintura en spray, lo cual es no solamente costoso, sino que demanda un tiempo de secado de la pieza muy alto; además de la contaminación vinculada, ya que las pinturas

están constituidas por 40% de materiales sólidos y 60% de resinas (Sanchez, 2014).

Actualmente, la empresa en cuestión realiza un tratamiento superficial a las piezas, a fin de evitar la corrosión y asegurar el correcto recubrimiento de la pintura. Luego, se procede a la aplicación de la pintura mediante el equipo electroestático que consta de una pistola que carga las partículas de polvo positivamente y estas se adhieren al topar al metal porque se encuentra conectado a tierra (carga negativa). Finalmente, se realiza el curado de las piezas pintadas, utilizando en esta etapa el horno diseñado en este trabajo final de graduación. Cabe recalcar que el mencionado proceso de curado es amigable con el medio ambiente, ya que las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) son casi nulas. No obstante, la pintura en polvo es muy volátil, lo que puede afectar a la salud de las personas (pulmones), si no se dispone del respectivo equipo de seguridad. Por otro lado, se debe controlar la nube de pintura formada, ya que puede perjudicar a los sectores aledaños a la planta. Por estos motivos, se añadió el diseño de una cámara aislada, con la finalidad de mitigar las consecuencias señaladas.

El diseño propuesto en este trabajo final de graduación se desarrolla en dos secciones: la primera, que consiste en el diseño del horno; dimensionamiento de boquillas, válvulas, tuberías; instalación de termostatos para la medición de temperaturas dentro del horno, diseño de campana de extracción y sopladores para así poder homogenizar la temperatura de la cámara. Y la segunda etapa, que se refiere al análisis de costos del proyecto, es decir el precio de producir o construir un horno con los parámetros de diseño requeridos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un horno para proceso de curado para la aplicación de pinturas electroestáticas con campana de extracción, aplicado al área de metalmecánica.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Proponer el diseño de un horno construido con materiales ecuatorianos, para disminuir costos de importación y mantenimiento.
- Optimizar y adaptar un horno existente en el mercado ecuatoriano para el proceso de curado de pinturas electroestáticas.
- Optimizar el manejo del proceso de curado.
- Facilitar el mantenimiento del horno.

### **1.3 Marco teórico**

En este capítulo se explica la parte teórica de los tipos de hornos que pueden ser utilizados para la obtención de los objetivos planteados, en el diseño del horno. Se describe las evaluaciones y análisis de la pintura después del curado en el horno.

#### **1.3.1 Hornos para pinturas electroestáticas**

Existe una clasificación principal de estos hornos de acuerdo al tipo de operación:

##### **1.3.1.1 Hornos por Convección**

Estos llegan a una temperatura de curado por medio del calentamiento del aire dentro de la cámara donde se ubican las piezas, esto lo hace por medio del uso de la quema de combustible por lo general GLP. Estos hornos son usados en su mayoría para trabajos en cantidad o en forma continua de líneas de producción.

Para estos hornos el dispositivo que entrega la energía calórica se conoce como quemador que se encuentra en varias formas y funcionamiento dependiendo su función. Se encargan de mezclar los dos componentes para luego generar la llama usando oxígeno y gas, la que se encarga de calentar la cámara hasta la temperatura deseada para el respectivo curado de las piezas, ver figura 1-1.





**Figura 1-1 Horno de convección**

Fuente: (webzstyle, 2014)

### **1.3.1.2 Hornos de Radiación**

Para llegar a la temperatura de curado dentro de la cámara, este horno usa calor radiante o radiación infrarroja, el cual funciona por la absorción del calor radiante por los objetos pintados, esto por lo general causa que el trabajo sea continuo debido a que las piezas deben estar en contacto directo con la radiación, ver figura 1-2.



**Figura 1-2 Horno de radiación**

Fuente: (Infra-TEC, 2014)

### 1.3.1.3 Hornos de Resistencia eléctrica y convección forzada

También son conocidos como hornos electro térmicos, se calientan desde el exterior, el elemento calefactor puede adoptar la forma de una bobina de alambre enrollada alrededor de un tubo de material refractario o puede consistir en un tubo de metal, como el carborundo. Los hornos de resistencia son especialmente útiles en aplicaciones cuya temperatura pueda controlarse de forma precisa. Existen diferentes tipos de resistencias para diferentes aplicaciones, en donde su ubicación dentro del horno también cumple un papel fundamental para la distribución de la temperatura y el desempeño del horno. Las resistencias más comunes utilizadas en los hornos de curado por resistencia eléctrica son:

- Resistencia con aletas aluminizadas
- Resistencia con aletas helicoidales en acero inoxidable
- Resistencia blindada tipo doble M

En la siguiente figura podemos observar un horno de resistencias, ver figura 1-3.



**Figura 1-3 Horno de resistencias**

Fuente: (Naya, 2015)

## **1.4 Indicadores de fallas en el Horno (evaluación del curado)**

En el diseño de un sistema, siempre hay que considerar algunos problemas que puedan perjudicar o perturbar el proceso de trabajo del mismo. Para esto, hay que tener un control en estas perturbaciones y realizar un diseño correcto para evitarlos o emplear acoples de otros sistemas, para esto se ha tomado algunos indicadores que pueden decir el error o la falla en el horno, estas consideraciones hay que tener en cuenta por si se presentan una mala adherencia en el producto, ya que se podría llegar a culpar a la calidad de la pintura cuando la falla se encuentra en el equipo.

### **1.4.1 Inspección visual**

La inspección visual ayuda a analizar diferentes variables del proceso si se presenta un problema, esto es importante ya que este proceso es por el cual debe pasar el producto para verificar si el proceso de curado fue el correcto ya que aquí podemos agregar hipótesis como; si el horno se encuentra en óptimas condiciones o saber cuál es el problema, esto es algo que cada operador o el personal encargado tiene que tener muy en cuenta, para poder predecir posibles fallas en el horno, los problemas que tenemos que observar son:

### **1.4.2 Tonalidad de la pintura**

Por lo general, cuando el proceso de curado no es realizado correctamente, la pintura tiende a cambiar de tono ya sea más oscura o más clara. En la siguiente figura podemos observar un ejemplo, ver figura 1-4.



**Figura 1-4 Análisis de fallas de la pintura por mal curado**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

La pérdida de la tonalidad suele suceder por el exceso de tiempo de curado si se excede el tiempo la pintura tiende a quemarse lo cual produce que en algunos sitios del producto tenga una tonalidad muy oscura. Otra cosa que puede suceder con esto es que la pintura se reviente o se haga porosa por el exceso de temperatura que puede llegar al punto de descascararse por la fragilidad que obtiene la capa, ver figura 1-5.



**Figura 1-5 Erosión de la pintura por exceso de curado**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

También, si el tiempo es muy corto provoca que la pintura tenga una tonalidad opaca, además, puede llegar al punto de que no exista una buena adherencia del polvo hacia la pieza. Todo esto se puede corregir con un buen control del tiempo de curado y balance energético dentro de la cámara del horno.

### 1.4.3 Mala calidad de la pintura en polvo

Esto es un factor muy importante, ya que por lo general los operadores cuando se presenta un error en el proceso tienden a centralizar la falla hacia el horno o algún dispositivo del mismo, pero en ciertos casos es la calidad del producto que se está usando. Esto causa los mismos problemas ya citados anteriormente. Por eso hay que tener en cuenta el producto que se está usando, y si hay algún problema informar al proveedor del mismo lo antes posible, ver figura 1-6.



**Figura 1-6 Falla por mala calidad de la pintura en el producto**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

#### 1.4.4 Limpieza previa de los objetos

Antes de entrar al proceso de curado de las piezas en el horno, primero hay que colocar las piezas en un baño de ácido y fosfato que sirve para extraer la calamina del metal y obtener una mejor adherencia del polvo en las mismas. Después de esto se debe limpiar las piezas para extraer la mezcla de ácido + fosfato, ya que si existe una pequeña presencia de la misma al momento de colocar el polvo y quemar las piezas en el horno esto causaría que la pintura no se adhiera correctamente en algunos lugares, ver figura 1-7.



**Figura 1-7 Porosidades en el recubrimiento del producto por mala limpieza**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

#### 1.4.5 Espesor de pintura

El espesor de pintura suele ser un problema, por el mal manejo del mismo, ya que si se va a trabajar con una pintura mucho más espesa el tiempo de curado que hay que controlar debe ser mayor. Esto depende, por lo general del tipo de



polvo que se maneja, por experiencia, si el polvo es un polvo más arenoso como el negro mate, el tiempo de curado debe ser mayor, si se trabaja con una pintura ligera como la brillante el tiempo debe ser menor, se puede apreciar una muestra del producto terminado con las dos tonalidades de pintura, ver figura 1-8.



**Figura 1-8 Piezas terminadas con diferentes tipos de pinturas**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

#### **1.4.6 Evaluación de la adhesión**

La protección anticorrosiva del acero mediante el uso de recubrimientos depende de una buena adhesión de la pintura. La prueba de adhesión según norma ASTM D3359, es realizada por el método de corte en forma de cuadrícula, dependiendo del espesor de película seca del sistema de pinturas. Los resultados son de carácter cualitativo, basados en una escala visual con seis niveles o grados de adherencia, evaluando el grado de resquebrajamiento a lo largo de los bordes de los cortes. Más adelante se puede apreciar una imagen del producto terminado, ver figura 1-9.



**Figura 1-9 Producto final después del curado (racks)**

Fuente: Fotografía de elaboración de propia

#### **1.4.7 Evaluación del curado**

Prueba del papel lija, es especialmente aplicada en aquellas pinturas de gran dureza en su acabado. Cuando se lijan las pinturas, forman un polvillo cuando están completamente curados; caso contrario, se vuelven pegajosas.

#### **1.4.8 Prueba de dureza con lápiz**

En este ensayo se utilizan lápices de dureza con escala: 5B- 4B- 3B- 2B- B- HB- F- H- 2H- 3H- 4H- 5H, siendo el 5B el más bajo en dureza y el 5H el más duro. La dureza es la resistencia de una película al rayado o raspadura superficial. Se recomienda comenzar rayando con el lápiz de menor dureza hasta lograr cortar la película. El valor de dureza será aquel que inmediatamente anterior al lápiz que causa el daño o logra cortar el recubrimiento, (De la cruz, 2004). Es la apariencia final de las piezas lo que determina, en un principio, la calidad del producto. Para esto es muy importante seleccionar el tipo de proceso adecuado de acuerdo a su actividad, teniendo en cuenta costos y niveles de calidad y producción que se requieren por eso es muy importante esta prueba.



# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Para el proceso de diseño primero se selecciona la mejor alternativa, teniendo en cuenta parámetros de costos, capacidad, funcionabilidad, bajo consumo energético, entre otros.

Se toma en cuenta los hornos que son usados con frecuencia en el sector industrial ecuatoriano, los sistemas conocidos son los siguientes;

- Horno de convección forzada con quemadores a gas
- Horno de resistencias forzada con uso de resistencias eléctricas

### 2.1 Selección de alternativas del horno

#### **Alternativa A: Horno de convección forzada con uso de quemador de gas.**

Este sistema consiste en el uso de GLP o gas licuado de petróleo para alcanzar la temperatura deseada de 200 °C en la cámara, usando quemadores atmosféricos tipo flauta lo cual reduce los gastos en lo que respecta a consumo energético pero produce más vapores y compuestos volátiles lo cual causa un fuerte impacto al medio ambiente, además usan bombonas industriales las cuales son peligrosas si no se lleva un respectivo control al usarlas. Suelen ser bastante económicos y pueden ser fácilmente fabricados.

#### **Alternativa B: Horno de convección forzada con uso de resistencias eléctricas.**

Son conocidos como hornos electro térmicos, se calientan desde el exterior, el elemento calefactor puede adoptar la forma de una bobina de alambre enrollada alrededor de un tubo de material refractario o puede consistir en un tubo de metal.

Los hornos de resistencia son especialmente útiles en aplicaciones cuya temperatura pueda controlarse de forma precisa. Existen diferentes tipos de resistencias para diferentes aplicaciones, en donde su ubicación dentro del horno también cumple un papel fundamental en el desempeño del mismo. Estos hornos son muy caros ya que para su uso muy aparte del costo se necesita hacer una instalación independiente para alimentar su energía.

### **Matriz de decisiones**

La ponderación de la evaluación será numérica teniendo a 1 como el valor más bajo y 20 como más alto. Se ha considerado para la evaluación aspectos que van conforme con los parámetros necesarios de diseño para la optimización del sistema. Uno de ellos a tomar en cuenta es el de costo con el cual se encuentran en el mercado, según cotizaciones por fuente propia se llega a un valor para los hornos de resistencia de \$125000, a diferencia del de convección forzada por medio de GLP que está a un valor de \$25000, entonces para el análisis de esto hay que ser muy puntuales en la valoración para no generar errores en la selección de la alternativa más viable.

Hay que tomar en cuenta que, el valor cotizado del horno de resistencias es para un horno de 1800 mm de alto por 1200 mm de ancho por 1600 mm y el horno de convección forzada es de 12000x3000x3000 mm, lo cual influye mucho en la selección.

Para la valorización de las alternativas, ver tabla 2-1.

**Tabla 2-1. Ponderación a las alternativas del horno.**

		Alternativas		
Criterio	Características	Ponderación	A	B
<b>Técnico</b>	Funcionalidad	20	18	15
	Bajo Consumo energético	20	18	12
	Bajo Mantenimiento	10	8	7
	Capacidad	10	9	8
<b>Seguridad Industrial</b>	Riesgo personal	20	14	16
<b>Económico</b>	Bajo costo de inversión	20	20	15
	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>87</b>	<b>73</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la mejor decisión tanto por consumo energético como por costo resulta ser la alternativa A ya que obtuvo una valorización de 87 en la matriz de decisiones ver tabla 2-1.

## **2.2 Diseño del horno**

Para esta parte del diseño se ha considerado la necesidad del cliente, se refiere el tipo de material que se va a pintar, las dimensiones de los sistemas que van a ingresar en el horno para el curado de la pintura, esto va a definir las dimensiones del horno. Los elementos que ingresarán al horno para el curado son racks y piezas de motos. Para esto se diseña tomando en cuenta las dimensiones del rack más necesario o que produce la empresa a mayor cantidad aunque el horno será útil para los rack de diferentes dimensiones

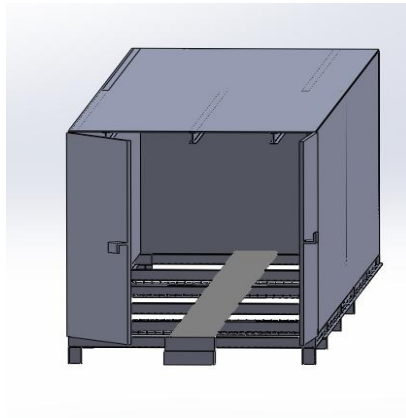
como: 2,5-3-4-5-6-7-8 hasta 9 m para una mejor apreciación ver figura 2-1, con estas dimensiones se tiene una idea del tamaño del sistema.



**Figura 2-1 Racks instalados de 6000 mm de longitud**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

En la figura inferior se encuentra un esquema de horno por convección forzada ver figura 2-2.



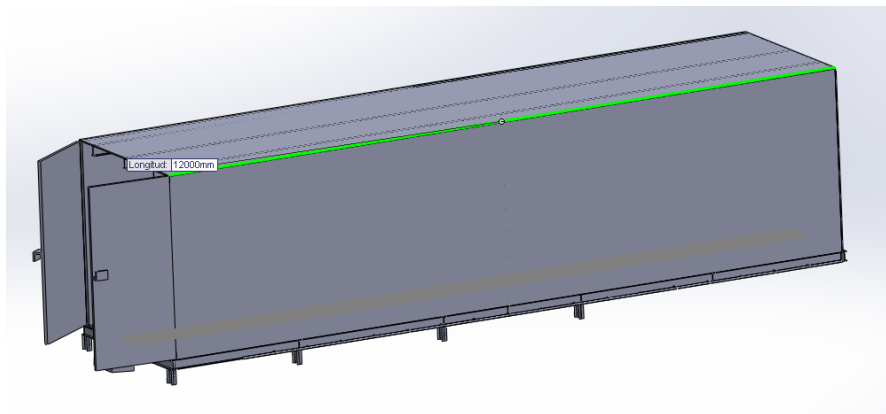
**Figura 2-2 Esquema del horno por convección forzada en vista frontal**

Fuente: Elaboración propia

El ancho depende de la cantidad diaria de elementos que se necesiten pintar. Pero sin embargo otro factor que limita esta dimensión es la ubicación del horno, ya que hay que tomar en cuenta si el espacio necesario para la ubicación de este se encuentra disponible o es el adecuado.

Las dimensiones más óptimas para empezar con el diseño del horno se basan en las dimensiones de los rack mayormente producidos que son los de 6000

mm, para lo cual la empresa necesita una producción de al menos 20 racks en un día laboral, como las horas de trabajo de la empresa son 8 hr alcanza solo para dos procesos de curado, lo cual indica que para cumplir con la producción en una quemada o proceso de curado, necesita ingresar a la cámara al menos 10 piezas de 6000\*50 mm para llegar al objetivo de producción de la empresa. Para esto se necesita tener un equipo con las siguientes dimensiones 12000 x 3000 mm. La longitud es para que entren dos perchas por sujetador y el ancho es para poder colocar 5 sujetadores, considerando el espacio libre que se debe tener para que el pintor pueda maniobrar las piezas al colgarlas. En la parte inferior, observar un esquema lateral del horno, ver figura 2-3.

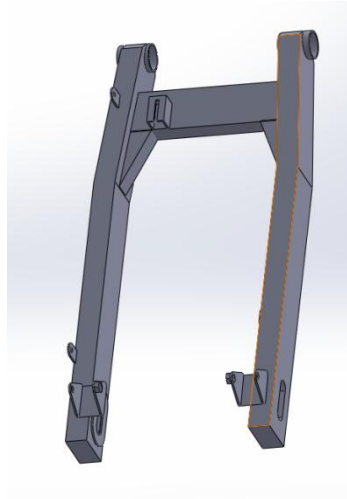


**Figura 2-3 Esquema del horno en vista lateral**

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones consideradas para el diseño del horno, producen un área de 36000 mm<sup>2</sup> con lo cual si un rack necesita tener una separación para una perfecta manipulación de alrededor de 450 mm (por experiencia propia) para ubicarlo dentro del horno quiere decir que estará alrededor de 10 pórticos por quemada o proceso de curado lo cual es bastante útil para el proceso.

Para las piezas de motos la cantidad es diferente ya que la separación para la manipulación y ubicación son menores y la longitud de las piezas de motos no excede los 50 mm, se puede observar un esquema de las piezas de motos a pintar, ver figura 2-4.

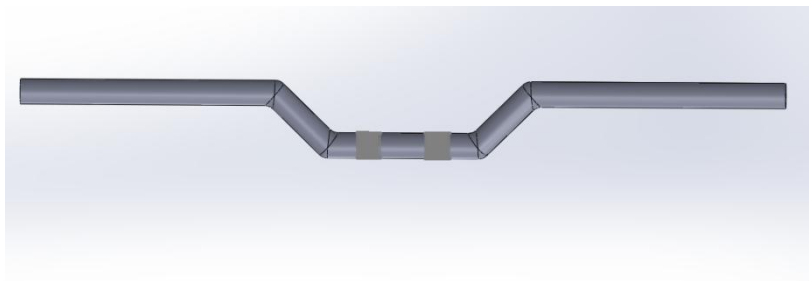


**Figura 2-4. Esquema de un oscilante para motos.**

Fuente: Elaboración propia

Las piezas que se mencionaron anteriormente para motocicletas, tienen dimensiones de alrededor de unos 190 mm de ancho y 150 mm de largo, si el horno tiene una longitud de 12000 mm quiere decir que en una fila entran alrededor de 64 piezas en promedio para 5 vigas de sujeción en total son 320 piezas que salen por proceso de curado.

También se pueden colocar piezas como timones en la parte inferior del horno sobre una parrilla con un sistema de sujeción pre-fabricado y el número de piezas por proceso de curado aumenta, en la siguiente figura se muestra un esquema de las piezas que se pueden pintar en la parte inferior de horno, ver figura 2-5.



**Figura 2-5. Esquema de un timón para motos.**

Fuente: Elaboración propia

Con esto se puede empezar a realizar el diseño del equipo este es el dimensionamiento ideal para el tipo de trabajo que se está realizando. En la figura de abajo se observa un sistema parecido con el que se va a trabajar, ver figura 2-6.



**Figura 2-6. Ejemplos de hornos por convección en funcionamiento**

Fuente: Fotografía de elaboración propia

### **2.2.1 Ubicación del horno**

Esto es muy importante ya que este sistema deberá ser ubicado en un lugar aislado de otros sistemas ya que a su alrededor habrá expulsiones de gases y vapores además del polvo de pintura que sale de la cámara, todo esto debe ser considerado para que no afecte al personal que se encuentre cerca del mismo trabajando, y no esté usando la protección adecuada, y no pueda causar un daño a largo plazo.

Otro factor a considerar en la ubicación del horno es la de la campana ya que hay que colocar la campana en sitio aislado de todo ya que esta va hacer la extracción y recuperación del polvo y ciertos gases para lo cual debe estar alejada de otros sistemas para evitar el daño de los mismo, por causa de alguna fuga de los componentes.

Hay que tener en cuenta que habrá cierto peligro con el manejo de los tanques de GLP, esto también influye en la ubicación ya que se si sucede algún incidente lo más eficiente y sencillo seria ubicarlo alejado del personal del trabajo, aislado con una trampa por si sucede algún imprevisto.

### **2.2.2 Metodología que se va implementar en la optimización del proceso**

Cuando es un horno de pintura el tiempo de curado, la temperatura, el aislamiento todo es vital. Por lo general los parámetros que deben controlar son estos, los proveedores de la pintura en polvo recomiendan trabajar con una temperatura de diseño de 180 °C y un tiempo de curado estimado de 45 min. Pero no todos tienen las mismas especificaciones importantes del diseño que puedan cumplir con cualquiera de estas condiciones pero para nuestro diseño vamos a tomar como bases esas dos variables. Para el diseño de este se necesita considerar varios parámetros;

- Flujos de aire estacionario.
- Aislamiento lana de vidrio (por bajo costo y trabaja con una temperatura de diseño de 200 ° C).
- Combustible GLP.
- Temperatura a 180 °C.
- Un tiempo de quemado de 45 min.

### **2.2.3 Análisis de las reacciones de propiedades de la pintura a ciertas temperaturas**

La temperatura dentro de la cámara del horno es muy importante ya que variaciones de la misma producen errores o fallas graves en la pintura que quitan la protección a la corrosión del producto. El tipo de pintura que se usa en el producto, es muy importante porque los diferentes proveedores recomienda temperaturas de quemado diferentes, y además existen varios tipo de pinturas como, la de interiores, también para soportar condiciones externas o lo que se conoce como pinturas híbridas todas estas tienden a tener diferente comportamientos tanto en el curado como en la práctica después de la aplicación.

Aquí se menciona una clasificación de los tipos de pintura usados en el mercado, servirá para analizar sus propiedades y según eso diseñar el horno.

Entre ellas están:



- Pintura epoxi
- Pintura poliéster
- Pintura híbrida

### La pintura Epoxi

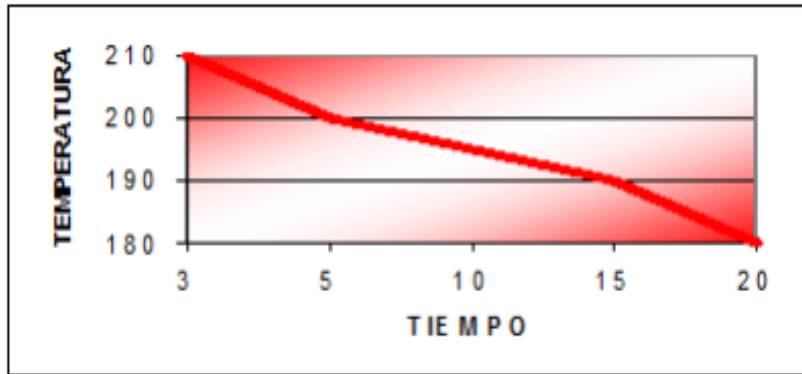
Tiene resinas las cuales son utilizadas no con el fin de tener un buen acabado sino una protección contra la corrosión y una elevada resistencia a los impactos. Tiene un alto agente para evitar la oxidación y no es contaminante; por otra parte, no sirve para piezas que se van a encontrar en constante exposición con condiciones externas. En la parte inferior se observa una tabla con las propiedades de la pintura epóxica, (Ver tabla 2-2).

**Tabla 2-2 Propiedades mecánicas de la pintura epóxica**

ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	90-130 oscilaciones
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3 H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO IMPACTO (ASTM D 2794)	80 - 120
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM 11-70)	
MALLA 200	0 - 9 %
MALLA 400	25 -75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50 -60 micrones

Fuente: (Armun 2007)

Según el tipo de pintura es el tiempo de curado como se explicó anteriormente, y según eso es la temperatura a la que debe estar la cámara del horno, en la siguiente gráfica puede observarse la función, ver figura 2-7.



**Figura 2-7. Gráfica de temperatura Vs tiempo de la pintura epóxica**

Fuente: (Armun 2007)

### La pintura poliéster-Tgic

Sus resinas son de poliéster. A diferencia de la epóxica se usa característicamente en trabajos o piezas que van a estar sometidas a condiciones externas; tienen un excelente acabado, soportan muy bien los rayos del sol, la temperatura no es un problema que las afecte.

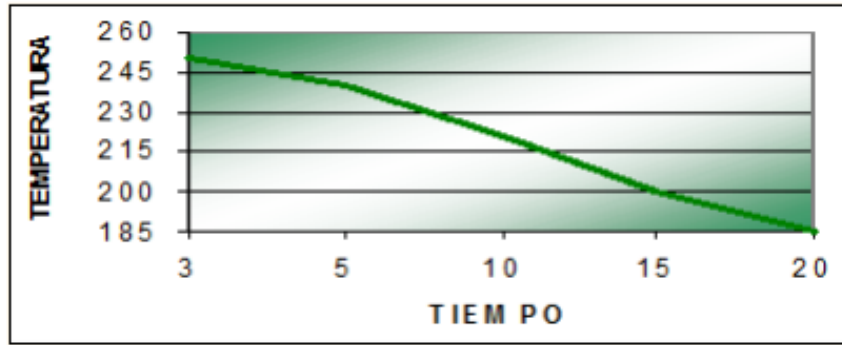
Su resistencia al impacto es muy baja, y no soporta esfuerzos mayores. No es apta para condiciones de trabajo en fatiga. Para observar propiedades, ver tabla 2-3.

**Tabla 2-3 Propiedades mecánicas de la pintura poliéster**

ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	130 osc (min)
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3 H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO IMPACTO (ASTM D 2794)	160 (mínimo)
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM 11-70)	
MALLA 200	0 - 9 %
MALLA 400	25 -75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50 -60 micrones

Fuente: (Armun 2007)

En la siguiente gráfica se puede observar el tiempo de quemado y la temperatura de diseño para la pintura poliéster, ver figura 2-8.



**Figura 2-8 Gráfica de temperatura Vs tiempo de la pintura poliéster**

Fuente: (Armun 2007)

### La pintura epoxi/poliéster

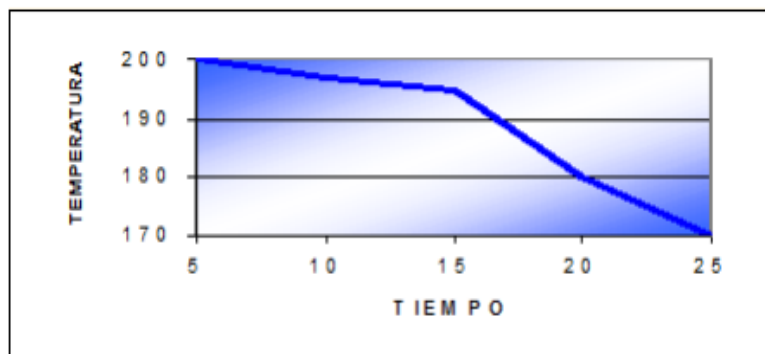
Contiene resinas poliéster, las cuales son endurecidas con resina epóxicas. Las características esenciales de este tipo de pinturas es una mezcla de propiedades entre la pintura epoxi y el poliéster en menores proporciones pero de manera más homogénea en 24 generales. Ya que mezcla los beneficios de trabajos en intemperie con la resistencia a los impactos y la dureza de la epoxi. Las aplicaciones más comunes para este tipo de pinturas son: usos generales en interiores y decoración, usos en exteriores no muy prolongados.

**Tabla 2-4 Propiedades mecánicas de la pintura epoxi/poliéster**

BRILLO GARDNER A 60° (ISO 2813)	Mínimo 85
ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	130 osc (min)
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3 H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO IMPACTO (ASTM D 2794)	160 (mínimo)
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM 11-70)	
MALLA 200	0 - 9 %
MALLA 400	25 -75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50 -60 micrones

Fuente: (Armun 2007)

En la parte inferior se tiene la temperatura de diseño de las pinturas híbridas y el tiempo de curado que recomiendan los proveedores, ver figura 2-9.



**Figura 2-9. Gráfica de temperatura vs tiempo de la pintura epóxi/poliéster**

Fuente: (Armun 2007)

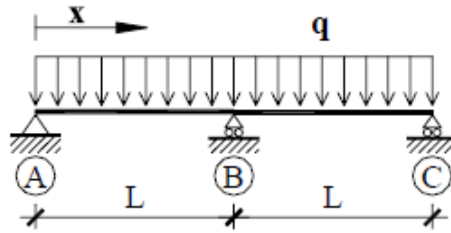
### **2.3 Infraestructura del horno**

Para la infraestructura del sistema es necesario realizar un análisis de los soportes donde se van a colocar las piezas, también el cuerpo estructural del horno. Pero más importante, evitar sobredimensionar el sistema para reducir costos de diseño.

#### **2.3.1 Diseño y análisis de carga de los soportes para la ubicación del material a ser curado**

Se analiza los esfuerzos máximos y el factor de seguridad para las vigas de sujeción que soportan el producto. La carga será la cantidad de producción que se requiere, por lo tanto la masa es de 216 Kg que podrá soportar la estructura. Se da un valor de diseño aproximado de 300 Kg. Para el análisis de estos soportes se usa una viga tipo HEB o también conocida como viga en "I" de acero A 36 de catálogo de vigas con sus propiedades, ver apéndice-A.

Se comenzará hallar las reacciones, ver figura 2-10.



**Figura 2-10 Diagrama de cuerpo libre de la viga**

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de reacciones desconocidas también supera las ecuaciones estática. Se establece ecuaciones en función en las deformaciones.

$$\sum \Phi_{B_{izquierdo}} = - \sum \Phi_{B_{derecho}}$$

$$\frac{qL^3}{24EI_{viga}} - \frac{M_b L}{3EI_{viga}} = - \frac{qL^3}{24EI_{viga}} + \frac{M_b L}{3EI_{viga}}$$

Dónde:

Para mayor conocimiento de los siguientes datos, ver apéndice-A.

$$E: \text{Módulo de Young} = 2.2 \times 10^{11} Pa$$

$$I_{viga}: \text{Inercia de la viga} = 450 \text{ cm}^4$$

Como la carga es de 300 kg y la gravedad tiene un valor de 9.8 m/s se tiene una carga de 2940 N, como los soportes van a ser de una longitud de 12 m nuestra carga distribuida será:

$$q: \text{Carga uniformemente distribuida por la viga} = 245 \text{ N/m}$$

Después de esto se parte del punto “b” como un punto de referencia y se realiza un balance, para obtener:

$$\frac{2M_b L}{3EI} = \frac{qL^3}{24EI}$$

Despejar el momento:

$$M_b = \frac{qL^2}{8}$$

Una vez obtenida la ecuación reemplazar los valores obtenidos y como resultado se obtiene:

$$M_b = \frac{245 \frac{N}{m} \cdot (6m)^2}{8}$$

$$M_b = 1102.5 \text{ N.m}$$

Se determinará las reacciones en los apoyos sumando las reacciones:

$$R_a = \frac{qL}{2} - \frac{M_b}{L} = \frac{qL}{2} - \frac{qL}{8}$$

El valor obtenido en la reacción del punto "a" es:

$$R_a = \frac{3qL}{8} = 551.25 \text{ N}$$

Se conoce por balance que:

$$R_a = R_c$$

Y conociendo que  $R_b$  es igual a:

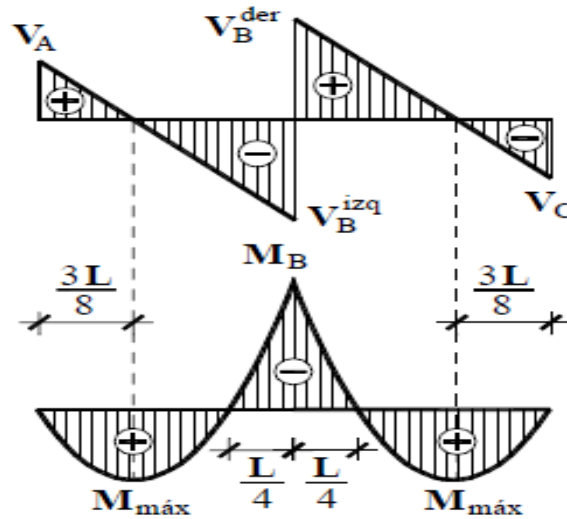
$$R_b = \frac{qL}{2} + \frac{M_b}{L}$$

$$R_b = \frac{qL}{2} + \frac{qL}{8}$$

Entonces el valor de la reacción en "b" será de:

$$R_b = \frac{5qL}{8} = 918.75 \text{ N}$$

Una vez obtenidas las reacciones, se procede a elaborar el diagrama y valores de las fuerzas cortantes y momento, ver figura 2-11:



**Figura 2-11 Diagrama de fuerza cortante y del momento flector**

Fuente: Elaboración propia

Con la gráfica se puede obtener:

$$A = R_a$$

Por lo tanto la fuerza cortante en el punto "a" es de:

$$A = 551.25 \text{ N}$$

Y también se tiene que:

$$c = -R_c$$

Entonces la fuerza cortante en "c" será:

$$c = -551.25 \text{ N}$$

Y para la fuerza cortante en "b":

$$B = -\frac{5qL}{8}$$

$$B = -918.75 \text{ N}$$

Cuando el momento es máximo, la cortante es nula, por lo tanto, la distancia para los momentos máximo viene dada por:

$$\frac{3qL}{8} - qx = 0$$

$$x = \frac{3L}{8} = 2.25 \text{ m} \quad x = \frac{13L}{8} = 9.75 \text{ m}$$

Con las distancias se procede a calcular los momentos máximos:

$$M_{AB} = \frac{qx}{8}(3L - 4x)$$

$$M_{AB} = \frac{(245 \text{ Nm})(2.25 \text{ m})}{8}(3(6 \text{ m}) - 4(2.25 \text{ m}))$$

$$M_{AB} = 620.16 \text{ N/m}$$

$$M_{BC} = \frac{qx}{8}(2L - x) \cdot (4x - 5L)$$

$$M_{BC} = \frac{(245 \text{ Nm})}{8}(2(6 \text{ m}) - 9.75 \text{ m}) \cdot (4(9.75 \text{ m}) - 5(6 \text{ m}))$$

Como la figura 2-11 lo indica el momento es máximo entre "bc" entonces el momento máximo de diseño será:

$$M_{BC} = 620.16 \text{ N/m}$$

$$M_{max} = 620.16 \text{ N/m}$$

Ahora, teniendo el momento máximo que puede soportar la viga, se procede a calcular el esfuerzo máximo y el factor de seguridad, donde los valores del



esfuerzo de fluencia se lo obtiene de las propiedades de la viga del material ASTM A36 que es del material que están hechas las vigas HEB sacado del libro de *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia del material de la viga= 250 MPa

Primero se procede a calcular el esfuerzo máximo que soporta la viga:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} C}{I_{viga}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(620.16 \text{ N/m}) \left( \frac{0.100 \text{ m}}{2} \right)}{4.5 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 6.9 \text{ MPa}$$

Luego de esto se obtiene el valor del factor de seguridad:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

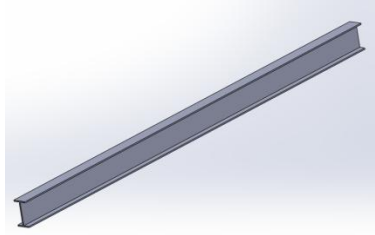
$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{6.9 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 36$$

Como se puede observar, el sistema si tiene un alto factor de diseño lo cual indica que el sistema de sujeción funciona.

Se puede comprobar que la viga HEB puede soportar la carga del producto y mucho más ya que se está trabajando con un factor de seguridad de 36, esto quiere decir que la viga esta acta para soportar mayores cargas si ningún riesgo de deformación.

En el sistema de sujeción de las piezas se usaran un sistema de riel con una polea que servirá para transportar las piezas más pesadas como los pórticos hasta el interior del horno, ver figura 2-12.



**Figura 2-12 Esquema de una viga HEB**

Fuente: Elaboración propia

Para colocar el producto pintado se necesitará tener una parrilla para que el operador pueda caminar y ubicar el producto dentro de la cámara.

La rejilla consta de ángulos laminados de 30x30x3, que sirven como base de la parrilla, canal U que es para colocar las flautas o sirven de soporte de las mismas, por último se tiene plancha antideslizante de 2mm que van sobre la parrilla. Se necesitarán de remaches para una perfecta sujeción de las planchas antideslizantes, para tener un esquema del sistema (ver apéndice-B). Los elementos están mencionados en el área de apéndices.

### **2.3.2 Diseño de campana de extracción para vapores y VOC's**

Para el diseño de la campana se debe tener en cuenta su dependencia del nivel de captación, su caudal y la corrosividad de la misma, o en que afecta la pintura al material del que se encuentra fabricada la campana.

Se considera que en comparación con otros diseños, este sistema va a asegurar la distribución homogénea del calor dentro de la cámara ya que se diseñara con 2 ventiladores los cuales se encargaran el uno de la extracción de polvo y gases y el otro se encarga de soplar el aire caliente hacia abajo ya que por su baja densidad se concentra en la parte superior asegurando así una correcta distribución del mismo, pero para esto abra que hacer su previa selección.

Se trabajará con partículas sólidas y líquidos de gases, que están alrededor de 5 a 40 micrones (Kenneth & Cecil, 2006).

Para el diseño, se usará como referencia del libro del Industrial Ventilation of American conference of Governmental Hygienst. Para el uso de la campana con apertura normal, se tiene que cumplir lo siguiente:

$$\frac{w}{L} \geq 0,2$$

Dónde:

$\frac{w}{L}$  Es la separación entre el plenum (boca de aspiración) y la longitud de aspiración.

$w = 0,70 \text{ m}$ ; Ancho de plenum

$L = 1,2\text{m}$ ; Longitud de aspiración

$$\frac{w}{L} = \frac{0,70 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} = 0,583$$

Como la relación obtenida es de 0,583 que es mayor a 0.20 entonces se puede usar una campana de apertura normal. Para lo cual se debe usar la siguiente ecuación de diseño:

$$Q = 0,75vi(10x^2 + S)$$

Dónde:

S: área de entrada de campana

x: es la longitud de aspiración L

$$S = L * w$$

$$S = (0,70)(1,2) = 0,84\text{m}^2$$

La  $vi$  es la velocidad de caída de la partícula, que se obtiene del libro de Contaminación del aire de Kenneth Wark And cecil F. Warner.

Dónde también se obtiene:  $\rho = 1,5 \text{ gr}/\text{cm}^3$  y  $40 \mu\text{m}$  para este tipo de partícula.

Como se considera brisa moderada:

$$v_i = 8 \text{ cm/s} = 0,08 \text{ m/s} \text{ (Kenneth \& Cecil, 2006)}$$

Con estos valores se procede a calcular el caudal de diseño en el ducto de aspiración para la campana de extracción:

$$Q = 0,75 \left( 0,008 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (10(1,2)^2 + 0,84)$$

$$Q = 0,75(0,008)(15,24)$$

$$Q = 0,9144 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como se tiene conocimiento de que:

$$Q = vA$$

Dónde:

$v$ : es la velocidad en el ducto o velocidad de sustentabilidad

$A$ : El área del ducto

Según Kenneth wark and Cecil es considerada la velocidad de sustentabilidad para polvos de  $40 \mu\text{m}$  que tiene un valor entre  $17 \text{ m/s}$  a  $27 \text{ m/s}$  entonces:

$$A_{\text{Ducto}} = \frac{Q}{v_{\text{sust}}}$$

Con lo cual se puede hallar el área del ducto, para previamente hacer su selección o fabricación según la disponibilidad en el mercado:

$$A_d = \frac{0,9144}{27\text{m/s}}$$

$$A_d = 0,033\text{m}^2$$

Una vez hallada el área y teniendo en cuenta que el ducto que se va a usar es circular no cuadrado para evitar pérdidas por aristas de la sección, entonces se tiene:

$$A_d = \frac{\pi D^2}{4}$$

De lo cual se necesita el diámetro del ducto:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 A_d}{\pi}}$$

$$D_d = \sqrt{\frac{4 (0,033)}{\pi}}$$

$$D_d = 0,204$$

El resultado es un ducto circular para ventilación de 204 mm de diámetro el cual no existe en el mercado ecuatoriano para el área de ventilación por lo cual se deberá usar el más cercano posible y ver como altera en el diseño. Los ductos más comerciales que existen en el país llegan hasta un máximo de 160 mm diámetro, para ventilación.

Entonces con este tipo de tubería se deberá analizar las condiciones de velocidad como se alteran, ya que esto altera a su vez el caudal dentro del ducto:

$$v_{sust} = \frac{0,9144}{\pi (0,16)^2 / 4}$$

$$v_{sust} = 45,72 \text{ m/s}$$

Como resultado se obtiene una nueva velocidad de sustentabilidad, mayor en  $18.72 \text{ m/s}$  comparada con la de diseño, pero lo importante es que aumenta y no disminuye ya que si disminuyera, la aspiración no sería la correcta pero como hay un aumento la aspiración es más fuerte porque si aumenta la velocidad dentro de una sección aumenta su presión, en este caso la succión o fuerza de aspiración.

### 2.3.3 Ventilador de extracción

Para realizar la selección del ventilador en las curvas características de ventilación (ver apéndice-J), se necesita saber la presión estática la cual está en función de la presión dinámica que actúa en el sentido de la velocidad del aire dentro del ducto (succión).

$$Pd = \frac{\rho v^2}{2} \text{ (Wikipedia, 2015)}$$

$Pd$ : [Pa] Presión dinámica

$\rho$ : [ $\text{Kg/m}^3$ ] Densidad del aire.

: [ $\text{m/s}$ ] Velocidad del aire.

Como brisa moderada se toma la velocidad de impulsión  $8 \text{ m/s}$

$$Pd = \frac{(1,94 \text{ Kg/m}^3) * (8 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$Pd = 62,08 \text{ Pa}$$

Hay que considerar que las tablas de selección para el ventilador la presión se encuentra en función de unidades de columna de agua en la cual,  $1 \text{ mm c.a.} =$

9,81 Pa (La presión ejercida por una columna de agua a 4 °C de un metro de altura al nivel del mar), (Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre, 2013).

Dónde:

Pe: presión estática

Pt: presión total

Una vez obtenida la presión dinámica se calcula la presión estática, en base a la presión total de ambiente la cual:

$$Pt = 1226,25 Pa = 125 mm c. a.$$

$$Pt = Pd + Pe$$

$$Pe = 1226,25 - 62,08$$

$$Pe = 1164,17 Pa$$

Una vez encontrada la presión estática, se necesita corregir las perdidas en el ducto por eso se multiplica por un factor de corrección al valor hallado, a una altitud geográfica de 6 m sobre el nivel del mar y 23 °C según el manual de KOOL clima manual técnica de ventilación.

Donde:

Req: Presión estática corregida:

$$Req = (1164,17)(0,91)$$

$$Req = 1059,3947 Pa$$

Con esta presión y el caudal, ir a las curvas características de selección y ver si se ubica la presión calculada para obtener el ventilador, hay que considerar costo, consumo, velocidad y límites de espacio físico.

Aparte se necesita el caudal de diseño para el ventilador, pero se necesita pasarlo a las unidades que usa las tablas, considerando también aire con polvo, entonces:

$$1059,3947 Pa * \frac{1 \text{ mmc. a.}}{9,81 Pa} = 108 \text{ mmc. a.}$$
$$Q = 0,9144 \text{ m}^3/\text{s} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}} = 329184 \text{ m}^3/\text{h}$$

En las tablas se selecciona la potencia requerida y el ventilador, entonces la selección es, un ventilador centrífugo con:

Donde:

$\eta$ : Eficiencia del ventilador

*Pot*: Potencia al freno

$$\eta = 67\%$$

$$Pot = 2Bhp$$

La potencia al freno no es la que se necesita, ya que la que se debe hallar es la potencia del motor con la que va a trabajar el ventilador entonces:

$$Hp = Bhp/0.7 \text{ (Nisbett, 2008)}$$

$$Hp = 2.8 \text{ Hp} \Rightarrow \text{motor de 3 Hp}$$

Entonces se necesita un motor de 3 Hp. Para el diseño se usa un motor de marca Siemens son los más usado por calidad en el mercado.



## 2.4 Análisis energético del horno

Esta es la base del diseño ya que aquí se determina, tanto el consumo de GLP, el espesor del aislamiento y por último hacer una comparación de consumo energético con un horno de resistencias, y ver cuál de los dos resulta ser más eficiente en consumo energético, para ello se han implementado los siguientes parámetros:

### **Dimensiones del Horno y otros factores.**

Como se mencionó anteriormente por condiciones de trabajo se tomaron las siguientes dimensiones del horno:

Longitud: 12000 mm

Ancho: 3000 mm

Altura: 3000 mm

Producción: 10 racks de 6000 x 1000

Peso piezas: 108 Kg por racks

Se necesita saber el poder energético del GLP, poder calorífico del gas: 11082 Kcal/KgT y la temperatura dentro de la cámara del horno la cual es la temperatura del aire que es 23 °C, (España, 2014)

### **2.4.1 Consumo de combustible**

El consumo de combustible dependiendo de la cantidad de calor que se necesita:

*Combustible: Gas licuado*

$$Hh_{v_{GLP}} = 45,814 \text{ Kj/Kg}$$

$$\rho_{GLP} = 559 \text{ Kg/m}^3$$

$$Cp_{aire} = 1,012 \text{ Kj/Kg} - ^\circ K$$

Con el flujo másico de GLP necesario, se saca el caudal requerido de combustible para una temperatura de 180 ° C usando el flujo másico de combustible.

Donde:

$\Delta h$ : Gradiente de entalpía

$\dot{m}_{GLP}$ : Flujo másico de GLP

$$\dot{m}_{GLP} = \dot{Q}_{requerida} / Hh\nu_{GLP} \text{ (enciclopedia, 2014)}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta h = \dot{m} * Hh\nu$$

$$\dot{m} = \dot{Q} / Hh\nu$$

Se considera el poder calorífico del aire ya que dentro de la cámara se encuentra aire a condiciones estándar y así se calcula el calor requerido para calentar esa cantidad de aire a cierta temperatura.

$$\dot{Q}_{requerida} = Cp_{aire} * \Delta T$$

$$\dot{Q}_{requerida} = \left( 1,012 \text{ Kj} / \text{Kg} - \text{°K} \right) * (473 - 298) \text{°K}$$

$$\dot{Q}_{requerida} = 171,224 \text{ Kj} / \text{Kg}$$

$$\dot{m} = (171,224 \text{ Kj}) / (45,814 \text{ Kj} / \text{Kg})$$

$$\dot{m} = 3,74 \text{ Kg} / \text{hr} \text{ Flujo másico del gas licuado}$$

$$\dot{m} = (32 \text{ Kj}) / (45,814 \text{ Kj} / \text{Kg})$$

$$m = 4714,71Kg$$

Donde:

$\bar{V}$ : Es el volumen a calentar

$$\rho = \frac{m}{V} \gg V = \frac{m}{\rho}$$

$$\bar{V} = \frac{4714,71Kg}{559 \text{ Kg}/m^3}$$

$$\bar{V} = 0.0084 \text{ m}^3$$

Y ese es el volumen necesario a secar dentro de la cámara o la capacidad de secado o curado.

#### 2.4.2 Velocidad de secado

Para este, se considera la cantidad de unidades a quemar o curar por el volumen de secado con lo cual se puede calcular la velocidad de secado.

Donde:

$\bar{V}$ : Velocidad de secado

$$\bar{V} = 0.0084 \text{ m}^3 \times 10 \frac{\text{Unidades de racks}}{\text{hr}}$$

$$\bar{V} = 0.0843 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$1\text{Galón} = 3,78 \times 10^{-3}\text{m}^3 \text{ (UnitJugglerv.37, 2008)}$$

$$\bar{V} = 0.0843 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3,78 \times 10^{-3}\text{m}^3} = 22,79 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}}$$

La Velocidad del secado es  $300 \text{ Kg/m}^2 * \text{hr}$  las propiedades de las pinturas en polvo ecuatorianas necesitan para el curado que la cámara del horno se mantenga a una temperatura de  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  durante  $45 \text{ min}$ .

Para que, cumpla se debe tener en cuenta para quemar las 10 unidades a  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  se necesita alrededor de  $22,7 \text{ Gal/hr}$  de GLP, por lo tanto la pintura solo necesita 45 minutos para el tiempo de curado entonces el consumo de combustible es:

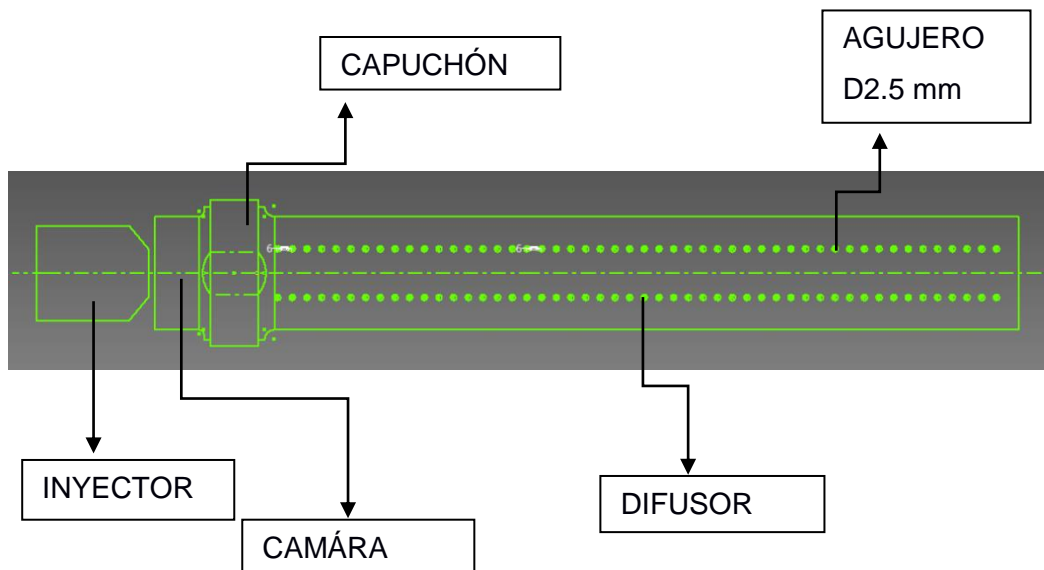
$$\text{Consumo}_{\text{GLP}} = 22,79 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}} * (0,75) = 17,09 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}}$$

Y así se consigue el consumo respectivo de GLP para el curado de la pintura.

### **2.4.3 Cámara de mezcla**

La cámara de mezcla es donde se genera la combustión, la cual prepara la mezcla para tener una excelente quema de combustible sin pérdidas. Para este sistema se usara quemadores industriales tipo flauta los cuales mezclan previamente el GLP con la cantidad regulada de aire para una perfecta combustión sin exceso de aire.

Las perforaciones deberán ser de  $2,5 \text{ mm}$  de diámetro, porque si el agujero es demasiado grande habría un exceso de aire y la combustión no será la correcta, ver figura 2-13.



**Figura 2-13 Esquema de un quemador industrial**

Fuente: Elaboración propia

Entonces se procede a calcular el tubo necesario para hacer el difusor:

$$17,09 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \times \frac{3,8 \text{ L}}{1 \text{ Gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0,000018 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$P = \frac{\rho v^2}{2} \gg 2P = \rho v^2 \gg v^2 = \frac{2P}{\rho}$$

$$v^2 = \frac{2P}{\rho}$$

$$v^2 = 2 \frac{5000000 \text{ Pa}}{559 \text{ Kg/m}^3}$$

$$v^2 = 17889,089 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Con estos datos se encuentra la velocidad de combustible dentro de la cámara de mezcla y como se ha calculado el caudal necesario de GLP, ahora se procede hallar el área que debe tener la flauta para su previo diseño:

$$v = 133 \text{ m/s}$$

$$Q = vA$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{0,18 \text{ m}^3/\text{s}}{133 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,00135 \text{ m}^2$$

Una vez obtenida el área se despeja el diámetro:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0,00135 \text{ m}^2$$

$$D^2 = 0,00172 \text{ m}^2$$

$$D = 0,0414 \text{ m}$$

Se requiere un tubo cedula 40 de 1" ½" de diámetro, para que soporte la presión. Los agujeros necesitan estar perfectamente distribuidos en toda la longitud del horno para procurar una perfecta llama.

La entrada del gas y del aire será  $L_{tubo} = 40 \text{ cm}$  (Manuel, 2014).

#### 2.4.4 Aislamiento del sistema

El aislamiento del sistema es muy importante por lo cual no es el correcto, las pérdidas energética serían muy problemáticas, porque habría disminución de la temperatura dentro de la cámara y el curado no sería el correcto, lo que causa que la pintura no tenga una perfecta adherencia y el producto no sirva, al final esto genera reproceso y pérdidas para la empresa.

El aislamiento que se usará es el de pared tipo sandwich, el cual consiste, de lana de vidrio forrado con plancha de acero estructural de 4mm de espesor

conocidos en el mercado como Kubiwall, ver apéndice-G. Para la sujeción del sistema tipo sandwich se usan correas de 100x50x2 o perfil G, (ver apéndice-D), cada una de estas serán los apoyos los cuales definirán la resistencia del panel, si se tiene una separación de 1500 mm cada correa la resistencia será 2.67 kg/m<sup>2</sup> y la resistencia térmica será de 7.60 m<sup>2</sup> ° k/Watts, ver apéndice-H. Se usa lana de vidrio ya que tiene una temperatura de diseño de 200 ° C y aparte es barato lo cual reduce costo en la fabricación del diseño. En la parte inferior se puede observar un esquema del sistema de aislamiento, ver figura - 2-14.

Dónde:

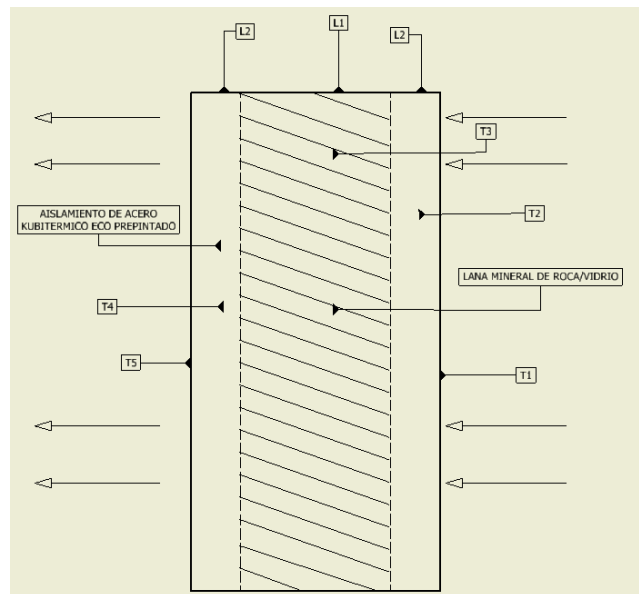
L1: Espesor de lana de vidrio

L2: Espesor de acero estructural

T1: Temperatura dentro del horno

T2: Temperatura de la plancha de acero dentro del horno

T3: Temperatura de la lana de vidrio



**Figura 2-14 Esquema del aislamiento del sistema**

Fuente: Elaboración propia

## Espesor de aislamiento

Antes de calcular el espesor de aislamiento se procede a realizar un balance de resistencias térmicas usando el esquema de la figura 2-14.

También se necesitan los siguientes valores:

$$Q = \frac{\Delta T}{2R} \text{ (Barriga, 2013)}$$

$$R_{cond} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA}$$

Coeficiente convectivo del aire a 23 °C:  $h = 8 \frac{w}{m^2K}$

Datos del acero ASTM A36 (Kubiwall) conductividad térmica:

$$K = 15,1 \frac{w}{mK}$$

$$Cp = 480 \frac{J}{KgK}$$

$$\alpha = 3,9 \times 10^6 \frac{m^2}{s}$$

$$L_2 = 4 \text{ mm}$$

Datos de la lana de vidrio, conductividad térmica:

$$K = 0,046 \frac{w}{mK} \text{ (Pudahuel, 2014) Por lo tanto:}$$

Se colocan los datos obtenidos en el balance de resistencias térmicas para así poder despejar el espesor de la lana de vidrio:

$$\left[ \frac{1}{15,279 \frac{w}{m^2K}} + \frac{L_2}{15,1 \frac{w}{mK}} + \frac{L_1}{0,046 \frac{w}{mK}} + \frac{L_2}{15,1 \frac{w}{mK}} + \frac{1}{8 \frac{w}{m^2K}} \right] \gg$$
$$0,0654 \frac{w}{m^2K} + \frac{0,004 \text{ m}}{15,1 \frac{w}{mK}} + \frac{L_1}{0,046 \frac{w}{mK}} + \frac{0,004 \text{ m}}{15,1 \frac{w}{mK}} + 0,125 \frac{w}{m^2K}$$



$$0,0654 \text{ w/m}^2\text{K} + 2,069 \times 10^{-4} \text{ w/m}^2\text{K} + \frac{L_1}{0,046 \text{ w/mK}} + 2,069 \times 10^{-4} \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$+ 0,125 \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$0,1908 \text{ w/m}^2\text{K} + \frac{L_1}{0,046 \text{ w/mK}}$$

$$Q = \frac{(180 - 23)A}{0,1908 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{w}} + \frac{L_1}{0,046 \frac{\text{w}}{\text{mK}}}}$$

$L_1 = 63.34 \text{ mm}$  - espesor de lana de vidrio

Esto equivale a 2 pulgadas y media lo cual si se observa las tablas de aislamientos de lanas de vidrios si existen espesores de este tipo en el mercado.

Entonces el espesor total de pared quedaría de la siguiente forma:

$$L_{\text{espesor}} = L_2 + L_1 + L_2$$

$$L_{\text{espesor}} = 4 + 63.5 + 4$$

$$L_{\text{espesor}} = 69.5 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$$

Se aproxima a 75 mm el espesor del panel kutérmico o pared tipo sanduche, ver apéndice-H.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

En este capítulo se desarrolla el análisis de costos requerido para la construcción del horno, la comparación de costos con el horno de resistencia y los resultados que se obtuvo en el diseño del horno.

### 3.1 Análisis de costos

El análisis de costos es una determinación importante para concluir un proyecto, con el fin de conocer la inversión necesaria.

En esta parte del capítulo se determinará el análisis de costos de la construcción del diseño del horno con sus accesorios que se llevará a cabo de este proyecto, descrito en los análisis y cálculos hechos, se hará conocer los costos de los materiales, accesorios, mano de obra y ganancia por la construcción del horno. Todos los costos fueron cotizados por fuente propia y son de origen nacional, para la elaboración de este proyecto.

El análisis estará clasificado por ítem los cuales son:

1. ITEM A: Por concepto de estructura del horno
2. ITEM B: Por concepto de materiales de la campana de extracción
3. ITEM C: Por concepto de quemadores y sistemas a gas del horno
4. ITEM D: Por concepto de soportes y accesorios
5. ITEM E: Por concepto de aislación térmica del horno
6. ITEM F: Total costos directos
7. ITEM G: Total costos indirectos
8. ITEM H: Valor total

Las cantidades de elementos que se muestran en la tabla, son el resultado del desarrollo del diseño para la construcción de sus componentes y adaptación de sistemas para la optimización del mismo.

Las dimensiones y especificaciones de los materiales se encuentran detalladas en la parte de apéndices, los costos son de diferentes proveedores de que existen en el mercado ecuatoriano ya que uno de los objetivos es crear un producto de origen ecuatoriano, ver tabla 3-1 esta detallado los costos de la parte estructural del horno.

**Tabla 3-1. Costos por concepto de estructura del horno**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DETALLES	COST.	COST.
				UNIT	TOTAL
				(US)	(US)
<b>POR CONCEPTO DE ESTRUCTURAS DEL HORNO</b>					
<b>A</b>	Viga HEB	11	6000x100mm	183.6	2019.6
	Plancha antideslizante	5	6000x2mm	49.07	245.35
	Viga UPN	13	6000x100mm	123.1	1600.3
	Angulo laminado	12	30x30x3mm	9.50	114
	Canal u laminado	12	80x40x4mm	13.52	162.24
	Platina ae-25	1	75x6x6000mm	5.32	5.32
	Remaches	200	3.5x8mm	0.05	10
	Instalación/mano de obra	4	-	-	500
<b>SUBTOTAL A</b>					<b>4206.81</b>

Fuente: Elaboración propia

Para la campana de extracción, hay que considerar la mano de obra para la construcción de los componentes y la compra de otras partes. El motor y el ventilador serán cotizados en empresas ecuatorianas, con el objetivo de abaratar costos y que el sistema sea 100% ecuatoriano, ver tabla 3-2.

**Tabla 3-2. Costos por concepto de materiales de la campana de extracción**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DETALLE	COST.	COST.
				UNIT.	TOTAL
				(US)	(US)
	<b>POR CONCEPTO DE MATERIALES DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN</b>				
B	Plancha de acero estructural A36	2	6000x2mm	49.07	98.14
	Ventilador centrífugo con palas curvas	2	-	800	1600
	Motor monofásico siemens	2	3 HP	400	800
	Canal redondo	2	89x222mm	25.00	50
	Instalación/mano de obra	2	-	-	200
	<b>SUBTOTAL B</b>				

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente parte se encuentra los componentes del sistema a gas y de los quemadores del horno. Este será manufacturado para disminuir el precio final del horno, se considera mano de obra de instalación, la instalación del sistema a gas lo realiza una empresa externa especializada en el tema, el diseño del horno llega hasta los quemadores, ver tabla 3-3.

**Tabla 3-3. Costos por concepto de quemadores y sistema a gas del horno**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	DETALLE	COST.	COST.	
				UNIT.	TOTAL	
				(US)	(US)	
<b>POR CONCEPTO DE QUEMADORES Y SISTEMA A GAS DEL HORNO</b>						
C	Tubería para vapor	3	CED. 40-D2"	32.43	97.29	
	Cilindro industrial de GLP	2	200 KG	162.00	324	
	Válvulas	2	De paso	9.67	19.34	
	Cañería	1	½"	63.12	63.12	
	Codos y uniones	14	160mmx90 0	0.60	8.40	
	Instalación/mano de obra	2	-	-	120	
	<b>SUBTOTAL C</b>					<b>632.15</b>

Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de los accesorios del sistema son para optimizar el uso del horno. Aquí se observa que se incluyen termostatos para un control homogéneo de la temperatura dentro de la cámara, los cuales serán instalados por un especialista en el tema, no está incluido el diseño su distribución, ver tabla 3-4.

**Tabla 3-4. Costos por concepto de soportes y accesorios**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DETALLE	COST	COST.
				.UNIT.	TOTAL
				(US)	(US)
<b>POR CONCEPTO DE SOPORTES Y ACCESORIOS</b>					
D	Varilla lisa para construcción	20	6000xD12 mm	0.67	13.4
	Termostato Wilhi wh7016d	10	0 – 300 C	150	1500
	Instalación/mano de obra	1	-	-	120
	<b>SUBTOTAL D</b>				

Fuente: Elaboración propia

Para el aislamiento del horno se requiere usar lana de vidrio y Kubiwall eco pre pintado proveedor KUBIEC es el más óptimo para el sistema, según los análisis y además de bajo costo por cotizaciones de elaboración propia, ver tabla 3-5.

**Tabla 3-5. Costos por concepto de aislación térmica del horno.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	DETALLE	COST.	COST.
				UNIT.	TOTAL
				(US)	(US)
<b>POR CONCEPTO DE AISLACIÓN TERMICA DEL HORNO</b>					
E	Lana mineral de roca	30	305X1220X101.60 mm	30.00	900
	Kubiwall eco pre pintado	30	0.40X1095X1030m m	35.00	1050
	Flashing pre pintado	30	0.40X1095X1030m m	20.00	600
	Instalación/mano de obra	2	-	-	100
	<b>SUBTOTAL E</b>				

Fuente: Elaboración propia

Al final, se tiene que considerar o incluir los gastos que se requieren para la construcción del mismo. Estos son conocidos como gastos indirectos, lo que incluye transporte del material, equipos de instalación, energía eléctrica, entre otros, que son muy importantes considerar ya que en el proceso aumenta mucho el valor del sistema, ver tabla 3-6.

**Tabla 3-6. Valor total de la propuesta para la construcción**

F	TOTAL COSTOS DIRECTOS	A+B+C+D+E	13280.5
G	TOTAL COSTOS INDIRECTOS	12%F	1593.66
H	VALOR TOTAL	G+F	14874.16
I		12% IVA	1784.8992
	<b>VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA</b>		<b>16659.059</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Comparación horno por resistencia vs convección

Se consigue cotizar el valor de un horno de resistencias de las siguientes medidas:

- 1200 mm de ancho
- 1800 mm de altura
- 1600 mm de longitud

El cual resulta tener un valor de \$65000

Con una potencia de 9 Kw nominal, si trabaja 45 min (0,75 hr) entonces:

$$(9 \text{ Kw}) * (0,75 \text{ hr}) = 6,75 \text{ Kwh Consumidos}$$

Consumo: **6750 Wh**

Si un quemador tiene alrededor de 127 KWh de electricidad. Y por quemado solo se consume  $\frac{1}{4}$  del combustible de la bombona de Gas como se calculó en la parte de análisis energético, por lo tanto se obtiene 31,75 KWh.

Para el diseño de este horno de dimensiones:

- 12000 mm de ancho
- 3000 mm de altura
- 3000 mm de longitud

Se tiene un volumen 10 veces más grande que el horno de electricidad de resistencia para quemar, y solo se lleva 67,5 KWh por quemada entonces se puede observar que el de electricidad se lleva el doble de consumo y el horno en comparación de costos y capacidad resulta mucho más económico es el horno de convección por GLP, comparando con el costo de fabricación del horno diseñado y con el de \$125000 antes mencionado se puede tener en cuenta que la relación de precios es de 1:8 , ver tabla 3-7.

**Tabla 3-7. Resultados**

Potencia de energía nominal	6,75 KWh
Consumo de combustible GLP	17,09 Gal/hr
Temperatura de Operación	23 – 200 °C
Tiempo de secado	45 min
El costo de construcción a una relación de los otros hornos	1:8
Consumo energético a la relación de un horno eléctrico o de radiación es de	1:2

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar según el diseño del horno, los costos resultaron ser muy económicos en comparación con uno de resistencia que puede llegar a tener 8 veces el valor del mismo además la fabricación, es más sencilla ya que no contiene muchos sensores y sistemas de control como sus diseños aledaños.



# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema diseñado, como se pudo observar tiene como objetivo no sólo reducir costos de producción sino también costos de fabricación del mismo, ya que el mismo en comparación con otros hornos es mucho más práctico y enfocado a una sola necesidad. El beneficio principal se basa en el costo del sistema, ya que se ha logrado reducir a casi una relación de 1:8 con el precio de otros hornos.

Todos los puntos de diseño fueron considerados con responsabilidad ya que hay que generar productos de calidad para ayudar en la mejora continua de la producción en el país.

### 4.1 Conclusiones

- El proceso de curado requiere que la temperatura sea uniforme en el interior del horno, debe estar en el rango establecido por lo cual se implementa un sistema de ventilación, que se encarga de extraer el aire caliente del interior del horno e ingresar nuevamente al horno, generando un flujo homogéneo de aire que ayuda estabilizar la temperatura y elimine los puntos fríos al interior mediante el movimiento del aire, con los cálculos hallados se puede concluir que la velocidad de sustentabilidad con la que va a trabajar el sistema es la óptima para cumplir con las necesidades del horno.
- Al final de todo el análisis se ha llegado a notar el valioso trabajo que realizan este tipo de sistemas y la utilidad de los mismo en el mercado y según a las consideraciones hechas en el diseño, este horno tendrá un correcto funcionamiento en lo que respecta al curado de piezas con pintura electrostática, siempre y cuando el operador realice un uso correcto de las mismas.

- La parte del diseño de la campana de extracción es adaptada con el fin de absorber todos los gases y polución dentro de la cámara, para evitar que al quemar la pintura se adhieran materiales particulados a las piezas. También incluye un ventilador de la misma dimensión que el de la campana que sirve para crear un flujo homogéneo de calor dentro de la cámara, esto quiere decir que se va a encargar de soplar o hacer recircular hacia toda la cámara el aire con densidad más baja o aire caliente para que el calor sea distribuido por todas las piezas, ya que cuando el aire aumenta de temperatura cambia de densidad y se va para arriba y toda concentración de temperatura estará en la parte superior.
- Para la parte de aislamiento se usa un aislamiento que es nuevo en el mercado y se conoce como kubiwall eco pre pintado de 0.40 espesor superior/inferior y de 2 1/2" de lana de vidrio, la lana de vidrio viene adherida al kubiwall o sistema tipo sanduche también conocido, se usa lana de vidrio ya que es la más económica y cumple con nuestros requisitos ya que funciona tanto para aislamiento frigorífico y también soporta temperatura de hasta 200 °C que es lo que se necesita, en el suelo no se considera aislamiento ya que se considera el suelo adiabático, la estructura del horno es una caja tipo U.
- Este diseño se elaboró como se pudo observar para nacionalizar y comercializar el producto, considerando muchas cosas, tales como; las piezas de refacción o accesorios del horno, se necesitan que sean de fácil de conseguir en el mercado ecuatoriano, ya que si llegara a pasar que alguno de los componentes se dañe tendría una ruta crítica de producción la planta, solo por no tener disponibilidad de las piezas para reparar el horno, un ejemplo sería si los agujeros de los quemadores se encuentren dañados o con un diámetro mayor entonces la llama no sería la indicada habría que cambiar los quemadores. Otro problema podría

ser el del soplador o extractor, que se dañe el ventilador entonces no habría un correcto flujo de circulación de aire dentro de la cámara, y la distribución de calor no sería homogénea, por lo tanto, se presentarían problemas en la pintura, el aislamiento sería correcto tener tapado todos los orificios evitar fugas, entonces si existe una fuga corregir el daño de inmediato ya que causa pérdidas de temperatura dentro de la cámara. Todos estos problemas son sencillos de corregir y las piezas existentes en el mercado en comparación que si se daña un serpentín, o cambio de ladrillos refractarios, también bobinas entre otros componentes que contienen los hornos de resistencia o radiación, hay que darles mantenimiento y resultan mucho más tediosos y caros hacerlo, ese es el objetivo por el cual se desea hacer un producto con componentes nacionales para el diseño.

- Otro punto a favor del horno es que el consumo energético es mucho más eficiente ya que usa GLP, lo cual en una parte anterior pudimos indicar que el consumo es menor y menos costoso, ya que el gas licuado solo usa  $\frac{1}{4}$  de la energía contenida en una bombona para realizar una quemada o un proceso de curado, a diferencia de un horno eléctrico o de radiación que por quemada usan el doble de energía; y si no hay una correcta instalación pueden llegar a usar hasta el triple de la misma.
- El sistema de sujeción del horno fue diseñado para 3 paradas por día, quiere decir que la producción no es continua, esto nos ayuda a cerrar el ciclo de la elaboración de la pieza cuando llega al horno, entonces el sistema de sujeción es sencillo. Con el tiempo sería una muy buena idea realizar un sistema o adaptar un sistema de movimiento continuo con cadenas, para colocar las piezas y que sea mucha más sencilla su ubicación. Claro que esto alteraría mucho más el costo de horno.

## 4.2 Recomendaciones

Las recomendaciones siguientes son para quien tenga la intención de seguir de manera correcta cada una de las consideraciones de diseño del sistema que se encuentran en este proyecto de grado.

- Los motores de los ventiladores tiene que estar funcionando en sincronía para que no alteren el flujo de aire dentro de la cámara, y no cambien la distribución de calor, esto quiere decir que ambos deben ser de la misma capacidad.
- La garganta de los quemadores tiene que estar en correcta regulación para que el flujo de aire sea el más indicado para generar una llama de perfecta combustión (llama azul).
- Tener en cuenta las fugas de gas en las tuberías, también en los quemadores, ya que se trabaja con material reactivo y puede ocasionar un accidente.
- Cada 3 meses verificar los termostatos (recomendación del fabricante) para tener un correcto control de temperatura, esto quiere decir que hay que revisar la calibración de los sensores cada 3 meses.
- No exceder la carga en peso sobre la estructura, ya que puede ocurrir pandeo en las vigas de sujeción.
- Prohibido fumar alrededor del horno, independiente de si está en funcionamiento o no.
- El operador, al encender el horno, debe verificar que los quemadores estén en una correcta posición.

- Una vez encendido el sistema, tomar el tiempo de 45 min para el correcto curado de la pintura.
- Cada mes hacer limpieza de la cámara, de los ductos de la campana y el soplador, ya que con el calor el material particulado de la pintura se puede adherir y puede provocar corrosión y dañar los componentes.
- Después de los 45 min de curado, se debe esperar que la pieza se enfríe dentro de la cámara ya que un cambio de temperatura brusco podría debilitar la adherencia de la misma y no solo eso quemar al pintor al manipular el producto para bajarlo de los soportes.

# BIBLIOGRAFÍA

Barriga, A. (20 de Octubre de 2013). Diagrama de resistencias térmicas. (F. Yagual, Entrevistador).

Enciclopedia, W. I. (24 de Octubre de 2014). *Wikipedia*. Recuperado el 28 de Mayo de 2015, de [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org): [https://es.wikipedia.org/wiki/Gasto\\_m%C3%A1sico](https://es.wikipedia.org/wiki/Gasto_m%C3%A1sico).

España, S. d. (21 de Febrero de 2014). *Ministerio de industria, energía y turismo de España*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de [www.minetur.gob.es](http://www.minetur.gob.es): <http://www.minetur.gob.es/energia/glp/Paginas/Index.aspx>.

Infra-TEC. (3 de Mayo de 2014). *Infra-TEC*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de [www.infra-tec.com.mx](http://www.infra-tec.com.mx): [http://infra-tec.com.mx/hornos\\_industriales.html](http://infra-tec.com.mx/hornos_industriales.html).

Kenneth, W., & Cecil, F. (2006). *Contaminación del aire*. México: LIMUSA.

Manuel, H. (4 de Septiembre de 2014). Quemadores industriales. (F. Yagual, Entrevistador).

Naya, J. M. (20 de Febrero de 2015). *Julio Martínez Naya S.A.* Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de [www.juliomartineznaya.com](http://www.juliomartineznaya.com): <http://www.juliomartineznaya.com/hornos-industriales-resistencias-electricas-tipos-y-usos/>.

Nisbett, R. G. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.

UnitJugglerv.37. (15 de Enero de 2008). *UnitJuggler*. Recuperado el 29 de Mayo de 2015, de [www.unitjuggler.com](http://www.unitjuggler.com): <https://www.unitjuggler.com/volume-convertir-gallonus-a-l.html>.

Webztype. (22 de Marzo de 2014). *Refrigeración comercial 2 hermanos*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2014, de [www.refrigeracion2hermanos.mx](http://www.refrigeracion2hermanos.mx): <http://refrigeracion2hermanos.mx/horno-de-conveccion-venancio-10-charolas/>

Wikipedia. (16 de Noviembre de 2013). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Recuperado el 11 de Marzo de 2015, de [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org): [https://es.wikipedia.org/wiki/Columna\\_de\\_agua](https://es.wikipedia.org/wiki/Columna_de_agua).

Wikipedia. (05 de Febrero de 2015). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Recuperado el 11 de Marzo de 2015, de [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org): [https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n\\_din%C3%A1mica](https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_din%C3%A1mica).

Pudahuel. (12 de Enero de 2014). *Kaefer*. Recuperado el 7 de Mayo de 2015, de [www.cl.kaefer.com](http://www.cl.kaefer.com): <http://www.cl.kaefer.com/Binaries/Binary3203/lanavidrio.pdf>.

# APÉNDICES



## APÉNDICE-A

### Perfil laminado HEB 100

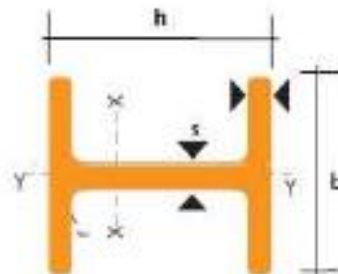
#### PERFILES LAMINADOS HEB

#### Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m y 12,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION PESOS		TIPOS			
	h	b	s	t	r	cm <sup>2</sup>	Kg/mt	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
HEB 100	100	100	8.00	10.00	12	28.00	20.40	450	187	89	33.50
HEB 120	120	120	6.50	11.00	12	34.00	26.70	864	318	144	52.80
HEB 140	140	140	7.00	12.00	12	43.00	33.70	1510	500	210	78.50
HEB 160	160	160	8.00	13.00	15	54.30	42.80	2490	889	311	111.00
HEB 180	180	180	8.50	14.00	15	65.30	51.20	3830	1380	428	151.00
HEB 200	200	200	9.00	16.00	18	78.10	61.30	5700	2000	570	200.00
HEB 220	220	220	9.50	16.00	18	91.00	71.00	8000	2840	730	258.00
HEB 240	240	240	10.00	17.00	21	106.00	83.20	11200	3920	938	327.00
HEB 260	260	260	10.00	17.50	24	118.00	93.00	14620	5130	1150	386.00
HEB 280	280	280	10.50	18.00	24	131.00	103.00	18270	6680	1380	471.00
HEB 300	300	300	11.00	19.00	27	146.00	117.00	25170	8600	1680	571.00
HEB 320	320	300	11.50	20.50	27	161.00	127.00	30820	9240	1930	616.00



Fuente: Catálogo de DIPAC

## APÉNDICE-B

### Platina de acero inoxidable

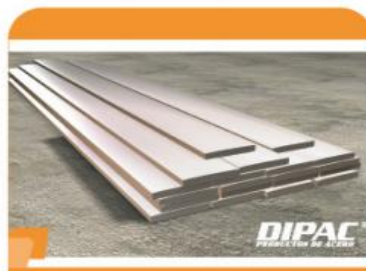


INOXIDABLE

#### PLATINAS EN ACERO INOXIDABLE

##### Especificaciones Generales

Norma: AISI 304  
 Largo normal: 6.00m  
 Otros largos: Previa Consulta



DIMENSIONES		PESO		AREA
mm		kg/m	kg/6m	cm2
a	e			
12	3	0.28	1.70	0.36
12	4	0.38	2.45	0.48
12	6	0.57	3.40	0.72
19	3	0.45	2.68	0.57
19	4	0.60	3.58	0.76
19	6	0.89	5.37	1.15
25	3	0.59	3.53	0.75
25	4	0.79	4.71	1.00
25	6	1.18	7.07	1.50
30	3	0.71	4.24	0.90
30	4	0.94	5.65	1.20
30	6	1.41	8.47	1.80
30	9	2.12	12.71	2.70
30	12	2.83	16.95	3.60
38	3	0.89	5.37	1.15
38	4	1.19	7.16	1.52
38	6	1.79	11.40	2.28
38	9	2.69	16.11	3.42
38	12	3.58	21.48	4.56
50	3	1.18	7.08	1.50
50	4	1.58	9.42	2.00
50	6	2.26	14.16	3.00
50	9	3.53	21.20	4.50
50	12	4.71	28.26	6.00
65	6	3.06	18.37	3.90
65	9	4.59	27.55	5.85
65	12	6.12	36.73	7.80
75	6	3.53	21.20	4.50
75	9	5.30	31.80	6.75
75	8	7.07	28.26	9.00
75	12	7.07	42.39	9.00
100	6	4.71	28.26	6.00
100	8	7.07	37.68	9.00
100	9	7.07	43.00	9.00
100	12	9.42	58.00	12.00
120	12	67.82	67.82	14.40
150	15	105.88	105.88	22.50
150	20	145.44	145.00	30.00



Fuente: Catálogo de DIPAC

## APÉNDICE-C

### Perfil laminado UPN 100



#### PERFILES LAMINADOS UPN

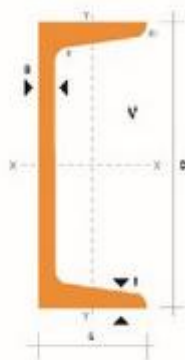
##### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6.00m y 12.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



UPN

DENOMINACION	DIMENSIONES						SECCION	PESOS	TIPOS			
	h	s	g	t	R	R1			Ix	Iy	Wx	Wy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm4	cm2	kg/ml	cm4	cm4	cm3	cm3
UPN 50	50	38	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.58	26.40	9.12	10.60	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.00	9.03	7.08	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.84	106.00	19.40	28.50	6.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.48
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	88.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.60	805.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.50
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.00	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	465.00	535.00	67.80



Fuente: Catálogo de DIPAC



## APÉNDICE-D

### Perfiles estructurales, correas G



#### PERFILES ESTRUCTURALES CORREAS "G"

##### Especificaciones Generales

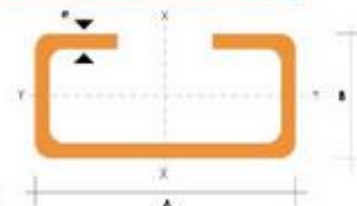
<b>Otros calidades</b>	Previa consulta
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Espesores</b>	Desde 1.50mm hasta 12.00mm
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa consulta



CORREAS "G"

DIMENSIONES				PESOS		SECCION	EJE X-X			PROPIEDADES		
A	B	C	e	6metros	1metro		I	W	I	I	W	I
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
60	30	10	1.5	9.19	1.53	1.95	11.02	3.87	2.38	2.43	1.25	1.12
60	30	10	2.0	11.94	1.99	2.54	13.98	4.66	2.35	3.01	2.85	1.09
60	30	10	3.0	16.98	2.83	3.61	18.90	5.30	2.29	3.87	3.69	1.04
80	40	15	1.5	13.16	2.20	2.80	27.43	6.06	3.13	6.39	2.53	1.51
80	40	15	2.0	16.68	2.78	3.54	35.30	6.81	3.16	8.07	3.18	1.51
80	40	15	3.0	24.06	4.01	5.11	49.00	12.30	3.10	10.80	4.27	1.46
100	50	15	2.0	20.40	3.40	4.34	69.20	13.80	4.00	15.00	4.57	1.86
100	50	15	3.0	29.70	4.95	6.31	97.80	19.60	3.94	20.50	6.25	1.80
100	50	20	4.0	40.26	6.71	8.55	126.70	25.34	3.85	28.50	9.05	1.83
100	50	25	5.0	51.12	8.52	10.86	152.51	30.50	3.75	36.52	12.09	1.83
125	50	15	2.0	22.80	3.80	4.84	116.00	16.60	4.91	16.20	4.69	1.83
125	50	15	3.0	33.24	5.54	7.06	165.00	25.50	4.84	22.20	6.43	1.77
125	50	20	4.0	44.99	7.40	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80
125	50	25	5.0	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82
125	50	30	6.0	70.78	11.78	14.73	307.13	48.14	4.56	48.69	15.81	1.81
150	50	15	2.0	25.14	4.14	5.34	179.00	23.00	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3.0	36.78	5.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.58	1.73
150	60	20	4.0	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.66	32.90	9.52	1.77
150	75	25	5.0	74.70	12.45	15.86	545.36	72.71	5.86	117.22	24.17	2.72
150	75	30	6.0	93.42	15.57	19.23	641.40	85.52	5.77	114.47	30.57	2.74
175	50	15	2.0	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75
175	50	15	3.0	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70
175	75	25	4.0	65.40	10.9	13.90	663.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75
175	75	25	5.0	80.58	13.43	17.11	785.95	88.82	6.78	123.88	24.63	2.69
175	75	30	6.0	100.74	16.79	20.73	929.39	108.22	6.70	152.84	31.19	2.72
200	50	15	2.0	29.94	4.99	6.36	356.00	35.60	7.56	18.60	4.85	1.72
200	50	15	3.0	43.86	7.31	9.31	507.00	50.70	7.45	25.10	6.57	1.66
200	75	25	4.0	70.20	11.70	14.90	895.00	85.50	7.64	110.00	21.30	2.71
200	75	25	5.0	86.52	14.42	18.37	1080.00	108.00	7.67	129.62	25.02	2.68
200	75	30	6.0	108.00	18.00	22.23	1262.17	126.21	7.59	160.15	31.73	2.68
250	75	25	4.0	79.80	13.30	16.90	1520.00	122.00	9.48	118.00	21.70	2.64
250	100	25	5.0	109.80	18.33	23.38	2219.24	177.54	9.75	205.26	39.24	3.49
250	100	30	6.0	135.48	22.58	28.23	2647.38	215.79	9.68	383.54	55.58	3.69
300	100	30	4.0	100.80	15.80	21.30	2860.00	191.00	11.60	274.00	38.30	3.58
300	100	35	5.0	126.60	21.10	25.90	3560.00	237.00	11.50	351.00	49.90	3.62
300	100	35	6.0	154.74	25.79	31.80	4170.00	276.00	11.40	404.00	57.40	3.56

También en galvanizado e inoxidable



Fuente: Catálogo de DIPAC

## APÉNDICE-E

### Perfiles importados, ángulos

catálogo perfiles LIPAL



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

ANGULOS

#### PERFILES IMPORTADOS ANGULOS

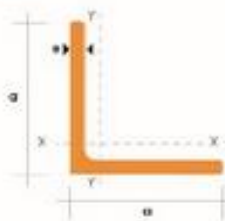
##### Especificaciones Generales

<b>Calidad:</b>	ASTM A36 SAE 1008
<b>Otras calidades:</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal:</b>	6.00m
<b>Otros largos:</b>	Previa Consulta
<b>Acabado:</b>	Natural
<b>Otro acabado:</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/5m	cm <sup>2</sup>
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.02	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.68	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	56.90	11.60
AL 100X6	100	6	9.14	56.90	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.98

También en galvanizado e inoxidable



Fuente: Catálogo de DIPAC

## APÉNDICE-F

### Perfiles estructurales "U"



DIPAC<sup>®</sup>

PRODUCTOS DE ACERO

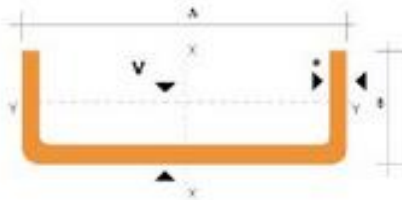
CANALES "U"

### PERFILES ESTRUCTURALES

### CANALES "U"

#### Especificaciones Generales

- Otras calidades: Previa consulta
- Largo nominal: 6.00m
- Otros largos: Previa consulta
- Espesores: Desde 1.50mm hasta 12.00mm
- Acabado: Natural
- Otro acabado: Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm <sup>2</sup>	I	W	i	I	W	i	x
						cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.05	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.05	2.83	1.94	1.13	0.63	0.76	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.52	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.88	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.82	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.09	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	33.28	5.38	6.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	48.88	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.78	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.62	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.80	18.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.00	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.85	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.46	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.58	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.34	19.10	2.54	2.01
125	80	8	99.30	15.85	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.04
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.52	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.30	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.68	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.50	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	588.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

También en galvanizado e inoxidable

Fuente: Catálogo de DIPAC



## APÉNDICE-G

### Especificaciones de paneles Kutérmicos EPS para aislamiento

# Kutérmico EPS para Pared

PRODUCTO  
NUEVO

El panel aislante ofrece un sistema de construcción de poco peso y alta resistencia dando un excelente aislamiento termoacústico y una construcción rápida y económica.

Es un material de construcción que combina la fortaleza del acero con la propiedad aislante del poliestireno en un solo conveniente producto.

#### VENTAJAS

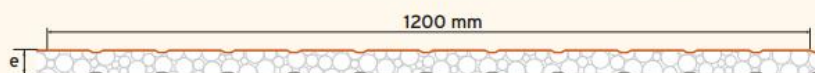
- Optimo aislamiento térmico y acústico
- No requiere de estructura soportante para paredes interiores donde la altura piso techo sea menor a 3m.
- Diferentes espesores adaptados a una necesidad específica.
- Se fabrica en longitudes a medida.
- Se adapta a cualquier tipo de estructura
- Contamos con complementos metálicos estándar y especiales, como canales, esquineros, molduras, etc. Para una completa instalación
- Instalación rápida y sencilla
- Costo muy competitivo en el mercado debido a su producción en línea continua.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LÁMINA SUPERIOR E INFERIOR

MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL A36
RECUBRIMIENTO	Galvalume por inmersión en caliente: aluminio 55% zinc 43% y 2% silicio, según norma ASTM A792. Espesor del galvalume: AZ100 (100gr/m <sup>2</sup> )
ESPESOR	Superior e inferior 0.40mm TCT (bajo pedido fabricamos en espesores superiores)
ACABADO	Primer epóxico 8u por las dos caras y acabado regular poliéster 20u por la cara principal, según norma ASTM A924

#### AISLAMIENTO

MATERIAL	Poliestireno expandido EPS
ESPESORES	35, 50, 75, 100, 150mm
DENSIDAD	16-20 kg/m <sup>3</sup>



Fuente: Catálogo de KUBIEC

## APÉNDICE-H

### Capacidad de carga de los paneles Kutérmicos

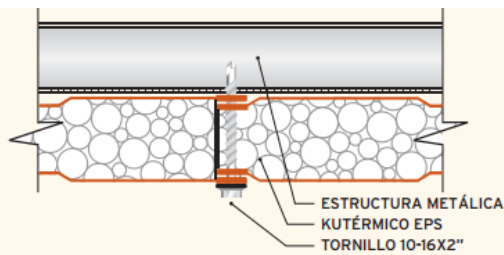
#### PANEL KUTÉRMICO EPS PARA PARED

CAPACIDADES DE CARGA VS. SEPARACIÓN DE APOYOS													
e Espesor Panel mm	R value Long term thermal resistance m <sup>2</sup> °k/Watts	P Peso Panel kg/m <sup>2</sup>	C (carga) kg/m <sup>2</sup>										
				60	80	100	120	150	60	80	100	120	150
35	3,55	7,26	L (m)=	2,25	2,20	1,61	1,14	0,61	1,97	1,90	1,38	1,00	0,55
50	5,07	7,53	L (m)=	2,53	3,49	2,82	2,23	1,56	3,14	3,04	2,47	2,00	1,35
75	7,60	7,98	L (m)=	4,91	4,90	4,18	3,44	2,67	4,40	4,31	3,59	3,04	2,28
100	10,13	8,43	L (m)=	6,40	6,36	5,52	4,75	3,87	5,71	5,58	4,78	4,22	3,28
150	15,20	9,33	L (m)=	8,36	8,01	7,08	6,28	5,37	7,42	6,95	6,28	5,64	4,48

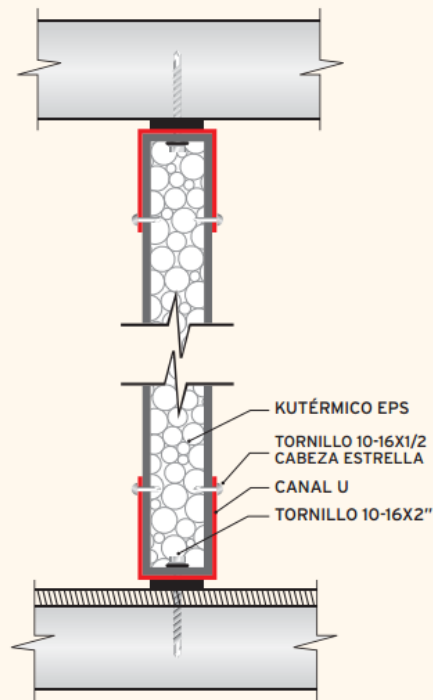
Para cargas de succión por viento, aplicar un factor de 1.33 a la carga estimada

#### DETALLES DE INSTALACIÓN

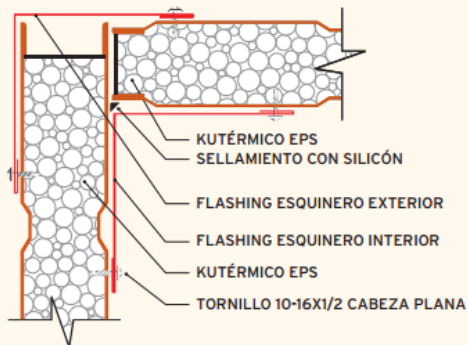
##### TRASLAPE ENTRE PANELES



##### FIJACIÓN PISO TECHO



##### TRASLAPE INTERIOR - EXTERIOR



Fuente: Catálogo de KUBIEC



## APÉNDICE I

### Selección de reguladores para quemadores

#### Cómo Seleccionar un Regulador RegO®

Para poder dimensionar adecuadamente el Regulador RegO®, averigüe la carga total de la instalación. La carga total se calcula sumando las clasificaciones de entrada (BTU o CFH) de todos los aparatos en la instalación. Las puede obtener de las placas de datos de los aparatos o en la literatura de los fabricantes.

Determine el tipo de regulación necesaria mediante la siguiente tabla.

Tipo de Sistema	Carga Máxima	Regulador Sugerido
Primera Etapa en un Sistema de Dos Etapas	1,500,000	LV3403TR
	2,500,000	Serie LV4403SR Serie LV4403TR
Segunda Etapa en un Sistema de Dos Etapas	450,000	Serie LV3403B
	935,000	Serie LV4403B
	1,600,000	LV5503B4/B5
	2,300,000	LV5503B8
Segunda Etapa en un Sistema de 2 PSIG	1,000,000	LV4403Y4/Y46R
	2,200,000	LV5503Y6/Y8
	450,000	Serie LV404B34/39
Integral de Doble Etapa	525,000	Serie LV404B4/B9
	800,000	LV404Y9
	200,000	Serie 7525B34
Cambio Automático	200,000	Serie 7525B34
	450,000	Serie 7525B4

\* Sírvase ver la página del catálogo para las especificaciones de entrada y servicio.

Ahora determine cuál regulador de la Serie será el más adecuado. Vaya a las páginas de cada producto y consulte las Curvas de Desempeño. Compare el desempeño del regulador con sus condiciones de carga a la presión mínima de entrada de Gas LP del regulador. Use la presión correspondiente a su temperatura más baja en el invierno, que aparece en la siguiente tabla o consulte la presión de servicio de su regulador de primera etapa.

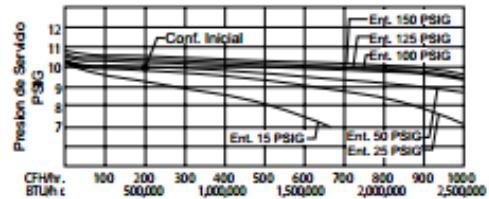
Temperatura		Presión Aproximada (PSIG)		Temperatura		Presión Aproximada (PSIG)	
*F	*C	Propano	Butano	*F	*C	Propano	Butano
-40	-40	3.5		40	4	72	3.0
-30	-34	8		50	10	86	6.9
-20	-29	13.5		60	16	102	12
-10	-23	23.3		70	21	127	17
0	-18	28		80	27	140	23
10	-12	37		90	32	165	29
20	-7	47		100	38	196	36
30	-1	58		110	43	220	45

#### Ejemplo para un Regulador de Primera Etapa

- Suponga una carga de 500,000 BTU's por hora.
- Suponga una presión de servicio mínima de 9.5 PSIG.
- Suponga una presión mínima en el tanque de 15 PSIG.
- Para estas condiciones, consulte la gráfica del Regulador de Primera Etapa de la Serie LV4403TR, que se muestra abajo.

- Encuentre la línea en la gráfica que corresponda a la presión de tanque inferior esperada en el invierno (nótese que cada línea de desempeño corresponde y está marcada con una presión de entrada en PSIG diferente).
- Trace una línea vertical hacia arriba desde el punto de la carga supuesta (500,000 BTU's por hora) hasta que intersecte con la línea correspondiente a la menor presión del tanque.
- Lea en forma horizontal desde la intersección de estas líneas a la presión de servicio en el lado izquierdo de la gráfica. En este ejemplo, la presión de servicio será de 9.7 PSIG en condiciones de carga máxima y menor presión de tanque esperada. El regulador se dimensionará conforme a la demanda.

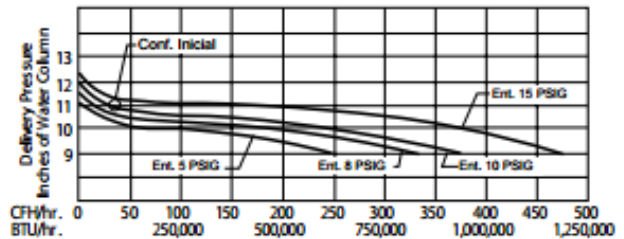
#### Regulador de Primera Etapa de la Serie LV4403TR



#### Ejemplo de un Regulador de Segunda Etapa

- Suponga una carga de 250,000 BTU's por hora.
- Suponga una presión de servicio mínima de 10" w.c.
- Suponga una presión mínima de entrada de 10 PSIG.
- Para estas condiciones, consulte la gráfica del Regulador de Segunda Etapa de la Serie LV4403B que se muestra abajo.
- Encuentre la línea en la gráfica que corresponda a la presión de entrada esperada.
- Trace una línea vertical hacia arriba desde el punto de la carga supuesta (250,000 BTU's por hora) hasta que intersecte con la línea correspondiente a la menor presión de entrada.
- Lea en forma horizontal desde la intersección de estas líneas a la presión de servicio en el lado izquierdo de la gráfica. En este ejemplo, la presión de servicio será de 10.6" w.c. Dado que la presión de servicio será de 10.6" w.c. a condiciones de máxima carga y menor presión de entrada esperada, el regulador se dimensionará conforme a la demanda.

#### Regulador de Segunda Etapa de la Serie LV4403B



Fuente: Catálogo de REGO

## APÉNDICE J

### Curvas características para la selección de ventiladores

Ejemplo de selección para ventiladores  
centrifugos tubulares BIL

BIL 315  
CURVA CARACTERÍSTICA

Modelo: BIL 315.  
Caudal:  $1,809 \text{ m}^3/\text{hr}$  (1,065 CFM).  
Presión Estática: 63.5 mm c.a. (2.5 in wg).

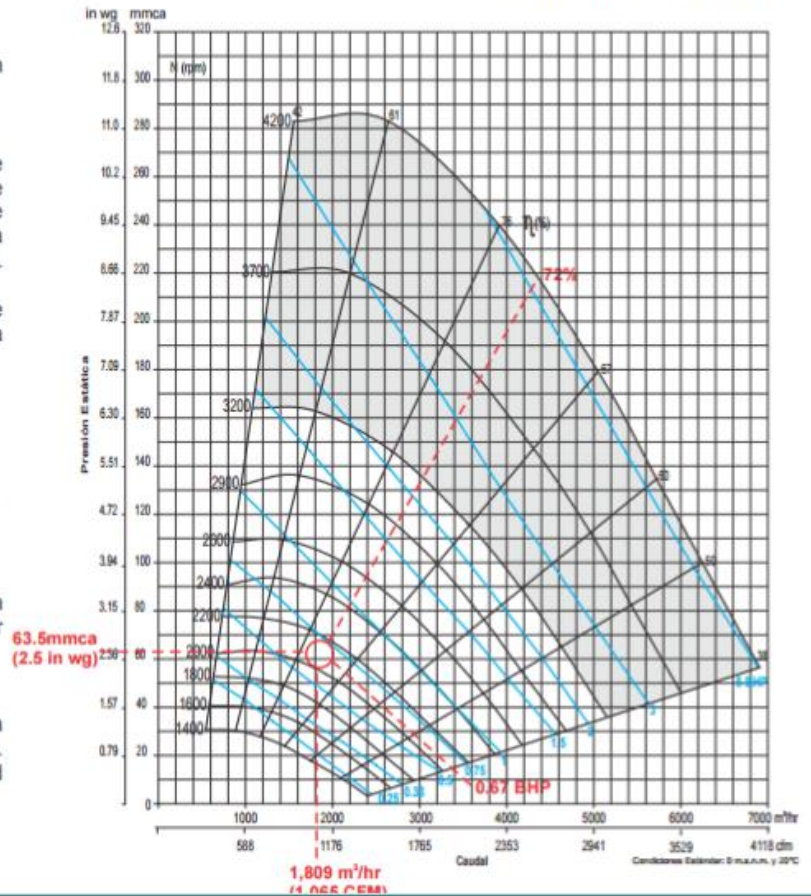
Nos situamos en el eje de abscisas (horizontal) con un caudal de  $1,809 \text{ m}^3/\text{hr}$  (1,065 CFM) y en el eje de ordenadas (vertical) con una presión estática de 63.5 mm c.a. (2.5 in wg).  
Con estas condiciones se encuentran en la curva característica a 2105 r.p.m.

Queda seleccionado:

Clase: I  
Potencia del motor: 0.67 BHP  
Velocidad del ventilador: 2105 r.p.m.  
Eficiencia total: 72%

Para seleccionar un ventilador clase II, debe considerar la zona sombreada en color gris.

Selección realizada a condiciones estándar: 0 m.s.n.m. (0 ft.s.n.m.),  $20^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ), Densidad del aire:  $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$  ( $0.075 \text{ lb}/\text{ft}^3$ ).



Fuente: Ventilation of American conference of Governmental Hygienst

# APÉNDICE K

## Selección de reguladores para quemadores

**CATALOGO PARA FABRICACION DE CAMPANAS EXTRACTORAS [5]**

Vertical

Longitudinal

Transversal

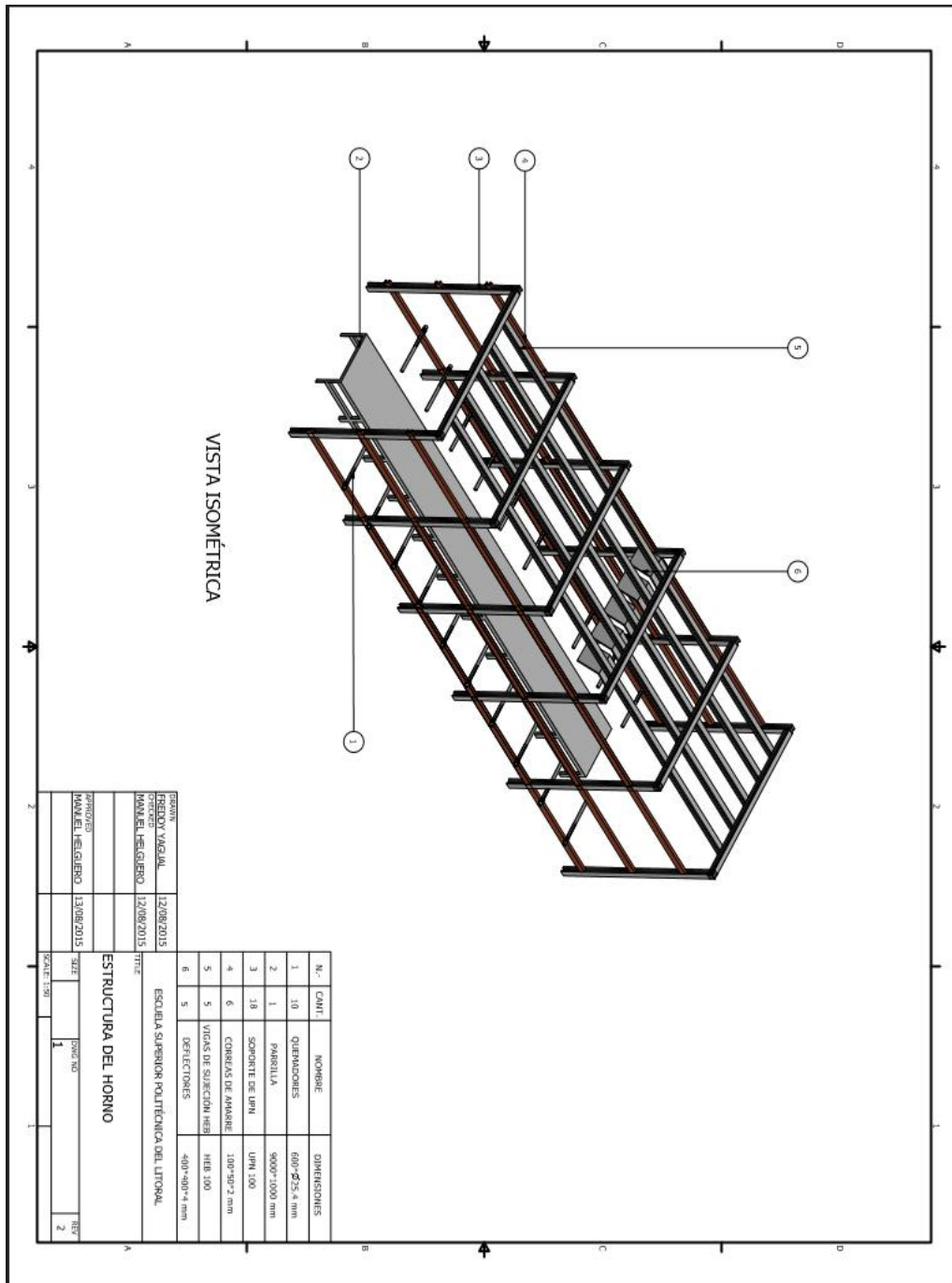
Air Quantity m <sup>3</sup> /min	V1 m/s	V2 m/s	L mm	B mm	H mm	EC mm	Ø G mm	L mm	B mm	E mm	Ø mm
300	4.2	18.0	280	190	125	10.9	82	260	190	157.0	122.0
500	6.3	17.5	370	270	235	10.5	143	370	270	207.0	177.0
750	12.5	17.0	450	310	340	12.5	176	450	310	278.0	218.0
1000	16.8	17.2	520	360	325	14.3	207	500	360	323.0	253.0
1250	20.3	17.7	590	420	365	15.0	233	560	420	365.0	287.0
1500	25.0	17.9	630	460	400	17.2	252	600	460	395.0	311.0
1750	28.3	17.9	680	500	450	18.6	276	660	500	430.0	340.0
2000	33.3	17.9	740	540	470	19.6	299	740	540	471.0	371.0
2500	41.8	18.0	820	600	500	22.2	334	820	600	522.0	412.0
3000	50.0	18.0	900	660	570	24.4	369	900	660	574.0	454.0
3500	58.3	17.8	960	700	610	26.2	391	950	700	608.0	478.0
4000	66.8	17.9	1040	750	650	28.0	420	1040	750	668.0	528.0
4500	75.0	17.9	1100	800	700	29.8	448	1100	800	701.0	557.0
5000	83.3	17.9	1150	850	740	31.4	475	1150	850	739.0	589.0
6000	100.0	17.9	1250	930	800	34.4	524	1250	930	810.0	645.0

\*Commercial Pipes and Benets  
Sheet Thickness for Suction Hoods and Ducts: 3-4mm  
Initial Velocity at Hoods according to Above Table: V<sub>1</sub> = 1.4m/s  
Air Velocity in Ducting Duct: V<sub>2</sub> = 15m/s

Fuente: Catálogo de Balay

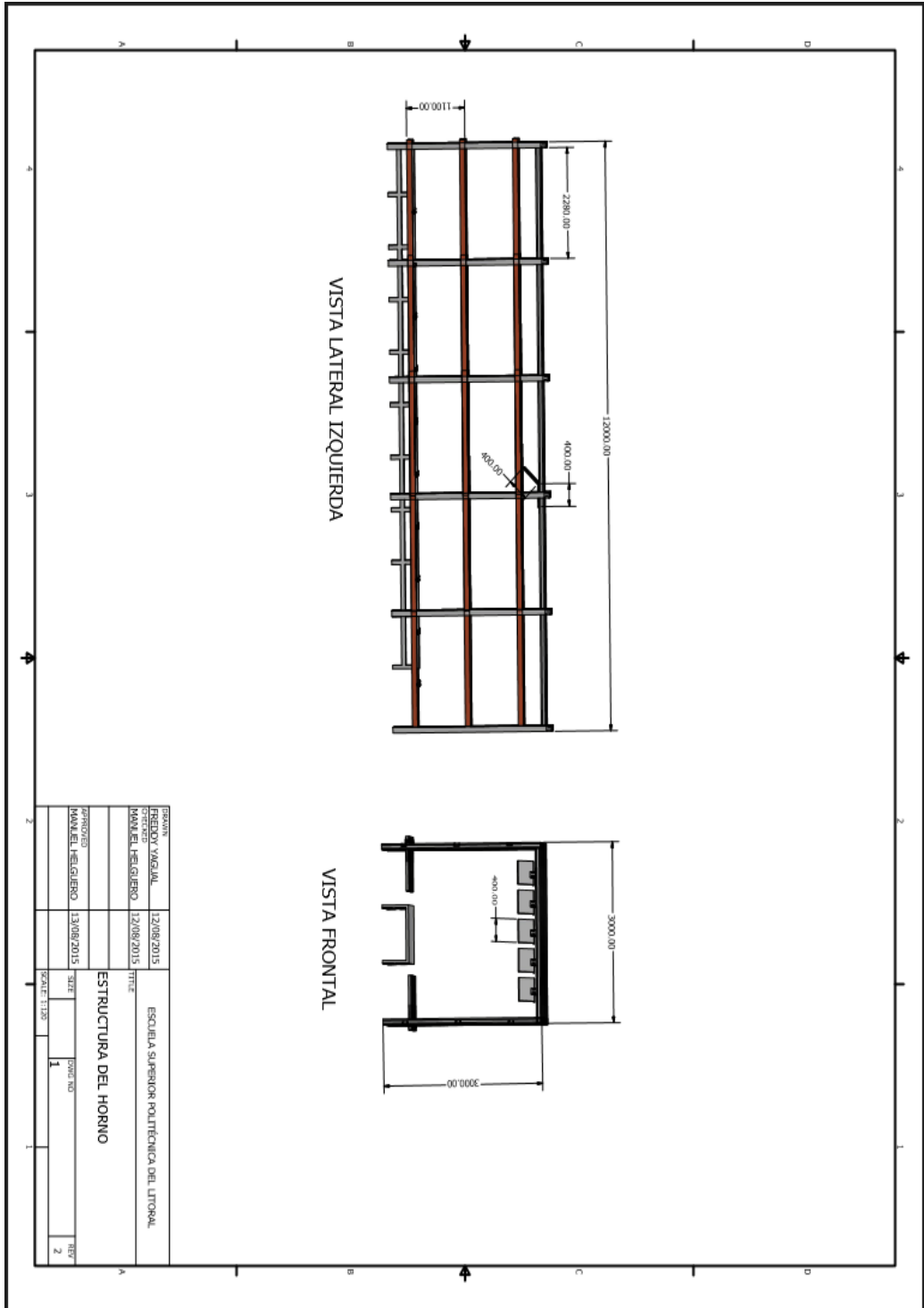
## APÉNDICE B

### PLANO 1. Estructura del horno en vista isométrica



Fuente: Elaboración propia

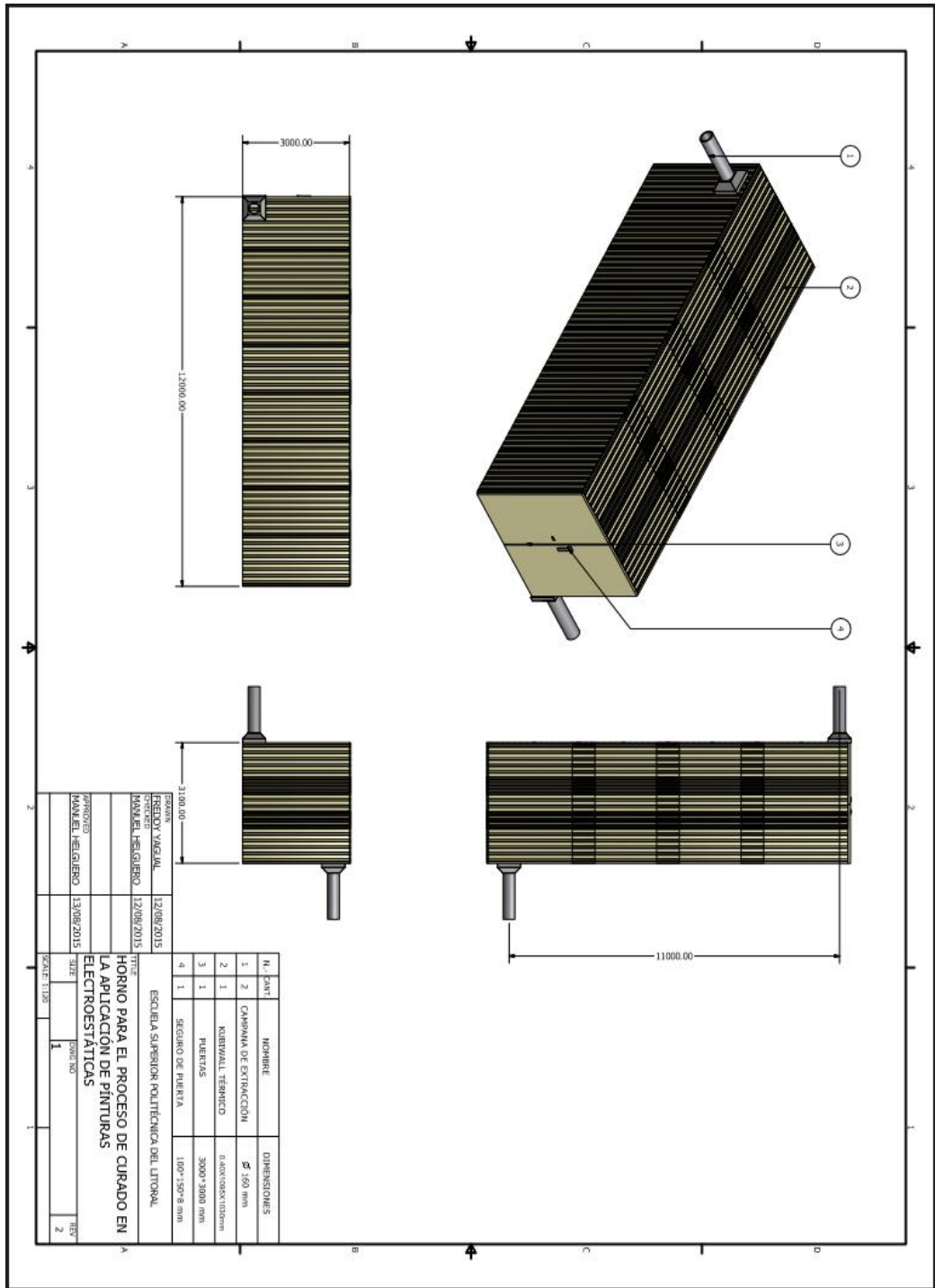
## PLANO 2. Estructura del horno en vista lateral y frontal



Fuente: Elaboración propia

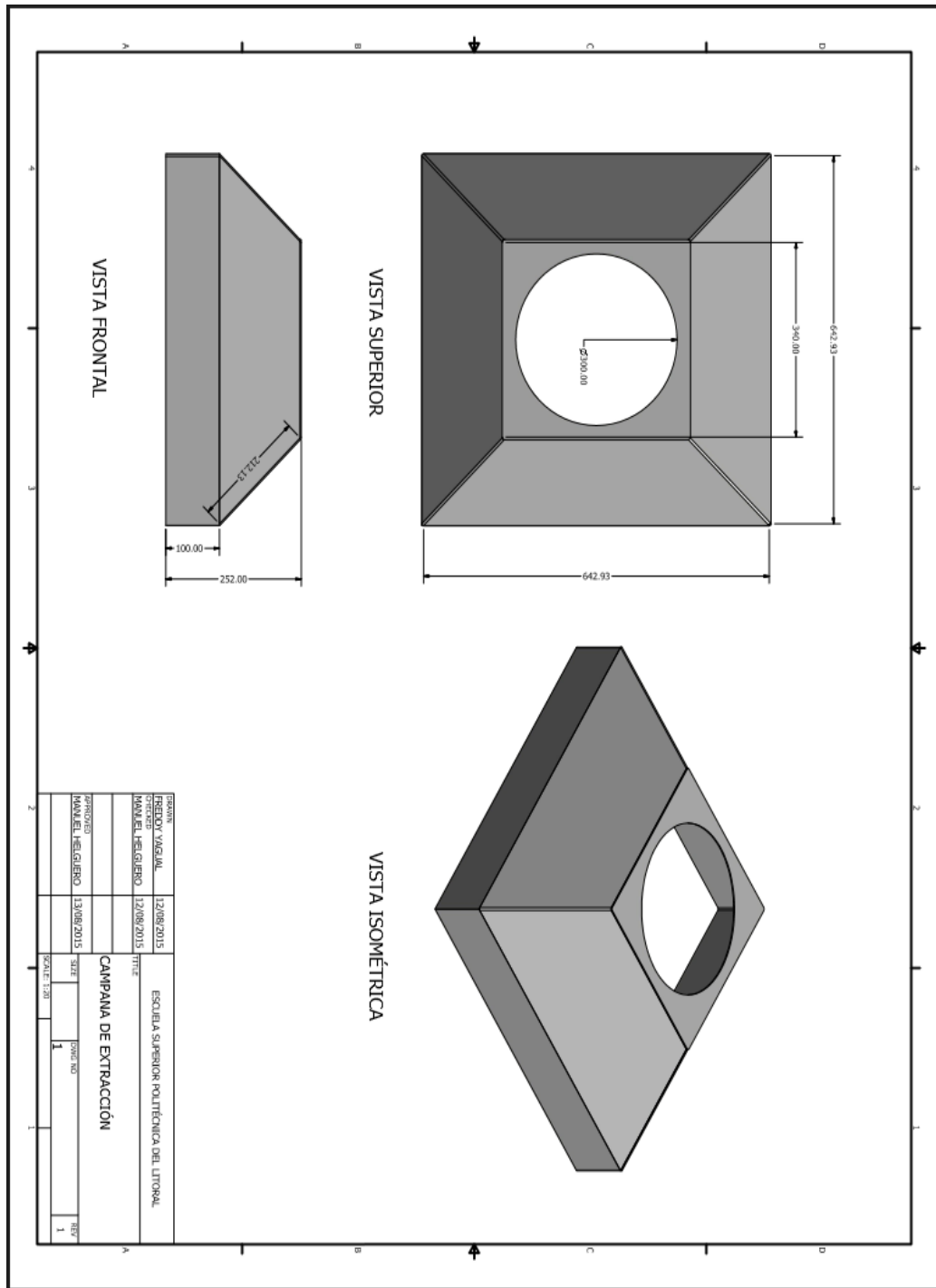


### PLANO 3. Plano general



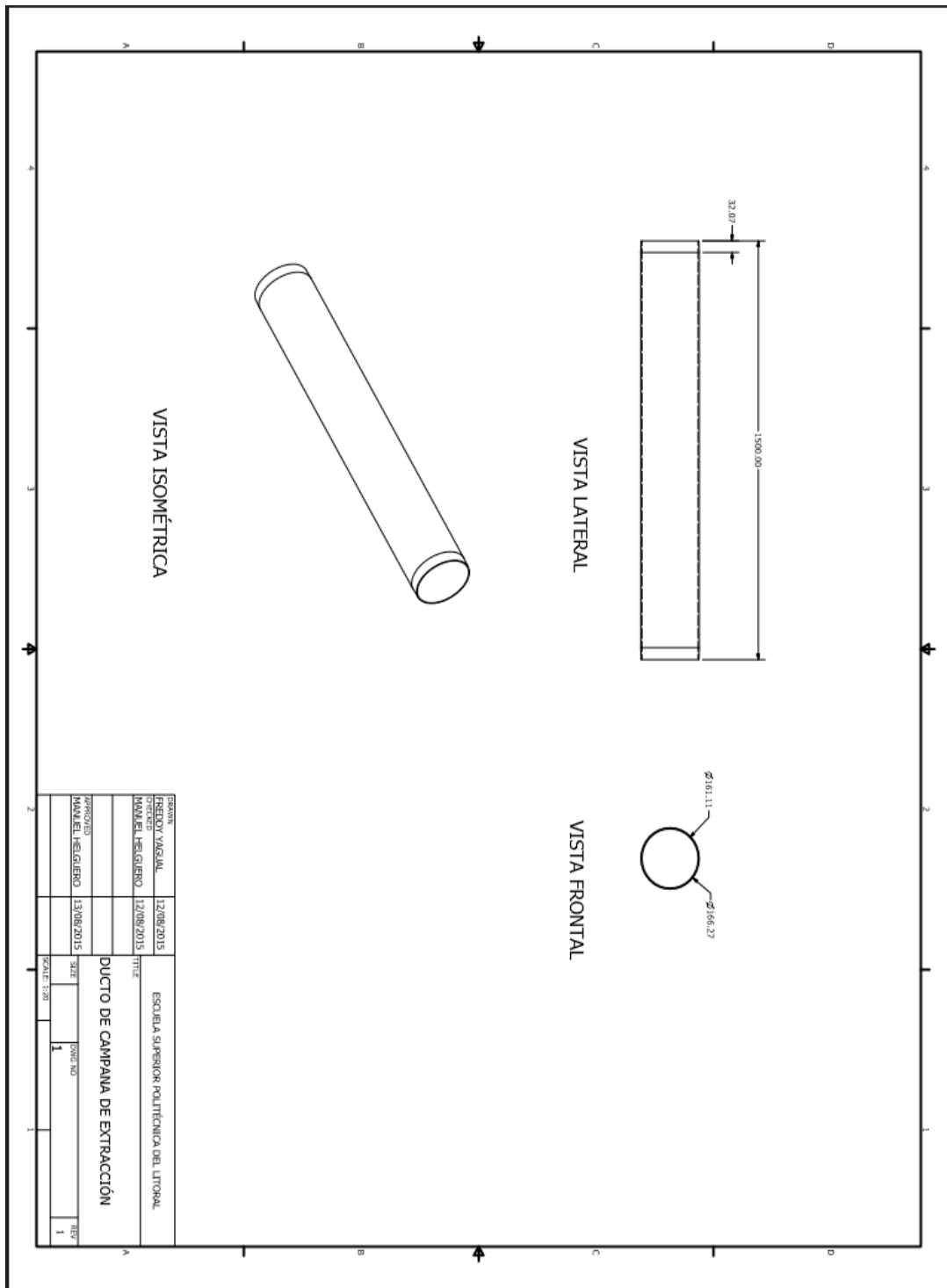
Fuente: Elaboración propia

## PLANO 4. Campana de extracción



Fuente: Elaboración propia

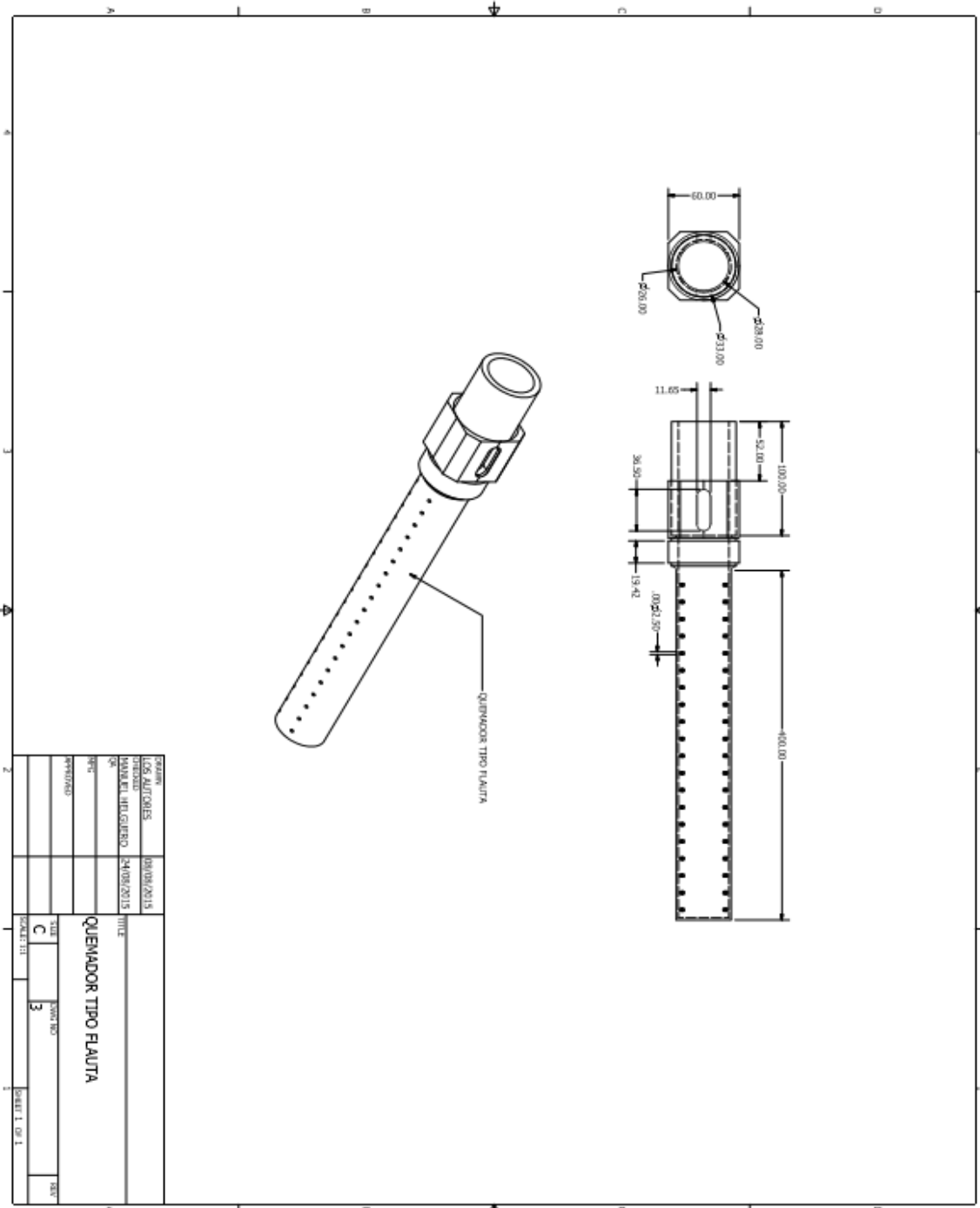
## PLANO 5. Ducto de campana de extracción.



Fuente: Elaboración propia

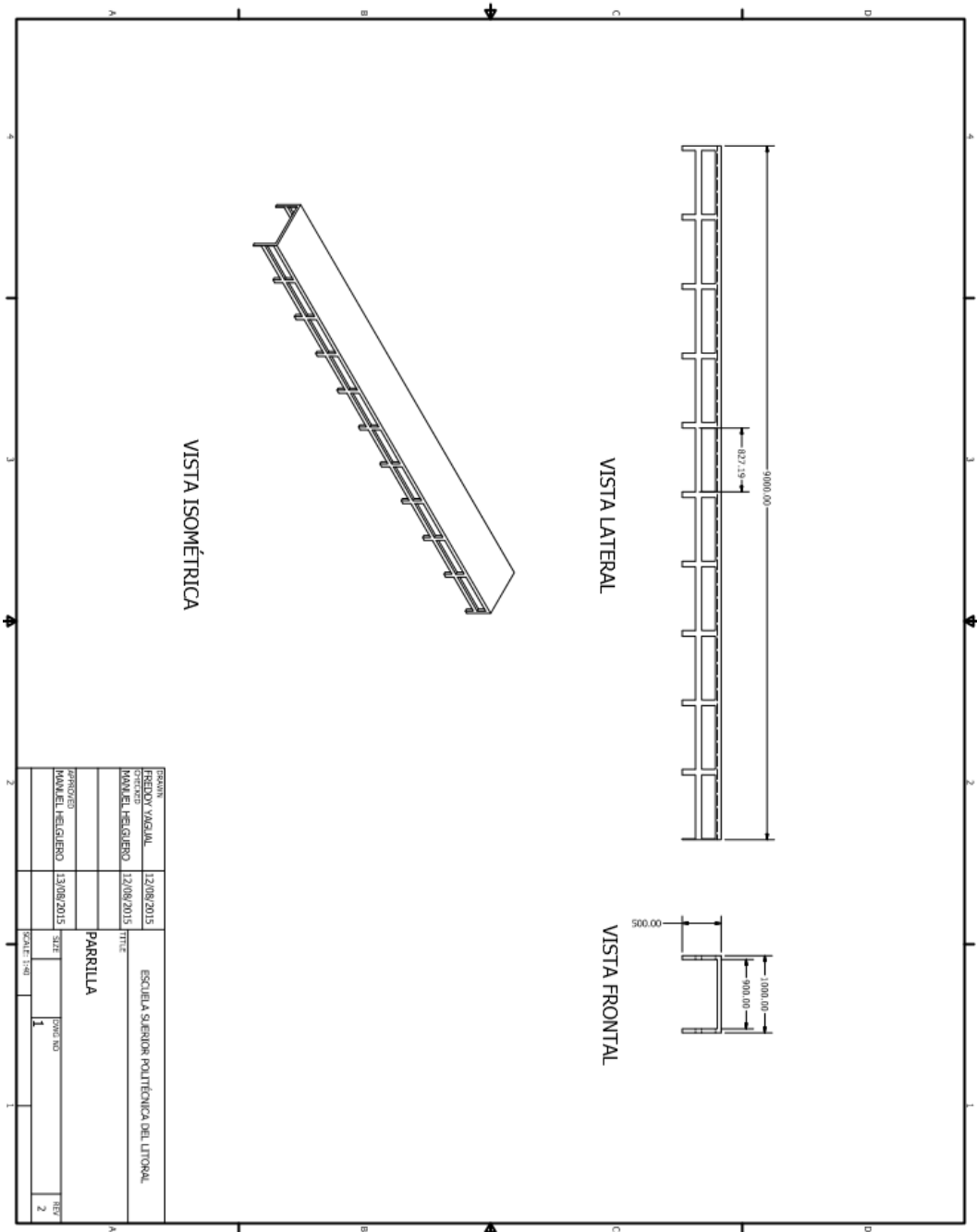


## PLANO 6. Quemador tipo flauta.



Fuente: Elaboracion propia

# PLANO 7. Parrilla



Fuente: Elaboración propia