

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual se ha desarrollado varios procesos industriales entre los más importantes tenemos las aleaciones metálicas como el cobre, hierro, aluminio entre otros. La planta de fundición de la empresa CEDAL S.A., se dedica a fundir chatarra de aluminio para obtener lingotes del mismo material, el mismo que pasa a distintos procesos; destacando entre ellos el proceso de homogenización que consiste en tratar térmicamente un cargamento de lingotes de aluminio que al ingresar al interior del horno de homogenizado este eleva su temperatura, permitiendo que las aleaciones o compuestos químicos se redistribuyan homogéneamente al interior de la microestructura de cada lingote; El horno de homogenizado de la empresa CEDAL S.A. tarda un tiempo determinado entre alcanzar su temperatura máxima y la permanencia de esta, para concluir con el proceso de homogenización, pero el tiempo que tarda el horno en realizar este proceso esta retrasándose cada vez más, provocándole a la empresa pérdidas energéticas y económicas, por dicho motivo se procedió a la recopilación de datos que muestra indicadores negativos y positivos los cuales permiten la generación de la siguiente hipótesis:

“El análisis y optimización del horno de homogenizado de lingotes de aluminio para la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A, permitirá mejorar la eficiencia del proceso de homogenización”, consiguiendo un ahorro del consumo energético por parte del horno lo que representa una ganancia económica para la empresa. La ejecución del proyecto brinda la posibilidad de investigar sobre las pérdidas de calor y la eficiencia de la combustión en máquinas térmicas.

En cuanto al objetivo general del presente trabajo investigativo ha sido realizar un análisis técnico sobre el funcionamiento y un balance térmico actual del horno de homogenizado de la planta de fundición, que permita tomar acciones correctivas y de

esta manera mejorar la eficiencia del equipo; para ello se apoya en algunos objetivos específicos como conocer el horno de homogenización de manera real y concreta así como detectar los factores que afectan el rendimiento y lo alejan de su funcionamiento ideal recomendado por los fabricantes de dicho equipo, para revelar los puntos que necesitan mejorarse y proponer las respectivas acciones correctivas.

La presente investigación en su modalidad de investigación es un PROYECTO FACTIBLE, porque comprende la elaboración y el desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable, para solucionar un problema que está afectando a un proceso importante de la empresa CEDAL S.A, por lo cual se plantean los siguientes tipos de investigación.

La investigación bibliográfica permitió realizar el análisis detallado, crítico y comparativo de los resultados obtenidos en los cálculos.

Es por el objetivo, que se encaminó a resolver un problema práctico. Además es investigación aplicada porque los resultados los utiliza en forma inmediata en la superación del problema, pues llega a la ejecución de amplias generalizaciones y siempre orientada a la solución de problemas.

Se considera investigación de campo porque se realizó en el mismo lugar en donde se presentan los acontecimientos; en este caso en la empresa CEDAL S.A.

Por el alcance que expresa y el grado de profundidad de la investigación se la considera también descriptiva. Y en el nivel explicativo porque señala la relación, en este caso, determina la relación entre causa y efecto, entre antecedente y consecuente de hechos y fenómenos.

Entre los métodos y técnicas aplicados en la investigación se encuentra el método hipotético-deductivo que es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El mismo que consta de varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicarlo, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales de la propia hipótesis y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

Otro método utilizado es el analítico-sintético el que facilitó la comprensión de los resultados del problema para representarlos mediante el análisis, las respuestas y las técnicas que se emplearon en la investigación antes mencionada.

Entre las técnicas se aplicó la encuesta al personal operativo de la planta de fundición de CEDAL S.A. (ANEXO 4). Esta técnica fue seleccionada por la confiabilidad que representa en la recolección de datos y además en consideración que el número de personal operativo se presta para la aplicación de este tipo de técnica.

Otra técnica es la entrevista estructurada aplicada a los jefes de la planta de fundición (ANEXO 5). Para conocer cuál es la opinión frente a la problemática planteada. Se escoge este método porque tiene mayor confiabilidad y en consideración que la entrevista es una técnica que se aplica cuando las muestras son pequeñas.

Y la lectura científica se utilizó a lo largo de la elaboración del proyecto y posteriormente para la construcción del marco teórico del informe en especial para la construcción del marco de referencia, conceptual, cuyos contenidos requieren una rigurosa selección de temáticas con su correspondiente resumen, el mismo que necesita en forma indispensable de la lectura científica.

En la presente investigación se establecen tres capítulos, al primer capítulo le corresponde la fundamentación teórica donde se habla sobre el aluminio, tratamientos térmicos y horno de homogenización.

En el segundo capítulo se trata la presentación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos con la encuesta y la entrevista.

Finalmente en el tercer capítulo se presenta el análisis técnico del horno de homogenización donde se calcula el consumo de combustible, las pérdidas de calor y la emanación de gases, para posteriormente establecer la propuesta en base a los factores antes mencionados.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1. Antecedentes**

Hace más de una década, investigadores del Grupo de Radiaciones Nucleares Aplicadas (GRNA) descubrieron que se observaban importantes modificaciones estructurales en las aleaciones de base aluminio cuando éstas, luego del envejecimiento artificial, eran mantenidas por tiempos variables, preferentemente largos a temperatura ambiente o temperaturas levemente superiores a ésta. Los resultados obtenidos reflejaban la existencia de fuertes cambios a escala nanoscópica y fueron asociados a la formación de nano-estructuras meta-estables y/o estables en las aleaciones estudiadas.

Así comenzaron estudios sistemáticos en una variada gama de aleaciones de avanzada que permitieron reportar la existencia, en mayor o menor medida de este fenómeno.

Sobre la base de estos resultados, hacia fines de la década de los 90, varios tecnólogos pusieron especial énfasis en la búsqueda de la optimización de estos nuevos tratamientos de envejecimiento y de su constatación usando técnicas de uso reconocido en la metalurgia física y en la industria del aluminio. En Ecuador existen dos empresas dedicadas a la producción de perfilería de aluminio, la primera es CEDAL S.A. (Corporación Ecuatoriana de Aluminio) creada en 1974, ubicada en la provincia de Cotopaxi ciudad Latacunga y la otra es FISA (Fundiciones Industriales S. A.) creada en 1969, ubicada en la provincia del Guayas en la ciudad de Guayaquil.

## **1.2. El aluminio y sus propiedades mecánicas**

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metalno ferro magnético. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad y su alta resistencia a la corrosión.

### **1.2.1. Propiedades mecánicas del aluminio puro**

Las propiedades mecánicas más destacables del aluminio y sus aleaciones son: poco peso, buena resistencia a la corrosión y conductividad elevada, tanto térmica como eléctrica. En la tabla 1.1 se muestra un resumen de las propiedades mecánicas del aluminio puro.

**TABLA 1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO**

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Color	Blanco – plata
Densidad a 20°C	2699 g/cc
Cambio volumétrico durante la solidificación	6.7%
Calor de combustión	200 Kcal/at-gr
Punto de fusión	660.2 °C
Punto de ebullición	2057 °C / 2480 °C
Calor específico (20°C)	930 J
Conductividad térmica a 0°C	0.50 cal/s/cm <sup>2</sup> /cm/°C
Conductividad térmica a 100°C	0.51 cal/s/cm <sup>2</sup> /cm/°C
Resistividad eléctrica a 20°C	2.69 μΩ.cm

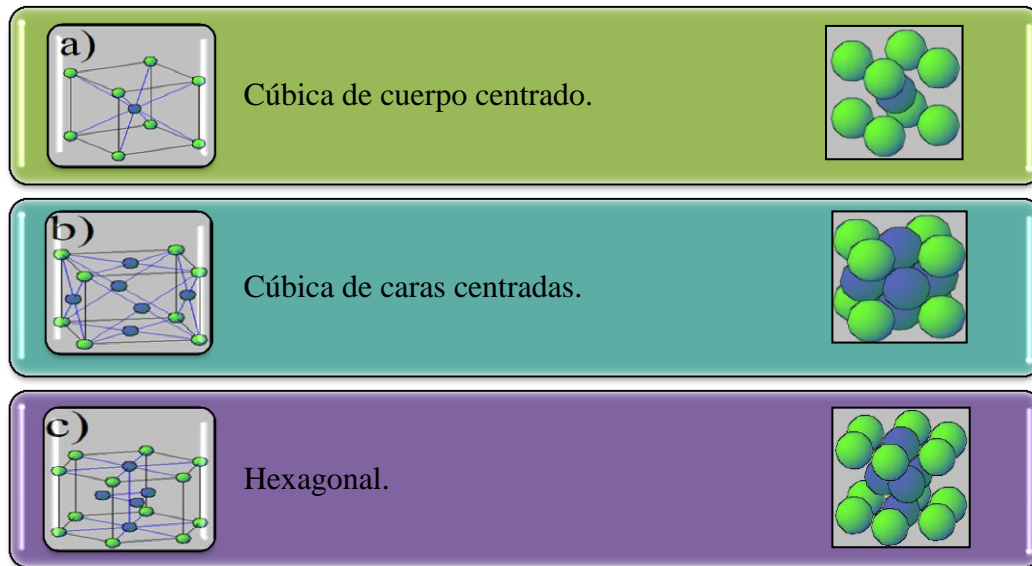
**Fuente:** BÁDENAS, Aparicio y RODRÍGUEZ, Daniel. Aleaciones ligeras

**Elaboración:** Grupo investigador.

### **1.2.2. Estructura molecular**

La estructura molecular se refiere a la disposición tridimensional de los átomos que constituyen una molécula, determina muchas de las propiedades de las moléculas, como son la reactividad, polaridad, fase, color, magnetismo y actividad biológica. Los metales, como todos los materiales, están constituidos por átomos. Pero la disposición y la cantidad de átomos son diferentes: mientras que los átomos de muchos materiales no metálicos están dispuestos desordenadamente (disposición amorfa), los metales poseen una constitución atómica ordenada (disposición cristalina). Las estructuras cristalinas de los metales se representan de varias maneras, las tres más importantes se muestran en la tabla 1.2 y las estructuras cristalinas de algunos metales se indican en la tabla 1.3.

**TABLA 1.2. REDES CRISTALINAS ESPACIALES**



**Fuente:** KUCHER, A. Tecnología de metales

**Elaboración:** Grupo investigador.

**TABLA 1.3. ESTRUCTURAS CRISTALINAS DE ALGUNOS METALES**

Metal	Estructura cristalina
Aluminio	FCC
Hierro ( $\alpha$ )	BCC
Zinc	HC
Magnesio	HC
Silicio	FCC
FCC = cúbica centrada en las caras; HC = hexagonal compacta; BCC = cúbica centrada en el cuerpo.	

**Fuente:** CALLISTER, William. Ciencia e ingeniería de los materiales

**Elaboración:** Grupo investigador.

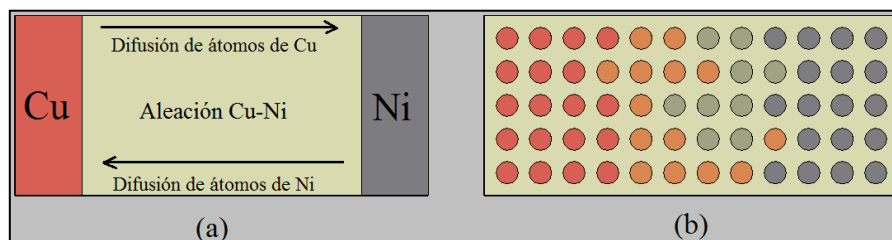
### 1.2.3. Difusión

A nivel atómico, la difusión consiste en la emigración de los átomos de un sitio de la red a otro sitio. En los materiales sólidos, los átomos están en continuo movimiento, cambian rápidamente de posición. La movilidad atómica exige dos condiciones:

- a) Un lugar vecino vacío.
- b) El átomo debe tener suficiente energía como para romper los enlaces con los átomos vecinos y distorsionar la red durante el desplazamiento. Esta energía es de naturaleza vibratoria y aumenta al ascender la temperatura.

El fenómeno de la difusión se puede demostrar mediante el par difusor formado por la unión de dos metales puestos en contacto a través de las dos caras, como está ilustrado por el cobre y el níquel en la figura 1.1, donde se observa que al incrementar la temperatura los átomos de cobre (Cu) se desplazan hacia la red del otro elemento ocupando los espacios vacíos que existen en este. En la cual, (a) Zona de aleación por difusión del par difusivo cobre-níquel después de tratado térmicamente a elevada temperatura. (b) Representación esquemática de las localizaciones de los átomos de Cu (círculos coloreados) y Ni (círculos grises).

**FIGURA 1.1. FENÓMENO DE DIFUSIÓN POR LA UNIÓN COBRE-NÍQUEL**



**Fuente:** KUCHER, A. Tecnología de metales

## **1.3. Fundición**

Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas a partir de licuación de metales (aleación), comúnmente metálicas, que luego pasara a un molde debidamente preparado donde se solidificara y tomara la forma deseada (colada).

### **1.3.1. Importancia del proceso de fundición**

El proceso de fundición es importante por los siguientes factores:

- a) Permite fabricar piezas de diferentes dimensiones.
- b) Gran precisión de forma en la fabricación de piezas complicadas.
- c) Las piezas de fundición son fáciles de mecanizar.
- d) Estas piezas son resistentes al desgaste.

### **1.3.2. Fundición del aluminio**

El proceso de fundición inicia en el acoplamiento de la chatarra o materia prima, donde el aluminio es recuperado de los procesos de extrusión, anodizado y empaquetado, el mismo que es re-fundido, garantizando su composición y características de aleación mediante estrictos controles metalúrgicos para posteriormente ser utilizados en el proceso de extrusión. Para lo cual se utiliza un horno de fundición donde se funde este material formando una colada. En el anexo 3 se observa la salida de los lingotes de aluminio del horno de fundición.

### 1.3.3. Temperaturas de fundición del aluminio

La máxima temperatura de fusión de las aleaciones de aluminio se halla por debajo de los 800°C, generalmente entre 700 y 750°C. Con esta temperatura se consigue fundir el aluminio y obtener los distintos tipos aleaciones de aluminio.

## 1.4. Aleaciones de aluminio

Las aleaciones son obtenidas a partir de aluminio y otros elementos, generalmente cobre, zinc, manganeso, magnesio o silicio. Las aleaciones tienen como principal objetivo mejorar la dureza y resistencia del aluminio, los principales elementos aleantes y las propiedades mecánicas que proporcionan se muestra en la tabla 1.4.

**TABLA 1.4. PRINCIPALES ELEMENTOS ALEANTES DEL ALUMINIO**

Elemento	Propiedad mecánica
<b>Cromo (Cr).</b>	Aumenta la resistencia mecánica cuando está combinado con otros elementos Cu, Mn, Mg.
<b>Cobre (Cu).</b>	Incrementa las propiedades mecánicas pero reduce la resistencia a la corrosión
<b>Hierro (Fe).</b>	Incrementa la resistencia mecánica.
<b>Magnesio (Mg).</b>	Tiene alta resistencia tras el conformado en frío
<b>Manganeso (Mn).</b>	Incrementa las propiedades mecánicas y reduce la calidad de embutición.
<b>Silicio (Si).</b>	Combinado con magnesio (Mg), tiene mayor resistencia mecánica
<b>Titanio (Ti).</b>	Aumenta la resistencia mecánica
<b>Zinc (Zn).</b>	Mejora la soldadura.
<b>Escandio (Sc).</b>	Reduce la resistencia a la corrosión.

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Aleaciones\\_de\\_aluminio](http://es.wikipedia.org/wiki/Aleaciones_de_aluminio)

**Elaboración:** Grupo investigador.

### 1.4.1. Nomenclatura de las aleaciones de aluminio

Las aleaciones se agrupan por un sistema de cuatro dígitos, en donde el primer índice indica el aleante mayoritario como se muestra en la tabla 1.5.

**TABLA 1.5. NOMENCLATURA DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO**

Serie	Designación	Aleante principal
Serie 1000	1xxx	99% mínimo de aluminio
Serie 2000	2xxx	Cobre (Cu)
Serie 3000	3xxx	Manganeso (Mn)
Serie 4000	4xxx	Silicio (Si)
Serie 5000	5xxx	Magnesio (Mg)
Serie 6000	6xxx	Magnesio (Mg) y Silicio (Si)
Serie 7000	7xxx	Zinc (Zn)
Serie 8000	8xxx	Otros elementos
Serie 9000	9xxx	Sin utilizar

**Fuente:** <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>

**Elaboración:** Grupo investigador.

#### a) Serie 2xxx

En estas aleaciones el principal elemento aleante es el cobre (Cu), pero a veces también se le añade magnesio Mg. Las características de esta serie son: buena relación de dureza-peso y mala resistencia a la corrosión.

#### b) Serie 3xxx

En estas aleaciones el principal elemento aleante es el manganeso (Mn). Estas aleaciones tan solo tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro. Eso es porque el manganeso solo puede añadirse de forma efectiva en solo 1.5% por ello hay muy pocas aleaciones de esta serie.

**c) Serie 4xxx**

En esta serie el principal elemento aleante es el silicio (Si) que suele añadirse en cantidades medianamente elevadas (por encima del 12%). El objetivo es conseguir una aleación que funda a una temperatura más baja que el resto de aleaciones de aluminio para usarlo como elemento de soldadura.

**d) Serie 5xxx**

Esta serie usa como principal elemento aleante el magnesio (Mg) y a veces también se añaden pequeñas cantidades de manganeso cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio.

**e) Serie 6xxx**

En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el magnesio (Mg) y el silicio (Si) en proporciones adecuadas. Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto de aleaciones, a cambio tiene también formabilidad, soldabilidad y maquinabilidad.

**f) Serie 7xxx**

El zinc (Zn) añadido en proporciones que van desde el 1 al 8 % es el elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones. A veces se añaden pequeñas cantidades de magnesio para hacer la aleación tratable térmicamente.

**1.4.2. La aleación 6063**

Debida a su gran facilidad de extrusión, obtención, características mecánicas adecuadas, correcto aspecto de superficie y buen coloreado al anodizarse tiene múltiples aplicaciones. Su composición química se muestra en la tabla 1.6 y sus propiedades mecánicas se presentan en la tabla 1.7.

**TABLA 1.6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN 6063**

Elemento	Símbolo	Porcentaje de composición
Silicio	(Si)	0,20 - 0,60%
Hierro	(Fe)	Max. 0,35%
Cobre	(Cu)	Max. 0,10%
Manganeso	(Mn)	Max. 0,10%
Magnesio	(Mg)	0,45 – 0,90%
Cromo	(Cr)	Max. 0,10%
Zinc	(Zn)	Max. 0,10%
Titanio	(Ti)	Max. 0,05%
El resto lo compone el aluminio (Al)		

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A., Departamento de Producción.

**Elaboración:** Grupo investigador.

**TABLA 1.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN 6063**

Propiedad	Coefficiente	Propiedad	Coefficiente
Densidad[gr/cm <sup>3</sup> ]	2.69	Coef. De dilatación (0 a 100 °C)[°C <sup>-1</sup> x10 <sup>6</sup> ]	23.4
Rango de fusión [°C]	615 – 655	Conductividad térmica (0 a 100°C) [W/m °C]	Temple T6:201
Módulo de elasticidad [MPa]	68300	Resistividad a 20 °C [μΩcm]	Temple T6:3.3
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor específico ( J/Kg.°C)	900

**Fuente:** <http://www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/6063.pdf>

**Elaboración:** Grupo investigador.

Este tipo de aleación es utilizada para producir perfiles de carpintería metálica, puertas, ventanas, carcasas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, elementos especiales para maquinaria, tubos de riego, instalaciones neumáticas y en general donde se busque una aplicación decorativa.

### 1.4.3. La aleación 6005

Posee propiedades mecánicas que pueden variar según el equipamiento de cada línea de producción y según los parámetros utilizados en el proceso de extrusión, con aplicaciones estructurales tales como estructuras ligeras, cuerdas, vigas, escaleras, construcciones mecánicas y demás aplicaciones decorativas con mayor resistencia. La composición química se presenta en la tabla 1.8 y las propiedades mecánicas se muestran en la tabla 1.9.

**TABLA 1.8. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN 6005**

Elemento	Símbolo	Porcentaje de composición
Silicio	(Si)	0,60 - 0,90%
Hierro	(Fe)	Max. 0,35%
Cobre	(Cu)	Max. 0,10%
Manganeso	(Mn)	Max. 0,10%
Magnesio	(Mg)	0,40 – 0,60%
Cromo	(Cr)	Max. 0,10%
Zinc	(Zn)	Max. 0,10%
Titanio	(Ti)	Max. 0,10%
El resto lo compone el aluminio (Al)		

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A., Departamento de Producción.

**Elaboración:** Grupo investigador.

**TABLA 1.9. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN 6005**

<b>Propiedad</b>	<b>Coefficiente</b>
Densidad:	2,71 Kg/dm <sup>3</sup>
Módulo Elástico:	68.600 MPa
Intervalo de Fusión:	605-655 °C
Calor Específico :	880 J/Kg. °C
Conductividad Térmica:	170 W/m °C
Resistencia Específica:	3,5 μΩcm

**Fuente:** [http://ronautica.com/documentacion/fichastecnicas/aluminio\\_6005.pdf](http://ronautica.com/documentacion/fichastecnicas/aluminio_6005.pdf)

**Elaboración:** Grupo investigador.

## **1.5. Ensayo de materiales**

Mediante el ensayo de materiales o bien se verifican determinadas propiedades de éstos, tales como la resistencia, la dureza, la consistencia en frío y en caliente o bien se determina su composición química para deducir de ella puntos de referencia respecto a su pureza, resistencia a la corrosión y trabajabilidad. Mediante procedimientos especiales puede determinarse si existen defectos (grietas, inclusiones de escoria, cavidades) y en que sitio están.

### **1.5.1. Ensayos en el taller**

Mediante sencillos procedimientos de verificación se posibilita conocer la clase de material que se tiene delante y sus propiedades, así como formar juicio sobre su comportamiento al ser trabajado. Con estos procedimientos de taller no se obtienen resultados numéricos exactos, sino únicamente indicaciones sobre determinadas propiedades.

### **1.5.2. Ensayo de chispa**

Es una prueba que permite deducir por el color y la forma de las chispas producidas por el material aleante al ser sometida a un paso de luz electromagnética, para verificar la clase y la composición de ese material.

Leyensetter, A. (2006) menciona que: “Aun cuando por la prueba de chispa no pueden obtenerse datos exactos sobre la composición del material, sí se podrá deducir por ella tanto como para evitar errores en lo que respecta a su aplicación y sobre todo también a su tratamiento térmico”.

Para realizar este ensayo se utiliza un espectrometro que permite medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético. La variable que se mide generalmente es la intensidad luminosa pero se puede medir también el estado de polarización electromagnética. En el anexo 3 se muestra un espectrómetro.

## **1.6. Metalografía**

Es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.

### **1.6.1. Tamaño de grano**

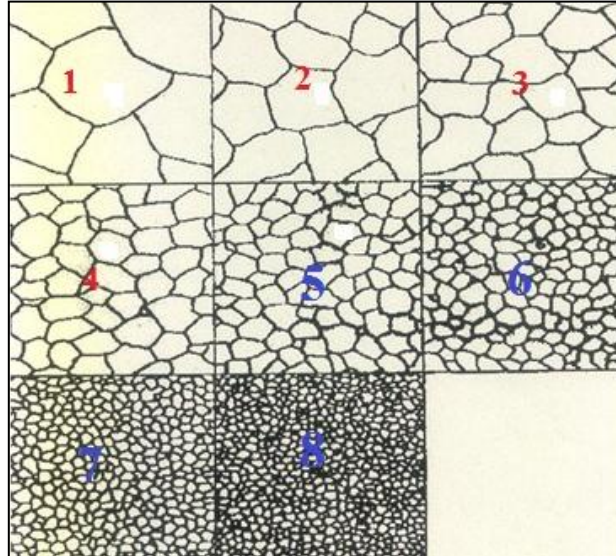
El límite de grano es la zona de encuentro de los frentes de crecimiento de los cristales. La zona de encuentro no es regular, posee un alto contenido energético con puntos de tensión y debilidad. Los granos grandes tienden a romperse sin deformarse (fractura frágil por rotura transversal) y los granos pequeños tienden a romper con deformación (fractura dúctil por rotura longitudinal).

El tamaño de grano tiene un notable efecto en las propiedades mecánicas del metal. Los efectos del crecimiento de grano provocados por el tratamiento térmico son fácilmente predecibles. La temperatura, los elementos aleantes y el tiempo de impregnación térmica afectan el tamaño del grano. En metales, como el hierro y el aluminio por lo general, es preferible un tamaño de grano pequeño que uno grande. Los metales de grano pequeño tienen mayor resistencia a la tracción, mayor dureza y se distorsionan menos durante el temple, así como también son menos susceptibles al agrietamiento. El grano fino es mejor para herramientas y matrices en procesos de extrusión.

### **1.6.2. Medida del tamaño de grano**

El tamaño de grano tiene considerable influencia en las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, por eso es de gran interés conocerlo. Así pues, podemos entender que la realización de los diferentes tratamientos térmicos tenga como principal objetivo obtener el tamaño de grano deseado. Resulta evidente que dicho tamaño de grano es inversamente proporcional al número de granos presentes en la muestra, en la figura 1.2 se indica un tamaño de grano de una muestra de aluminio.

**FIGURA 1.2. TAMAÑO DE GRANO ORDENADO DESDE 1 (ESQUINA SUPERIOR IZQUIERDA) HASTA 8 (ESQUINA INFERIOR DERECHA).**



**Fuente:** <http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/grano.htm>

### **1.6.3. Determinación práctica del tamaño de grano**

Los límites de grano son el lugar en que ocurren preferentemente las reacciones en estado sólido. En general, la energía libre de una cantidad de masa de metal dada disminuye a medida que aumenta el tamaño de grano. La causa del cambio de energía es la disminución de la energía interfacial asociada a los límites de grano. Esta disminución de energía es la fuerza impulsora que tiende a producir el crecimiento del grano. Ahora bien, en la mayoría de las condiciones de aplicación de los metales, la velocidad de crecimiento del grano es muy pequeña y sólo a temperaturas elevadas el crecimiento se produce rápidamente. Un material de grano fino será por lo tanto, más duro y más resistente que un material de grano grueso, el cuál (este último) tendrá más juntas de grano donde se acumularán más tensiones. Por todo lo anterior debe verificarse que la dureza es inversamente proporcional al tamaño de grano.

## **1.7. Tratamientos térmicos del aluminio y sus aleaciones**

Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al aluminio y sus aleaciones son: El recocido de estabilización, el recocido contra acritud, el recocido de homogenización, el temple de precipitación y la maduración artificial. No todos los tratamientos citados pueden aplicarse al aluminio y sus aleaciones, pues hay algunas de éstas que no endurecen con el temple.

### **1.7.1. Introducción a los Tratamientos térmicos**

Son los diferentes procesos térmicos (calentamiento, permanencia y enfriamiento) a que se puede someter los metales y aleaciones para modificar sus propiedades físicas, mecánicas y su constitución, pero no su composición química.

MOLERA, Solá. (1991) manifiesta que: “Los tratamientos térmicos tienen por objeto modificar, por aplicación de calor dentro del estado sólido, las propiedades de los metales y aleaciones, actuando sobre su estructura”.

De acuerdo al objetivo perseguido se deducen los siguientes tratamientos:

- a. Tratamientos en los que se busca una estructura más estable que aquella de la cual se partió y que son llamados: Recocidos de homogenización.
- b. Tratamientos en los que se busca una estructura menos estable que aquella de la cual se partió y que son llamados: Temples.
- c. Tratamientos en los que se modifica la composición química de las aleaciones y que son llamados: Tratamientos termoquímicos.

Usualmente los tratamientos se realizan persiguiendo uno de los objetivos siguientes:

- a. Remover los esfuerzos inducidos por trabajo en frío o esfuerzos debidos a enfriamiento no uniforme de los metales calientes.
- b. Para refinar el grano de metales trabajados en caliente, que puedan haber desarrollado grano grueso.
- c. Para asegurar una estructura granular correcta.
- d. Para disminuir dureza y aumentar ductilidad.
- e. Para mejorar propiedades eléctricas.
- f. Para cambiar o modificar propiedades magnéticas.
- g. Para aumentar la resistencia al desgaste de las capas superficiales de algunas piezas sin que el núcleo de la pieza no pierda las propiedades originales (ductilidad).

### **1.7.2. Recocido del aluminio y sus aleaciones**

Los recocidos, son operaciones de calentamiento y enfriamiento lento para conseguir la constitución y estructura más estable a temperatura ambiente y destruir, por tanto, cualquier anomalía en que se encuentre el material producido por tratamientos térmicos. La intensidad de los recocidos depende, sobre todo, de la temperatura máxima a que se llega en el calentamiento.

## **1.8. Homogenización del aluminio**

El término recocido de homogenización se refiere al tratamiento térmico de un material expuesto a elevada temperatura durante un periodo de tiempo y luego enfriado lentamente. Comúnmente el homogenizado se lleva a cabo para:

- a. Eliminar tensiones;
- b. Incrementar la plasticidad, la ductilidad y la tenacidad y/o
- c. Producir una microestructura específica.

Este tratamiento térmico produce cambios microestructurales, responsables de la modificación de las propiedades mecánicas. El proceso de homogenizado consta de tres etapas:

1. Calentamiento a la temperatura prevista.
2. Mantenimiento o “impregnación térmica” a esta temperatura.
3. Enfriamiento, generalmente hasta temperatura ambiente.

#### **1.8.1. Duración de la homogenización**

La duración de permanencia de temperatura puede variar de 5 a 48 horas según la aleación, las dimensiones y formas de las piezas, la carga de los hornos y su potencia, es necesario indicar que la homogenización no comienza verdaderamente más que cuando se ha alcanzado la temperatura en toda la masa metálica.

El tiempo es un parámetro importante en estos procedimientos. Durante el calentamiento y el enfriamiento existen gradientes de temperatura entre el interior y la superficie de la pieza, esta magnitud depende del tamaño y geometría de la pieza. Si la velocidad de cambio de temperatura es grande, se genera un gradiente de temperatura que induce tensiones internas que pueden conducir a deformaciones incluso al agrietamiento. El tiempo de homogenizado debe ser suficientemente largo para permitir la necesaria reacción de transformación. El homogenizado se acelera al aumentar la temperatura, ya que representa un proceso de difusión.

Convirtiéndose el proceso de homogenizado en una etapa fundamental para obtener perfiles de aluminio de buena calidad, HUFNAGEL, W. (2000) manifiesta que:

“En la actualidad la mayoría de los tochos de fundición destinados a extrusión, se homogenizan, para conseguir una estructura con mayor ductilidad favorable para el proceso de extrusión”.

### **1.8.2. Consecuencias de la homogenización**

Los tratamientos de homogenización son tanto más eficaces si se aplican en el estado fundido o con una ligera acritud dando lugar a la siguiente variación de propiedades:

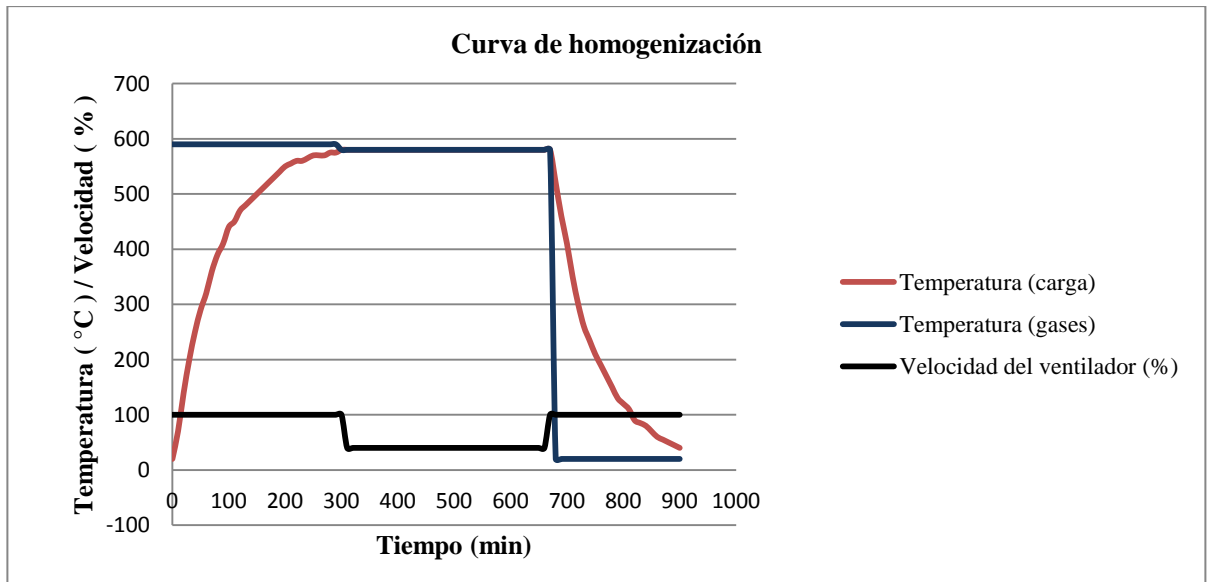
- a. Las aleaciones responden más rápidamente a los tratamientos térmicos posteriores (recocido, temple y maduración artificial).
- b. Las características mecánicas son generalmente mejoradas.
- c. Se mejora la plasticidad en caliente: la laminación, la extrusión, la forja, son más fáciles de realizar.
- d. Se mejora la maleabilidad en estado recocido; disminuye el límite elástico y aumenta el alargamiento.
- e. Por encima de los 600°C el tratamiento puede llegar a ser peligroso para la cohesión.
- f. Si el metal se destina para anodizado el aspecto general y el brillo ya mejorados por la homogenización a 540°C, sufrirán una mejoría más importante cuando la homogenización se realice a 600°C. Si se trata de obtener, sobre todo las características mecánicas óptimas, es suficiente la homogenización entre 540-550°C.

### 1.8.3. Curva de temperatura de homogenización del aluminio

La curva ideal de la temperatura de homogenización de lingotes de aluminio de aleación 6063, como se observa en la figura 1.3, cumple las siguientes etapas:

- Calentamiento; es el tiempo que tarda el equipo térmico en llegar a la temperatura óptima que oscila en los 560°C, para empezar el proceso de homogenización del aluminio.
- Mantenimiento o permanencia; es el período donde se mantiene estable la temperatura para realizar la homogenización.
- Refrigeración; es el enfriamiento de la etapa final del homogenizado que puede llevarse a cabo sin control en el aire ambiente por convección natural o en una velocidad de enfriamiento controlado por convección forzada con aire o agua.

**FIGURA 1.3. CURVA DE TEMPERATURA DE HOMOGENIZACIÓN DEL ALUMINIO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.**



**Fuente:** [http://www.otto-junker.de/data/2/media/downloads/2010-11-International-AluminiumJournal-Billet-homogenising-batch-or-continuous-3\\_4cd814bef3865.pdf](http://www.otto-junker.de/data/2/media/downloads/2010-11-International-AluminiumJournal-Billet-homogenising-batch-or-continuous-3_4cd814bef3865.pdf)

## **1.9. Extrusión del aluminio**

La extrusión es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. La extrusión puede ser continua (produciendo teóricamente de forma indefinida materiales largos) o semi-continua (produciendo muchas partes). El proceso de extrusión puede hacerse con el material caliente o frío. Los materiales extruidos comúnmente incluyen metales, polímeros, cerámicas, hormigón y productos alimenticios.

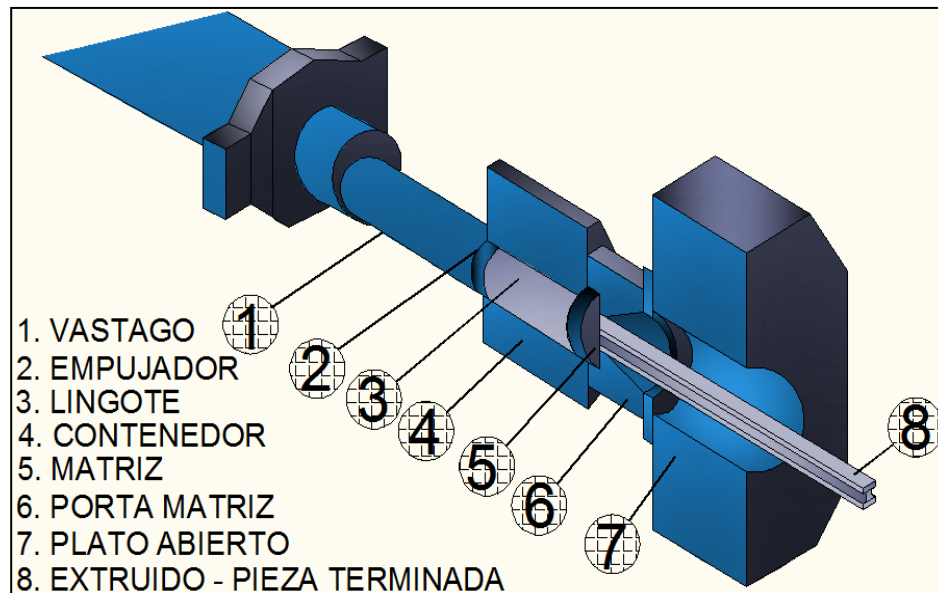
### **1.9.1. Introducción a la extrusión**

La extrusión es un método relativamente nuevo en la fabricación de piezas metálicas. Los metales, los plásticos y los materiales de cerámicas se transforman en artículos útiles y productos de consumo por muchos diferentes medios. Los metales se vacían de maneras diferentes en moldes para producir formas intrincadas pequeñas o partes para máquinas en producción en serie. Los metales también se laminan entre rodillos, se conforman en piezas y se martillan en matrices o se fuerzan a través de dados por extrusión para hacer formas especiales. La extrusión realizado por la prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente o frío, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro extremo un disco macizo, llamado disco de presión. Si el esfuerzo de compresión se transmite al metal por medio del disco de presión o de la matriz, al proceso de extrusión se le denomina extrusión directa o extrusión inversa.

### 1.9.2. Proceso de extrusión

El proceso comienza con el calentamiento del material. Éste se carga posteriormente dentro del contenedor de la prensa. Se coloca un bloque en la prensa de forma que sea empujado, haciéndolo pasar por el troquel. Si son requeridas mejores propiedades, el material puede ser tratado mediante calor o trabajado en frío. Este proceso de compresión es esencialmente de trabajo en caliente, donde un lingote fundido de forma cilíndrica, se coloca dentro de un fuerte contenedor de metal y comprimido por medio de un émbolo, de manera que sea expulsado a través del orificio de un dado. En la figura 1.4, se indica las partes del equipo de extrusión.

**FIGURA 1.4. PARTES DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN**

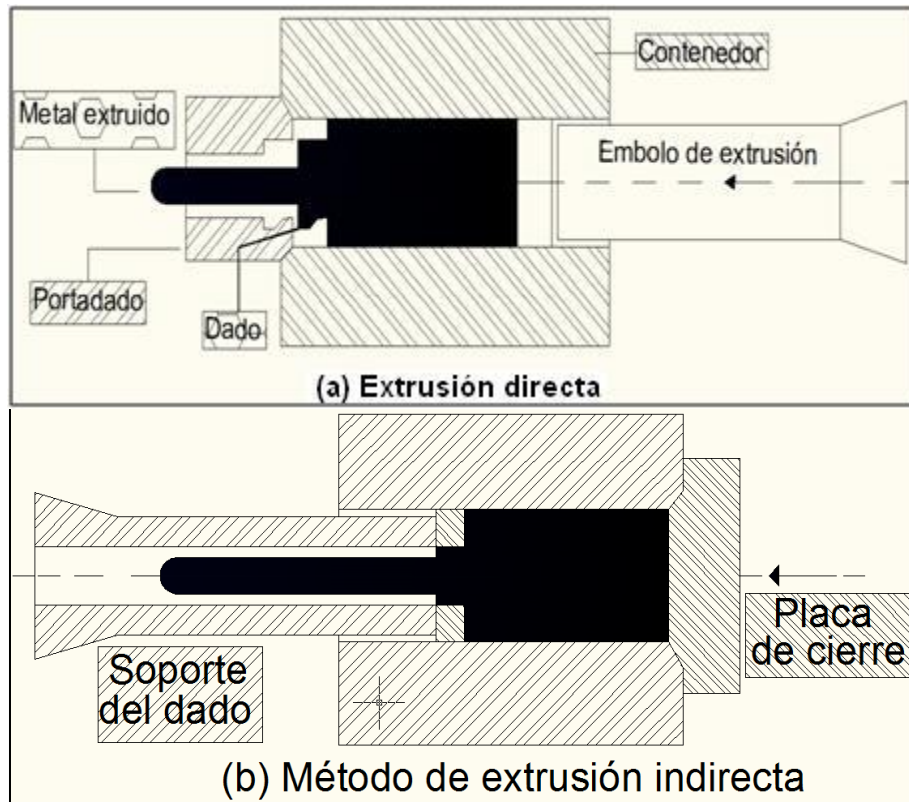


**Fuente:** [www.atwfeedscrews.com/extrusion.html](http://www.atwfeedscrews.com/extrusion.html)

El metal expulsado o extruido toma la forma del orificio del dado. El proceso puede llevarse a cabo por dos métodos llamados:

Extrusión directa, donde el émbolo está sobre el lingote en el lado opuesto al dado y el metal es empujado hacia el dado por el movimiento del émbolo como se observa en la figura 1.5. (a) Extrusión indirecta, en la cual el dado y el émbolo están del mismo lado del lingote y el dado es forzado dentro del lingote, por el movimiento del émbolo, como se observa en la figura 1.5. (b).

**FIGURA 1.5. MÉTODOS DE EXTRUSIÓN: (a) EXTRUSIÓN DIRECTA, (b) EXTRUSIÓN INDIRECTA**



**Fuente:** [www.atwfeedscrews.com/extrusion.html](http://www.atwfeedscrews.com/extrusion.html)

### 1.9.3. Tres elementos básicos previos a la extrusión

El primer elemento de la línea tiene que cumplir con tres requisitos básicos:

- a. Continuamente reunir la materia prima en estado sólido y fundido.
- b. Continuamente fundir la materia prima.
- c. Homogenizar la materia prima térmica y físicamente.

Siendo el proceso de homogenización de fundamental importancia para conseguir lingotes de aluminio con mayor ductilidad que facilite el posterior proceso que es la extrusión, donde se requiere materia prima maleable, por estos aspectos existe una relación entre los procesos de extrusión y de homogenizado, como lo comenta SHEPPARD, T. (1999) donde menciona que: “La estructura y subestructura de la materia a la salida de la prensa de extrusión está directamente relacionada con la homogenización”.

Las temperaturas de las aleaciones de aluminio para homogenización y extrusión se indican en la tabla 1.10.

**TABLA 1.10. TEMPERATURAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO PARA HOMOGENIZACIÓN Y EXTRUSIÓN**

<b>Aleación</b>	<b>Temperatura de Homogenización (°C)</b>	<b>Temperatura de Extrusión (°C)</b>
1xxx	560 – 605	450 – 550
2xxx	480 – 530	400 – 480
3xxx	530 – 620	480 – 520
5xxx	380 – 550	400 480
6xxx	560 – 600	430 – 500
7xxx	400 – 500	390 – 450

**Fuentes:** SHEPPARD, T. Extrusion of aluminium alloys.

**Elaboración:** Grupo investigador.

## 1.10. Horno de homogenización

Es un equipo industrial utilizado generalmente en la industria metalúrgica, en el que se calientan las piezas o elementos ubicados en su interior por encima de la temperatura ambiente con el objetivo de tratar térmicamente materia prima para impartir determinadas propiedades físicas, dando lugar al envejecimiento artificial de la materia. Este equipo sirve para igualar la composición química de la materia prima solidificada a nivel microscópico, permitiendo una redistribución equitativa de los elementos aleantes que componen a la materia prima a homogenizar y facilitando el posterior proceso de extrusión. En la figura 1.6 se muestra un horno de homogenización.

**FIGURA 1.6. HORNO DE HOMOGENIZACIÓN**

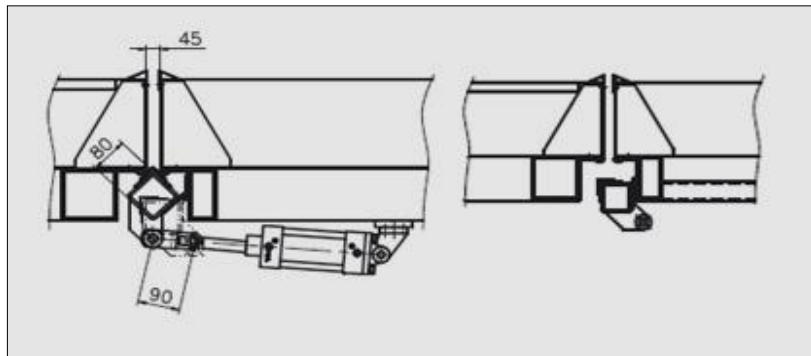


**Fuente:** Imagen adquirida de la empresa CEDAL SA.

### 1.10.1. Sistema de sellado térmico

Un sello térmico es un dispositivo que permite unir sistemas o mecanismos, evitando la fuga de fluidos, conteniendo la presión o no permitiendo el ingreso de contaminación. Existen diversos tipos de sellos, por ejemplo: sellos herméticos, hidrostáticos, hidrodinámicos, sellados por inducción o sello de tapa, entre otros. En el caso de un horno de homogenización el sellado es térmico, ya que el sellado del horno debe impedir las fugas de calor. Esencialmente el sellado consiste en dos superficies de rozamiento que están empujándose una contra otra. Una superficie está fija a la parte estática del horno, mientras que la otra esta fija al coche que contiene los lingotes de aluminio que conjuntamente con las puertas del horno realizan el sellado. El fluido a ser sellado penetra entre estas superficies, fluyendo entre ellas constantemente. La presión a sellar se reduce linealmente a través de las superficies. En la figura 1.7 se indica una vista inferior del sellado entre el horno y la carreta.

**FIGURA 1.7. VISTA INFERIOR DEL SELLADO ENTRE EL HORNO Y LA CARRETA**



**Fuente:** Planos de la compañía ELECTROTHERM Ltd.

Los sellos de un horno de homogenización están hechos de materiales resistentes al calor como por ejemplo el kevlar el cual es una poliamida, es decir un tipo de polímero.

Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda y también ser sintéticas, como el nailon o el ya mencionado kevlar, cuyas características lo hacen altamente resistente al fuego.

#### **a. Características del kevlar**

Las principales características del kevlar se describen a continuación:

- a) Resistencia a la mayoría de productos químicos.
- b) Protección permanente contra las llamas y el calor.
- c) Alta fuerza extensible.
- d) Alargamiento bajo o rigidez estructural.
- e) Conductividad eléctrica baja.
- f) Contracción termal baja.
- g) Alta dureza.

#### **b. Usos del kevlar**

El kevlar ha desempeñado un papel significativo en muchos usos críticos: Los cables de kevlar son tan fuertes como los cables de acero, pero tienen sólo cerca del 20% de su peso lo que hace de este polímero una excelente herramienta con múltiples utilidades. El tiempo de vida útil de este material es de aproximadamente 3 años para temperaturas que oscilen en  $600^{\circ}\text{C}$ . A continuación se da a conocer algunas aplicaciones del kevlar, como por ejemplo:

- a) Cuerdas, bolsas de aire en el sistema de aterrizaje.
- b) Hilo para coser.
- c) Guantes contra cortes, raspones y otras lesiones.

- d) Esquí, cascos y raquetas fuertes.
- e) Chaleco antibalas.
- f) Revestimiento para la fibra óptica.
- g) Silenciadores de tubos de escape.
- h) Botas de alta montaña.
- i) Alas de aviones.
- j) Chaquetas e impermeables.

## **1.11. Materiales aislantes de las paredes de un horno de homogenización**

Las paredes de un horno de homogenización generalmente están compuestas por dos materiales uno exterior como el acero inoxidable e interiormente un material aislante como la lana de vidrio.

### **1.11.1. Acero inoxidable**

El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

### **1.11.2. Lana de vidrio**

La lana de vidrio es una lanamineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. Las burbujas de aire atrapadas en las fibras impiden la transmisión térmica. En la industria se utiliza de la siguiente manera: como divisiones

de interiores, aislamiento de techos, conductos de aire acondicionado, aislamiento de conductos de aire acondicionado y como aislamiento térmico en hornos de fundición y homogenización de metales. En la tabla 1.11 se muestra las características principales del acero inoxidable y de la lana de vidrio.

**TABLA 1.11. PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DEL ACERO INOXIDABLE Y LA LANA DE VIDRIO**

<b>Material</b>	<b>Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor específico [KJ/Kg. °C]</b>	<b>Conductividad térmica [W/m. °K]</b>
Acero inoxidable	7850	0,46	15
Lana de vidrio	15	0,794	0.035

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_conductividad\\_t%C3%A9rmica](http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_t%C3%A9rmica)

**Elaboración:** Grupo investigador.

## **1.12. Sistema de combustión**

Un sistema de combustión es la generación de distintos tipos de energía como por ejemplo: energía mecánica, energía térmica y energía eléctrica que son consideradas las principales fuentes de trabajo industrial. Se crea este tipo de energía mediante la utilización de los hidrocarburos como gasolina, diesel, gas que son derivados del petróleo y de igual forma el carbono, que estos a su vez son quemados y consumidos en las distintas máquinas y equipos industriales.

### **1.12.1. Introducción a la combustión**

Industrialmente hablando se entiende por combustión, la combinación violenta con desprendimiento sensible de calor y luz, del oxígeno del aire con el carbono, hidrógeno y azufre que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. La combinación se efectúa en proporciones de peso bien determinadas.

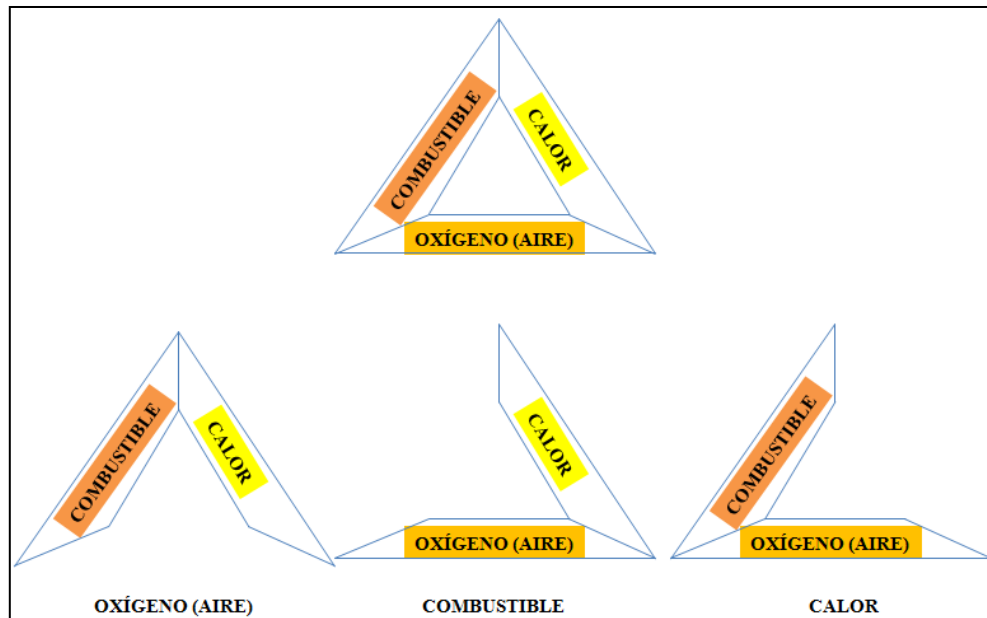
### **1.12.2. Notaciones sobre la combustión**

Cualquier sólido o líquido que contenga sustancias que se puedan quemar (Carbono, hidrógeno, azufre, o combinaciones de estos) solamente empiezan a quemarse cuando estas sustancias son llevadas al estado gaseoso mediante una fuente de calor externa, iniciándose así un proceso químico, con desprendimiento de calor y luz en mayor o menor abundancia, hasta que se agoten las sustancias susceptibles a quemarse. De esto se determina que:

- a. Para poder quemar, toda sustancia combustible debe estar en estado gaseoso.
- b. Debe estar presente el oxígeno, mezclado con el gas combustible en proporción adecuada.
- c. Debe disponerse de una fuente de calor externa de intensidad y cantidad adecuada, fin para poder iniciar el proceso de la combustión.

De estos tres requerimientos se desprende una interrelación formidable, al grado que si uno de ellos falla, no se realizará la combustión. Esto se ilustra en el triángulo de la combustión en la figura 1.8.

**FIGURA 1.8. COMPONENTES DEL TRIÁNGULO DE LA COMBUSTIÓN**



**Fuente:** RAMIREZ, Angel. Calderos pirotubulares.

### 1.12.3. Estequiometria de la combustión

Es la relación de masa existente entre el aire utilizado en el proceso de combustión respecto al combustible y se calcula mediante la ecuación 1, donde la relación estequiométrica para combustibles fósiles líquidos es aproximadamente 15. Para encontrar la masa del aire se utiliza la ecuación 2. Estas ecuaciones fueron obtenidas de la siguiente dirección electrónica:

[www.cds.espol.edu.ec/documentos/Apuntes%20de%20Combustion.pdf](http://www.cds.espol.edu.ec/documentos/Apuntes%20de%20Combustion.pdf).

$$m_{a/c} = \frac{\text{masa del aire}}{\text{masa del combustible}} \quad \text{Ec.1}$$

$$m = v \cdot d$$

Ec.2

Donde:

m= masa del aire

v= volumen o caudal de aire

d= densidad del aire = 0.036 Kg/ft<sup>3</sup>

#### **1.12.4. Relaciones estequiométricas**

Se basa en la cantidad de aire real e ideal utilizado en la combustión y se determina de las siguientes maneras:

- a. Si la cantidad real de aire aspirado corresponde a la cantidad necesaria, resulta una mezcla estequiométrica.
- b. Si la cantidad real de aire aspirado es menor a la cantidad teórica necesaria, resulta una mezcla rica (déficit de aire).
- c. Si la cantidad real de aire aspirado es mayor a la cantidad teórica necesaria, resulta una mezcla pobre (exceso de aire).

#### **1.12.5. Combustible**

El combustible provee los elementos químicos. Carbón (C), Hidrógeno (H), Azufre (S) los cuales combinados con el oxígeno del aire y una fuente de calor se realiza la combustión. Cuando más superficie tenga el combustible más fácilmente se mezcla con el oxígeno del aire. Varios son los métodos empleados para incrementar el área del combustible para hacer más fácil la mezcla aire-combustible.

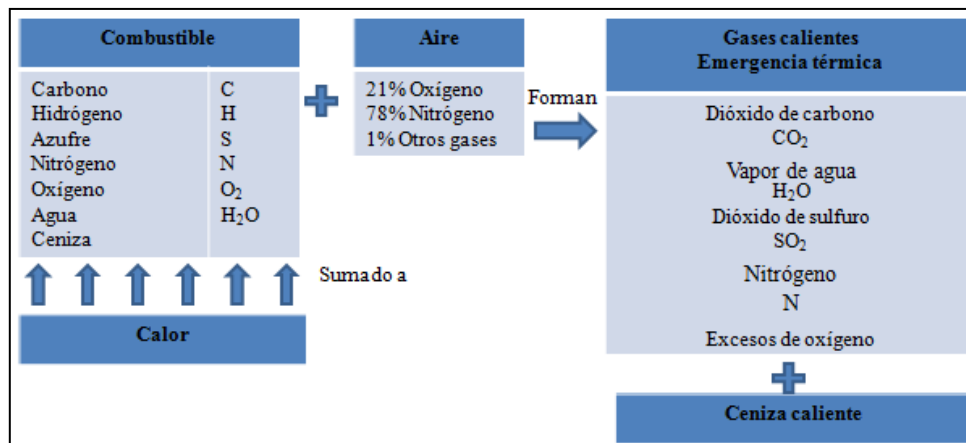
Los aceites ligeros son pulverizados a través de una boquilla que bajo presión produce una fina niebla con gran superficie de combustible.

La pulverización es necesaria para incrementar la superficie del combustible y mezclarlo con el aire acercándolo a las cualidades del gas. El gas natural se mezcla fácilmente con el aire, porque este tiene una gran superficie de contacto. En este combustible no hay que hacer nada para incrementar su superficie, solamente se le inyecta al quemador.

### 1.12.6. Procesos de la combustión

Los procesos de la combustión producen fuego. El fuego quema el combustible y cambia la energía química en energía de calor así tenemos: Combustible más calor más oxígeno, se transforma en gases calientes. Los gases calientes contienen la energía térmica de los combustibles. La figura 1.9 ilustra los procesos de la combustión.

**FIGURA 1.9. PROCESOS DE LA COMBUSTIÓN**



**Fuente:** RAMIREZ, Angel. Calderos pirotubulares.

### **1.12.7. Aceites combustibles o combustóleos**

Los fuel-oil son viscosos, es necesario romper y pulverizar el fuel-oil por atomización de forma que el aire pueda combinarse con las finas gotitas de aceite, pero la naturaleza viscosa del aceite nunca permite a este alcanzar la naturaleza gaseosa; sin embargo, se han desarrollado equipos de atomización óptimos que dispersan el fuel-oil convenientemente, quemándose así más rápidamente, lo que produce temperaturas de llama más elevadas. En la refinación del petróleo se producen los siguientes combustóleos:

- a. N°1: Combustóleo destilado para vaporizarse en quemadores de crisol y otros quemadores que necesiten este grado de combustible.
- b. N°2: Es el diesel que usan las camionetas y algunos automóviles. Combustóleo destilado para usos múltiples de calefacción doméstica, para usarse con quemadores que no necesiten combustóleo N°1.
- c. N°4: Por lo general no necesita precalentarse para manipularlo o quemarlo.
- d. N°5 ligero: Tal vez necesite precalentarse para manipularlo o quemarlo.
- e. N°5 pesado: Tal vez necesite precalentarse para quemarlo y en climas fríos, para manipularlo.
- f. N°6: necesita precalentarse para quemarlo y manipularlo.

#### **a. Combustible diesel**

Los combustibles diesel varían desde el queroseno hasta aceites residuales de grado intermedio, todo depende de las características del equipo de combustión que se obtenga. Las cualidades de ignición y la viscosidad son características importantes que determinan el rendimiento y suelen evaluarse en términos de sus números de cetanos o índices diesel.

El poder calorífico del diesel es de 132 000 BTU/ galón y se obtiene de la siguiente dirección electrónica:

[www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=transmision%20de%20calor%20powerpoint](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=transmision%20de%20calor%20powerpoint)

### **1.13. Quemadores**

El quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Por tanto debe lograr la mezcla íntima de combustible con el aire y proporcionar la energía suficiente para que prosiga la combustión. Los combustibles en estado gaseoso son los más fáciles a la hora de hacerlos arder, ya que los combustibles sólidos y líquidos hay que tratarlos y calentarlos. El gas como combustible se mezcla con el oxígeno del aire y cuando se le aporta una energía exterior, se alcanza la temperatura de ignición. Según la pulverización, los quemadores se pueden clasificar en tres grupos:

#### **1.13.1. Quemador de Gasificación**

En este tipo de quemadores el combustible se vaporiza por la acción del calentamiento de las paredes de un recipiente o taza. En estos quemadores solo se pueden utilizar productos destilados y de poca viscosidad.

#### **1.13.2. Quemador de Emulsión**

Aquí se produce una emulsión del combustible y el agua con un aparato llamado emulsificador. Su ventaja es que la combustión se produce de forma rápida y la longitud de la llama es muy corta y su inconveniente es el consumo de calor que necesitaremos para evaporar el agua inyectada y por ello baja su rendimiento.

### **1.13.3. Quemadores de Pulverización**

Estos consiguen la vaporización del combustible a través de la pulverización que se realiza por efecto de la presión que arrastra este al pasar por una boquilla con un orificio muy pequeño. Los quemadores de pulverización pueden ser de tres tipos: centrífugo o de copa rotativa, de fluido auxiliar y por presión. Los quemadores de pulverización mecánica por presión también son denominados quemadores a sobre presión, en este tipo de quemadores, el aire necesario para la combustión es introducido por medio de un ventilador. Estos quemadores poseen un circuito neumático, que es el encargado de controlar la entrada de aire a la combustión.

Este circuito posee una compuerta para regular el caudal que se introduce por la acción del ventilador, en algunos casos es accionada por un pistón hidráulico. El ventilador es el encargado de suministrar el aire necesario para la combustión, en función del caudal de combustible. Para conseguir una buena combustión en el caso de combustibles líquidos, se utilizan diferentes sistemas de pulverización, para así poder crear unas pequeñas gotitas microscópicas de combustible que tienen una mayor facilidad para mezclarse con el aire.

### **1.13.4. Quemadores dual-fuel 6422-2 y 6422-5**

Son elementos mecánicos de combustión a diesel y son encargados de proporcionar la energía calorífica al interior de un equipo térmico. Sus características de presión de gas son bajas, la presión necesaria de diesel es mínima con una caída de presión de alrededor de 10 psi, esta debe ser tomada a través de la válvula sensitrol. En la figura 1.10 se muestra un quemador de serie 6422 de la compañía North American Company y las capacidades caloríficas se muestran en la tabla 1.12.

**FIGURA. 1.10. QUEMADOR 6422**



**Fuente:** Imagen de North American Manufacturing Company

**TABLA 1.12. CAPACIDAD CALORÍFICA Y TOTAL DEL AIRE DE LOS QUEMADORES DOBLE COMBUSTIBLE**

Capacidad total del aire scfh (Pies cúbicos estándar por hora) (Para Btu/hr, multiplicar por 100)		
Designación del quemador	16 osi (onza por pulgada cuadrada) de aire en el quemador.	Capacidad Calorífica Btu/hr
6422-2	2 600	260 000
6422-5	10 300	1 030 000

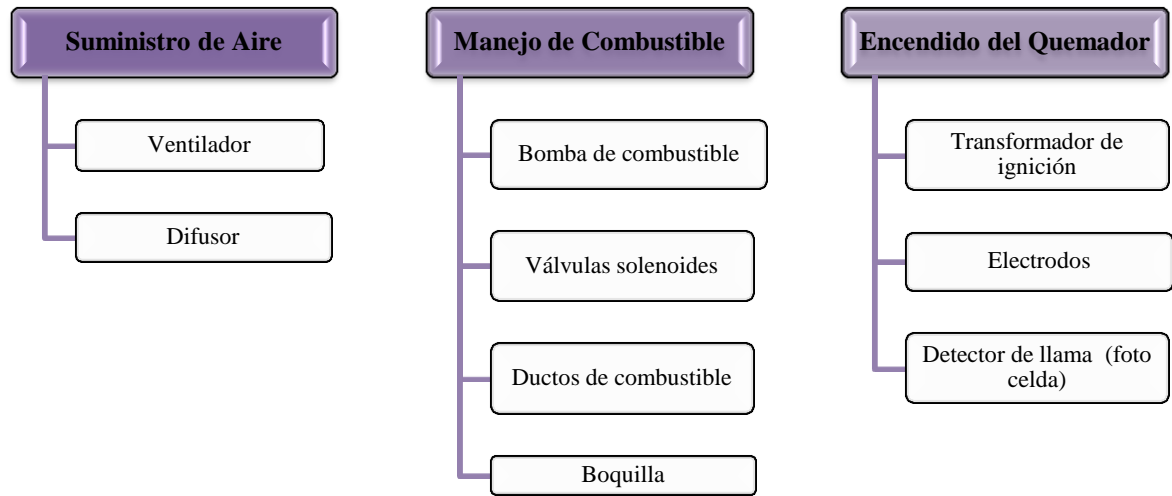
**Fuente:** [http://www.namfg.com/c-index/c-lit/dual-fuel/6422\\_bul.pdf](http://www.namfg.com/c-index/c-lit/dual-fuel/6422_bul.pdf)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### **1.14. Partes de un quemador**

Un quemador está compuesto de un gran número de partes y analizando sus funciones principales se agrupan en el siguiente orden, como se observa en la tabla 1.13.

**TABLA. 1.13. PARTES DEL QUEMADOR**



**Fuente:** RAMIREZ, Angel. Calderos pirotubulares

**Elaboracion:** Grupo investigador.

#### **1.14.1. El ventilador**

Es el elemento que se encarga de proporcionar el aire necesario para la combustión, lo toma del ambiente y lo presuriza dentro de la cámara de combustión pasando previamente por el difusor de aire.

#### **1.14.2. El difusor**

Está encargado de mezclar el aire suministrado por el ventilador entre las partículas pulverizadas del combustible, para que entren en contacto y así lograr una combustión eficiente, además el difusor logra un efecto tangencial del aire que suministra para una mayor transferencia de calor en la cámara de combustión.

### **1.14.3. La bomba de combustible**

La bomba de combustión es parte de un circuito hidráulico que se encuentra en el cabezal de la combustión del quemador, donde se produce la mezcla de aire-combustible para su atomización. La bomba desempeña una función indispensable en este circuito hidráulico, el cual es aspirar el combustible del depósito y posteriormente impulsarlo a presión suficiente para su pulverización en la boquilla, y así obtener el encendido de la llama principal.

### **1.14.4. Las boquillas del quemador**

Son la parte del quemador, donde para el combustible, debe convertirse primero al estado de gotitas pequeñas o niebla y vaporizarse para que se mezcle con la cantidad correcta de aire (oxígeno) y obtener tanto desprendimiento potencial de calor como sea posible. Cuando se reemplaza una boquilla, se debe mantener las mismas características tanto de ángulo de pulverización, así como el caudal (galonaje) de las boquillas que se está cambiando.

### **1.14.5. El transformador de ignición**

Es una fuente de alto voltaje, que toma de la red eléctrica el voltaje de 110V, 220V o 440 V, de suministro de energía eléctrica y lo transforma en un voltaje secundario de 6.000V, 10.000V, 12.000V o hasta 15.000V, con el cual podremos producir un arco eléctrico.

#### **1.14.6. Los electrodos**

Están contruidos de materiales altamente conductores de electricidad y resistentes a altas temperaturas. Los electrodos deben tener una separación entre puntas exactas, especificadas por el fabricante con el fin de lograr un arco eléctrico, para proporcionar alta temperatura y así iniciar el proceso de combustión.

#### **1.14.7. Detector de llama (Foto celda)**

El detector de llama es una alternativa del análisis de la atmósfera del horno, los sensores de llama han sido objeto de gran cantidad de estudio en laboratorios y experiencias prácticas de aplicación en el campo. De todas maneras, hay que tener en mente que el sistema detector de llama es solamente una parte del sistema de prevención de explosiones.

Las técnicas actuales de detección de llama usan las características de la llama, tales como: conducción, ionización, calor, luz y emisión electromagnética. El detector de llama que usa cualquiera de estas características da una señal de vía libre (1 en el sistema lógico) cuando la llama está presente y una señal de pare (0 lógico) cuando está ausente.

### **1.15. Válvulas**

Una válvula es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movible que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

### 1.15.1. Válvula Sensitrol de la serie 1813

La Válvula sensitrol permite el paso del combustible diesel en los quemadores industriales, estas válvulas tienen un mecanismo de retención ajustable que proporciona la posición deseada de funcionamiento, mediante el mango se regula el caudal de flujo en el quemador. En la figura 1.11, se muestra una válvula sensitrol y en la tabla 1.14 se indica sus capacidades.

**FIGURA. 1.11. VÁLVULA SENSITROL 1813**



**Fuente:** [www.namfg.com/c-index/c-lit/valves/1813\\_bul](http://www.namfg.com/c-index/c-lit/valves/1813_bul).

**TABLA 1.14. CAPACIDAD DE LA VÁLVULA SENSITROL EN LA POSICIÓN DE AJUSTE N° 7 A UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 10 PSI**

<b>Galones por hora gph (diesel N°2)</b>	<b>Designación de la válvula</b>	<b>Dial de color</b>
3	1813 – 03	Negro
8	1813 – 02 – A	Rojo
17	1813 – 02 – B	Azul
33	1813 – 02 – C	Verde
55	1813 – 02 – D	Marrón
140	1813 – 01	Blanco

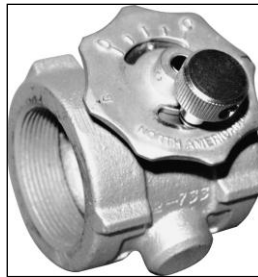
**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 1.15.2. Válvula mariposa de flujo de aire de la serie 1122

Las válvulas mariposas cuentan con un dispositivo de botón de bloqueo que impide un accidental cambio de ajuste. La presión máxima es de 15 psi y para presiones mayores varia el modelo y la capacidad de la válvula como se observa en la tabla 1.15. En la figura 1.12 se muestra una válvula mariposa 1122.

**FIGURA 1.12. VÁLVULA MARIPOSA 1122**



**Fuente:** North American Company

**TABLA 1.15. CAPACIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE LA VÁLVULA MARIPOSA DE LA SERIE 1122**

<b>Designación de la válvula</b>	<b>Tamaño de tubería</b>	<b>capacidad de aire en scfh (ft<sup>3</sup>/hrs)</b>	<b>Presión máxima en psi</b>
1122-0	3/4"	500	25
1122-1	1"	940	25
1122-2	1 1/4"	1 900	25
1122-3	1 1/2"	2 800	25
1122-4	2"	5 320	25
1122-5	2 1/2"	8 350	15
1122-6	3"	14 500	15
1122-7	4"	29 100	15

**Fuente:** North American Company

**Elaboracion:** Grupo investigador.

## 1.16. Secuencias de encendido de los quemadores

El encendido de los quemadores realiza una secuencia sistemática que se muestra en la tabla 1.16.

**TABLA 1.16. SECUENCIAS DE ENCENDIDO DE LOS QUEMADORES DEL HORNO DE HOMOGENIZACIÓN**

<b>Regulación del Quemador</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pre purga</li><li>• Solamente se enciende el ventilador</li></ul>
<b>Llama Piloto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Encendido piloto, valvula piloto abierta</li><li>• Estabilización de la llama piloto</li></ul>
<b>Llama Principal</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Encendido principal. válvula principal abierta</li><li>• Estabilización de la llama principal</li><li>• Apagado de la llama piloto</li></ul>
<b>Periodo de Trabajo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Llama principal estable</li></ul>
<b>Termostato</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Válvula principal abierta hasta recibir la señal de cierre</li></ul>
<b>Post Purga</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Válvula principal cerrada</li><li>• Funcionando ventilador</li></ul>

**Fuente:** RAMIREZ, Angel. Calderos pirotubulares

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### **1.16.1. Regulación del Quemador**

Para poner en marcha el quemador se debe tener en cuenta la regulación de las válvulas de aire y diesel, la posición de estas se puede ver en una escala numerada que incorpora el quemador. Moveremos el tornillo hasta que la escala numerada coincida con el índice que nos marca el fabricante. Una vez hayamos regulado el quemador podemos realizar la puesta en marcha de este siguiendo un orden. Con el cierre de los termostatos el motor empieza a girar junto con la bomba y empieza a entrar aire en el área interna del horno, para limpiarlo de gases de la anterior combustión, de forma que el hogar se oxigene bien y se produzca un buen encendido.

También empieza a funcionar el ventilador y el transformador de encendido y se efectúan las fases de preventilación del hogar, presurizado en una parte del circuito y el pre encendido en los electrodos.

### **1.16.2. Llama piloto**

En esta fase se pone en marcha el transformador de encendido, con lo que puede saltar la chispa eléctrica entre los dos electrodos al mismo tiempo se abre una válvula solenoide de gas que permite el paso de este a través de la chispa provocando el encendido de la llama piloto. Esta fase dura unos 15 segundos aproximadamente.

### **1.16.3. Llama principal**

Una vez terminado el pre barrido, la centralita manda tensión a la válvula electromagnética y esta se abre, dando paso al combustible diesel que llega a la boquilla para ser pulverizado.

Una vez pulverizado, el contacto con la chispa creada por los electrodos determina la formación de la llama principal. Una vez que se haya formado la llama principal, empieza el tiempo de seguridad.

#### **1.16.4. Periodo de trabajo**

Según la información recibida de la foto-celda, el programador detecta si se ha producido la llama principal y si así ha ocurrido, desconecta la alimentación del transformador de encendido y continua su funcionamiento con el motor en marcha y la electroválvula abierta, hasta que el termostato llegue a su temperatura establecida de corte y se pare el quemador, cerrando la electroválvula y parando el motor.

Si no se produce la llama después de un tiempo, desde el comienzo de la fase de encendido tiempo de seguridad que será como máximo de 10 segundos. El programador parará el funcionamiento de todos los elementos y se activará el piloto de bloqueo.

#### **1.16.5. Función del Termostato**

El quemador continuara trabajando encendido hasta el momento en que la válvula principal se cierre en base a la señal emitida por el termostato, quien nos confirmara el límite de temperatura establecido por el programador, apagando así el quemador. Un termostato es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura. Estáncompuestos por, un bulbo metálico en cuyo interior está un fluido sensible a los cambios de temperatura, el cual se dilata una cantidad fija por cada grado de incremento de temperatura en el interior del bulbo, presión que actúa directamente sobre un pequeño pistón que acciona un micro switch, que conecta o desconecta el circuito que controla el quemador.

### **1.16.6. Post purga**

En esta etapa la válvula principal está cerrada por la señal emitida del termostato, en la cual el ventilador entra a funcionar limpiando los desechos de combustible al interior del quemador, llevándolo a la posición final del ciclo.

## **1.17. Control primario o programador**

El programador es el corazón del sistema de control, establece todos los parámetros operacionales del horno de homogenizado, recibe señales de todos los controles, los analiza y ejecuta una operación acorde a la señal recibida. El conjunto programador consta de cuatro partes básicas que son: Sub base, chasis, amplificador y programador. La Sub base es el receptáculo en donde se aloja el conjunto programador, aquí se conectan todos los cables de los diferentes controles que emiten o reciben señales del programador. El chasis es el receptáculo donde se aloja el programador y el amplificador de señal. El programador es el cerebro de control del horno, es una microcomputadora en reemplazo a los programadores de levas electromecánicas y electrónicas. Esta computadora es programada para:

- a. Colocar el registro de aire de combustión en posición de fuego alto durante el arranque.
- b. Colocar el registro de entrada de aire de combustión y la válvula de control de volumen de combustible en posición de bajo fuego.
- c. Controlar la posición del registro de entrada de aire de combustión y la válvula de control.
- d. Provee una señal de entrada al control de seguridad de llama.
- e. Da un diagnóstico y genera un código de llama, para ayudar en el diagnóstico y condición del quemador que está siendo controlado.

El amplificador es el encargado de amplificar la señal de la foto celda, señal que actúa sobre un relé que sustenta la operación del programador, en caso de falta de llama en el horno suspende esta sustentación y el horno se apaga.

#### **1.17.1. Secuencias básicas del programador**

Un programador generalmente provee las siguientes secuencias de control en el quemador. La pre purga es realizada por el ventilador que envía aire a través de la cámara de combustión, por los pasos y las chimeneas, para eliminar cualquier mezcla explosiva de combustible. El tiempo de encendido del piloto, es el tiempo en el cual se suministra aire para producir la llama piloto. Se energiza el transformador de ignición generando la chispa para el piloto. El tiempo de encendido de la llama principal es el periodo de tiempo en el cual la válvula principal permanece abierta. El periodo de trabajo consiste en que la válvula principal este abierta y que el reloj del programador se detenga en posición de operación.

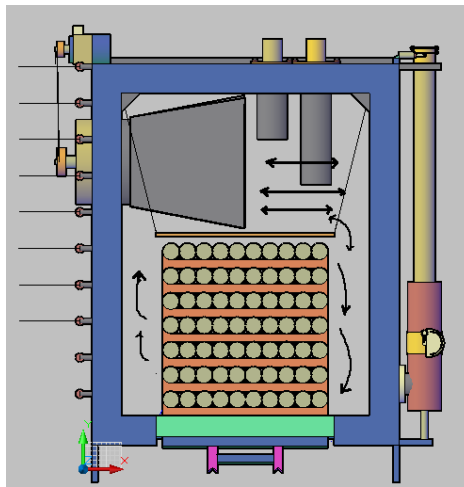
El programador mantiene esta posición hasta alcanzar la presión y la temperatura de trabajo. La Post purga está determinado por el tiempo que necesita el timer para ir a la posición final del ciclo. Cuando se cumple el ciclo completo el quemador queda en stand-by, en esta condición el Switch principal está cerrado, el terminal esta energizado, el transformador interno y el circuito electrónico de detección están energizados. En estas condiciones el horno está listo para ser encendido.

### **1.18. Sistema de circulación de aire**

El sistema de circulación de aire está presente al interior de un horno de homogenizado, para distribuir a distintas áreas internas del equipo térmico con la

circulación y la recirculación del aire caliente, ya que es dirigido hacia adelante y hacia atrás, por medio de ventiladores axiales reversibles, con el objetivo de alcanzar la temperaturas de 565 °C para la homogenización de los lingotes de aluminio. En la figura 1.13 se observa la circulación del aire.

**FIGURA 1.13. ESQUEMA DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE AIRE**

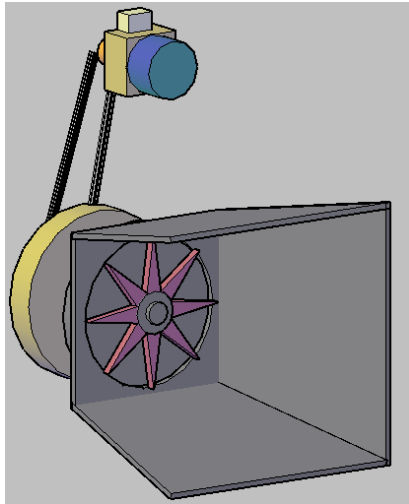


**Fuente:** Planos de la compañía ELECTROTHERM Ltd.

### 1.18.1. Motor eléctrico

El motor eléctrico es un elemento electromecánico que se encarga de proporcionar energía mecánica gracias a la ayuda de la energía eléctrica por medio de un campo magnético que se genera en el interior del estator. Este motor eléctrico está acoplado a un ventilador en su polea, para dar la circulación de aire a través de un ducto que está al lado de los quemadores industriales. En la figura 1.14 se observa un motor eléctrico.

**FIGURA 1.14. MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR**



**Fuente:** North American Company

### **1.18.2. Ventilador**

Es un elemento mecánico impulsado por el motor eléctrico para brindar un caudal de flujo de aire en base a las revoluciones del motor y el área de barrido del ventilador.

## **1.19. Termocuplas**

Una Termocupla es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, denominado efecto seebeck este efecto crea una diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado punto caliente o de medida y el otro denominado punto frío de referencia.

### **1.19.1. Termocuplas tipo K**

El 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J o del tipo K. La termocupla tipo K cuenta con varias aplicaciones. Tienen un rango de temperatura de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+1372^{\circ}\text{C}$  y posee una buena resistencia a la oxidación. La termocupla debe estar instalada en el área de mayor concentración calorífica para que pueda censar el calor producido por equipos térmicos.

## **1.20. Sistema de salida de los gases**

El sistema de salida de los gases emitidos por la combustión, son expulsados por las chimeneas de un equipo térmico. Este sistema permite el paso y la salida del CO, para impedir que los gases quemados se acumulen en el interior.

### **1.20.1. Emanación de gases**

Consiste en desprender de los cuerpos las sustancias volátiles, como por ejemplo en los procesos de combustión al quemar combustibles fósiles, depende de la nocividad de estos combustibles y la cantidad de emisión de gases, el efecto que cause en el medio ambiente.

### **1.20.2. La contaminación ambiental**

La contaminación ambiental o polución se define como la presencia en el aire de materias extrañas o dañinas, o un aumento perjudicial de las que normalmente están presentes, originada por las actividades industriales y por las necesidades derivadas del desarrollo de la vida moderna (Centrales térmicas y refinerías).

Estos elementos extraños se emiten en forma de minúsculas partículas sólidas o bien como gases, mucho más peligrosos dada su larga permanencia en la atmosfera o su participación en la destrucción de la capa de ozono y en el calentamiento de la Tierra mediante el efecto invernadero. En Ecuador los valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, de acuerdo al municipio del distrito metropolitano de Quito, se muestran en la tabla 1.17.

**TABLA 1.17. VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN**

Contaminante emitido	Combustible utilizado	Unidades	Valores máximos
Partículas por millón (ppm)	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	150
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Óxidos de nitrógeno	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	900
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	700
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	500
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	140
Dióxido de azufre	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	No aplicable
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Monóxido de carbono	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	1800
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	300
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	250
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	100

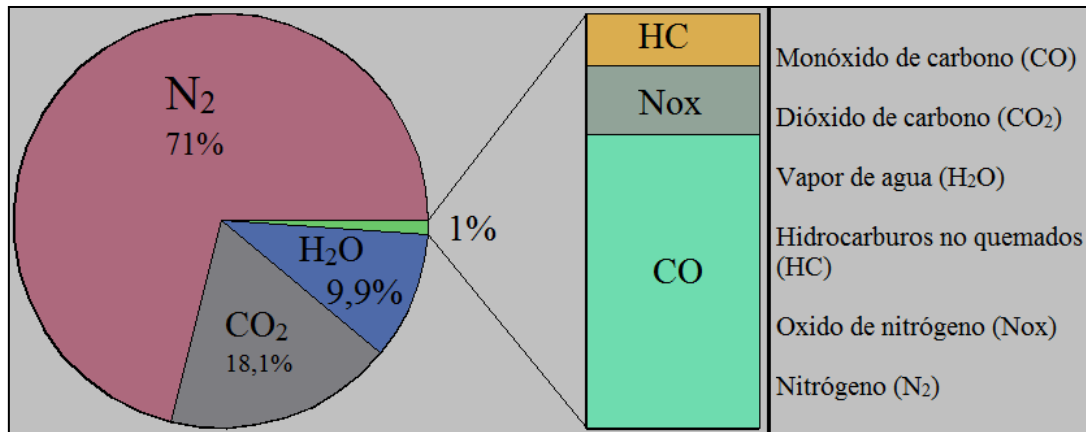
**Fuente:** [http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas\\_tecnicas.pdf](http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 1.20.3. Composición de los gases de combustión

En una combustión se encuentra la emanación de gases que se indican en la figura 1.15, los cuales se producen de acuerdo a la relación aire combustible.

**FIGURA 1.15. COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**



**Fuente:** [http://www.halinco.de/html/proy-es/con\\_1-ejemplo/mdc1xi1/paginas/Seite\\_3.htm](http://www.halinco.de/html/proy-es/con_1-ejemplo/mdc1xi1/paginas/Seite_3.htm)

**a) Monóxido de carbono (CO)**

La emisión de CO solamente es posible cuando existe combustión. Se forma cuando no hay suficiente O<sub>2</sub> presente durante la combustión para convertir todo el carbono en el combustible a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**b) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Se produce cuando se realiza la combustión. La mayor cantidad de CO<sub>2</sub> nos estará indicando que la combustión es eficiente.

**c) Vapor de agua**

El hidrógeno contenido en el combustible se une con oxígeno para formar agua, dependiendo de la temperatura de los gases de combustión, luego aparece conjuntamente con el agua del combustible y el aire de la combustión o como humedad de los gases de combustión, es inodoro e incoloro.

**d) Hidrocarburos no quemados en los gases de combustión (HC)**

Son compuestos constituidos en su mayoría por largas cadenas químicas de hidrógeno y carbono producto de la combustión incompleta de combustibles. Se trata del combustible que sale del quemador sin quemar, puede ser cualquier hidrocarburo, depende del combustible usado para quemar. La unidad de medida es ppm (partes por millón) de hidrocarburos en gases, se utiliza el ppm porque la concentración de hidrocarburos en el gas de escape es muy pequeña. El valor normal está comprendido entre 100 y 400 ppm. Una indicación alta de hidrocarburos indica:

- Mezcla rica (exceso de combustible), en este caso el monóxido de carbono también da un valor alto.
- Mala combustión de mezcla pobre, por alguna razón no alcanza a quemarse todo el combustible.

**e) Óxidos de nitrógeno**

Son producidos por combustión a elevadas temperaturas. Puede incrementar la susceptibilidad a las infecciones virulentas como la gripe, irrita los pulmones y causa bronquitis y neumonía. En unión con el  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre, formado por combustión de combustibles con contenido de azufre), provocan lluvia ácida con daños a bosques, sistemas acuáticos, agricultura u obras civiles.

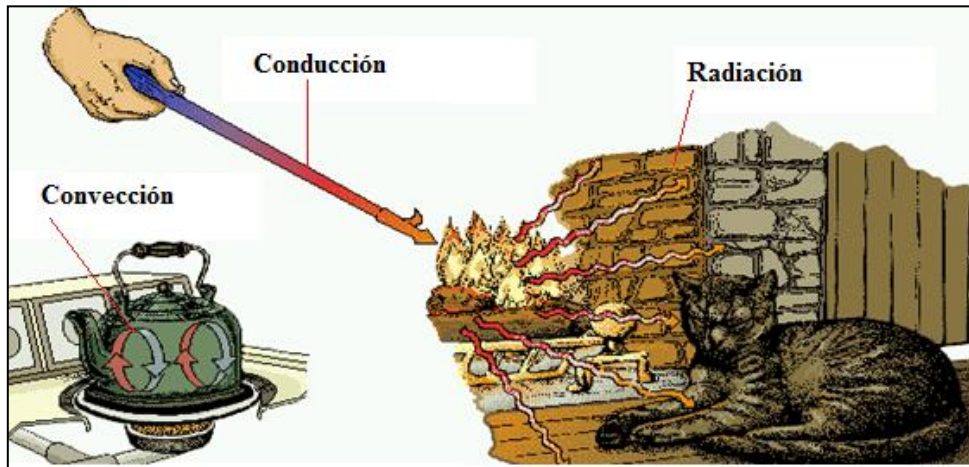
## **1.21. Transferencia de calor en un horno de homogenización**

En un horno se presentan los tres tipos más comunes de transferencia de calor como la conducción que se presenta en el contacto entre los lingotes, la convección por medio del flujo del aire caliente en el interior del horno y la radiación se produce por las ondas electromagnéticas de la llama de los quemadores.

### 1.21.1. Transferencia de calor

Es una ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica. Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. En la figura 1.16, se muestra ejemplos de los tres tipos de transferencia de calor.

**FIGURA 1.16. TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/transf-calor/transf-calor.shtml>

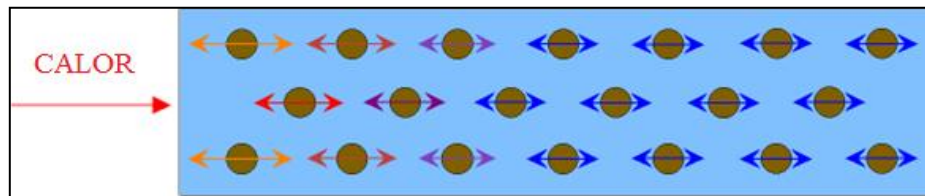
### 1.21.2. Mecanismos de transmisión de calor

Entre los mecanismos de transferencia de calor se describen a continuación los principales.

### 1.21.2.1. Conducción

Es la transferencia de energía desde cada porción de materia a la materia adyacente por contacto directo, sin intercambio, mezcla o flujo de cualquier material. La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos cuando en tales medios existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura debido al contacto directo entre moléculas, como se observa en la figura 1.17.

**FIGURA 1.17. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.**



**Fuente:** <http://www.gcsescience.com/pen5.htm>

#### a) Conductividad y resistividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. Es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en  $W/m \cdot ^\circ K$ . La conductividad térmica es una magnitud intensiva. Su magnitud inversa es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor y se mide en  $m^2 \circ K/W$ . Para calcular la conductividad o resistividad térmica de un material se utilizan las siguientes ecuaciones 3 y 4 obtenidas de la dirección:

[www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=transmision%20de%20calor%20powerpoint](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=transmision%20de%20calor%20powerpoint).

$$K = \frac{L}{R} \quad \text{Ec.3}$$

$$R = \frac{L}{k} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

L= Es el espesor del material.

R= La resistencia térmica.

K= La conductividad térmica.

### b) Ley de Fourier

Predice como se conduce el calor a través de un medio, partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura, CENGEL, Yunus. (2004) establece la siguiente fórmula.

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

Q = Flujo de calor (W,BTU/h,Cal/h)

K= Es la constante de conductividad térmica (W/m°C, BTU/h.pie°F)

A= es el área perpendicular a la dirección del flujo de calor. (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dx}$  =Variación de la temperatura en la dirección indicada por X (grados/ m)

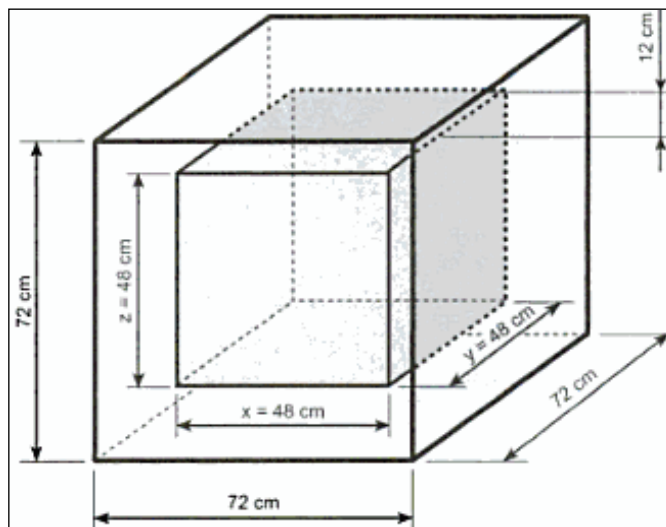
### c) Factor de forma (S)

Es un método gráfico que utiliza los factores de forma para la conducción al considerarse un problema de flujo de calor multidimensional entre superficies las cuales se consideran a temperatura uniforme, así por ejemplo, en el caso de un horno de forma paralelepípedica con grosor constante de la pared, MIRANDA, A. y SAINERO, S. (2002), establece el factor de forma con la siguiente fórmula.

$$S = \frac{2(xy+xz+yz)}{w} + 2,16(x+y+z) + 1,2w \quad \text{Ec.6}$$

Siendo  $x$ ,  $y$ ,  $z$  las dimensiones del paralelepípedo interior y  $w$  el grosor constante de la pared. El método se ilustra con el siguiente ejemplo: Determinar el factor de forma de un horno que tiene forma cúbica con un espacio también cúbico en su interior y una separación constante entre superficies paralelas. Las dimensiones se indican en la figura 1.18.

**FIGURA 1.18. DIMENSIONES DE UN HORNO DE FORMA PARALELEPIPÉDICA**



**Fuente:** MIRANDA, Ángel y SAINERO, Sergio. Métodos numéricos aplicados a la transmisión de calor.

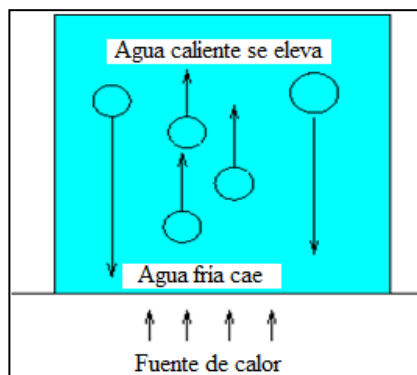
Solución:

$$S = \frac{2(0,48m * 0,48m * 3)}{0,12m} + 2,16(0,48m * 3) + 1,2 * 0,12m = 14,77m$$

### 1.21.2.2. Convección

Es transferencia de energía mediante la mezcla íntima de distintas partes del material. Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si una capa de material más fría y más densa se encuentra encima del material caliente, entonces el material caliente asciende a través del material frío hasta la superficie, como se observa en la figura 1.19. Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección.

**FIGURA 1.19. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN**



**Fuente:** [http://theory.uwinnipeg.ca/mod\\_tech/node76.html](http://theory.uwinnipeg.ca/mod_tech/node76.html)

CENGEL, Yunus. (2004) establece la siguiente fórmula.

$$Q = hA (T_p - T_\infty) \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

$Q$  = Flujo de calor (W, BTU/h.)

$h$  = Coeficiente de convectividad (BTU/h.pie<sup>2</sup>°F, W/m<sup>2</sup>°K)

$A$  = Área de la superficie (pie<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>)

$T_P$  = Temperatura de la placa o superficie

$T_\infty$  = Temperatura de Fluido (°F, °K, °C, °R.)

#### **a) Convección Natural**

En convección natural el flujo resulta solamente de la diferencia de temperaturas del fluido en la presencia de una fuerza gravitacional. La densidad de un fluido disminuye con el incremento de temperatura. Algunos ejemplos de transferencia de calor por convección natural son: el enfriamiento de café en una tasa, transferencia de calor de un calefactor del cuerpo humano cuando una persona está en descanso.

#### **b) Convección Forzada**

Tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie que se encuentra a una temperatura mayor o menor que la del fluido. Esta fuerza motriz exterior puede ser un ventilador, una bomba, el viento, entre otros.

#### **1.21.2.3. Radiación**

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (fotones) como resultado de los cambios en sus configuraciones electrónicas a nivel atómico. La radiación se puede dar en el vacío no así la conducción ni la convección.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. En transferencia de calor se va a dar la radiación térmica que es emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos con temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica. Se puede cuantificar la energía máxima emitida por un cuerpo, CENGEL, Yunus. (2004) establece la siguiente fórmula.

$$Q_{\text{maxima emitida}} = \sigma A_s T_s^4 \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

$Q_{\text{máxima emitida}}$  =Energía máxima emitida (W).

$\sigma$  = Constante de Stefan – Boltzman =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$ .

$A_s$  = Área de superficie ( $\text{m}^2$ ,  $\text{pie}^2$ ).

$T_s$  = Temperatura absoluta ( $\text{°C}$ ,  $\text{°K}$ ,  $\text{°F}$ ,  $\text{°K}$ ).

El calor máximo emitido se da cuando un cuerpo es considerado como “cuerpo negro”, que es, aquel que emite la misma cantidad de energía que absorbe (ideal). La radiación emitida por las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro, CENGEL, Yunus. (2004) establece la siguiente fórmula.

$$Q_{\text{emitida}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

$Q_{\text{emitida}}$  = Energía emitida (W).

$\epsilon$  =Emisividad de la superficie.

## 1.22. Poder calorífico

Es la cantidad de energía que la unidad de masa que puede desprender al producir una reacción química de oxidación, PIÓRISHKIN, A. y RÓDINA, N. (1986), determinan la siguiente ecuación.

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

E = poder calorífico

m = Masa

c= Calor específico

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre combustible y el comburente en la tabla 1.18 se observa el poder calorífico de algunos combustibles.

**TABLA 1.18. PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES**

<b>Producto</b>	<b>Calor de combustión kj / kg</b>
Búnker	41 282-41 900
Diesel	42 600-43 200 (132 000 BTU/galón)
Keroseno	43 100-43 200
Gasolinas	43 500 -47 700
Gas Licuado de Petróleo (LPG)	46 000- 50 000

**Fuente:** <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=diesel%20poder%20calorifico&source>

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 1.23. Calor específico y capacidad calorífica

El calor específico es una propiedad intensiva, en tanto que la capacidad calorífica es una propiedad extensiva. PIÓRISHKIN, A. y RÓDINA, N. (1986), determinan la siguiente ecuación.

$$C = m \cdot s \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

C = es la capacidad calorífica,

m = es la masa de la sustancia en gramos,

s = el calor específico.

En la tabla 1.19, se muestra la capacidad calorífica de algunas sustancias.

**TABLA 1.19. CAPACIDAD CALORÍFICA DE ALGUNAS SUSTANCIAS**

<b>Elemento</b>	<b>Capacidad calorífica J/kg. °C</b>	<b>Elemento</b>	<b>Capacidad calorífica J/kg. °C</b>
Aluminio	920	Hierro	460
Cobre	380	Zinc	380
Oro	130	Alcohol	2500
Acero	500	Agua	4200

**Fuente:** PIÓRISHKIN, A. y RÓDINA, N. Física 1, Editorial Mir Moscú, Rusia, 1986.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### **1.23.1. Cálculo de la cantidad de calor, comunicado al cuerpo al calentarlo o que éste cede al enfriarse.**

Para calcular la cantidad de calor hay que conocer el calor específico de la sustancia con la que está hecho el cuerpo, la masa de éste y la diferencia entre su temperatura final e inicial. Así, pues, para calcular la cantidad de calor necesaria para calentar un cuerpo, hay que multiplicar el calor específico por la masa del cuerpo y por la diferencia entre sus temperaturas final e inicial. PIÓRISHKIN, A. y RÓDINA, N. (1986), determinan la siguiente ecuación.

$$Q = c. m. \Delta t$$
$$Q = c. m. (t_2 - t_1) \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

Q = cantidad de calor,

c = calor específico de la sustancia,

m = masa del cuerpo,

$\Delta t$  = Incremento de temperatura,

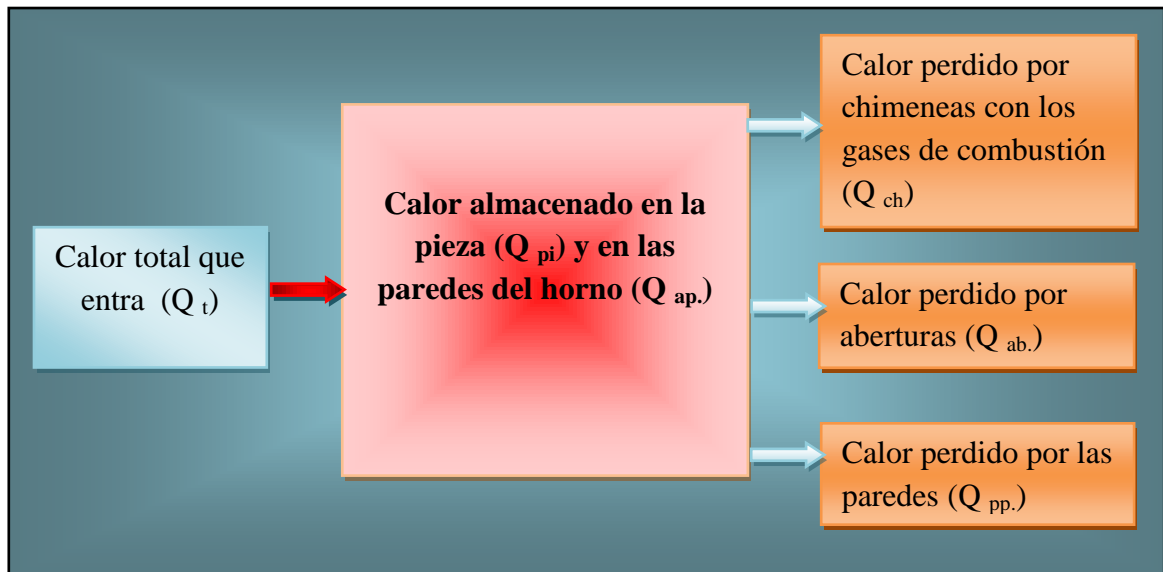
$t_1$  y  $t_2$  = temperatura inicial y final del cuerpo.

### **1.24. Cálculo de las necesidades de energía en un horno de homogenización**

Se parte de un balance de energía en el que se establece que la cantidad de calor que entra al horno es igual a la cantidad de calor que sale más la que se acumula como se indica en la figura 1.20. Tomando en cuenta esto, se seleccionan los elementos que de alguna manera pueden ganar calor o por los cuales éste puede fugarse o perderse.

Estos elementos son: El producto o pieza a tratar, las paredes del horno y las aberturas.

**FIGURA 1.20. BALANCE DE CALOR PARA UN HORNO DE HOMOGENIZADO**



**Fuente:** <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/viewFile/375/385>

Las siguientes ecuaciones fueron obtenidas de la dirección electrónica:

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/viewFile/375/385>

#### **1.24.1. Pérdidas de calor en un horno de homogenización**

Para calcular las pérdidas de calor en un horno de homogenizado de lingotes de aluminio de aleación 6063 se utiliza los siguientes parámetros de cálculo de energía calorífica.

#### 1.24.1.1. Calor total de entrada en el horno ( $Q_{\text{entrada}}$ )

Se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{entrada}} = C_{\text{poder calorifico del combustible (diesel)}} * \#_{\text{galones por hora (diesel en gph)}} \quad \text{Ec.13}$$

#### 1.24.1.2. Calor ganado por el producto ( $Q_{\text{pi}}$ )

El calor ganado por la pieza se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{pi}} = m \cdot C_{\text{p}_{\text{pi}}} \Delta T \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$Q_{\text{pi}}$  = calor que gana la pieza que se somete al tratamiento (KJ)

$m$  = masa total de la pieza (Kg)

$C_{\text{p}_{\text{pi}}}$  = calor específico del material del que está hecha la pieza (KJ/kg. °C)

$\Delta T$  = Incremento de temperatura, entre la temperatura a la que entra la pieza al horno y la temperatura máxima que alcanza (°C).

#### 1.24.1.3. Calor almacenado en las paredes del horno ( $Q_{\text{ap}}$ )

Se calcula en base a la masa de la cual está compuesta la pared con la siguiente fórmula.

$$Q_{\text{ap}} = m \cdot C_{\text{p}_{\text{ap}}} \Delta T \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

$Q_{\text{ap}}$  = calor almacenado en las paredes del horno (KJ)

$m$  = masa de las paredes del horno (Kg)

$C_{p_{ap}}$  = calor específico del material del que está compuesta la pared del horno (KJ/kg.°C).

$\Delta T$  = diferencia entre las temperaturas media de las paredes y la temperatura ambiente (°C).

#### 1.24.1.4. Calor perdido por las paredes del horno ( $Q_{pp}$ )

Para determinar el calor perdido por las paredes de un horno de homogenizado se utiliza la siguiente fórmula.

$$Q_{pp} = K \cdot S \cdot \Delta T \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$Q_{pp}$  = calor que se pierde a través de las paredes (W)

$K$  = conductividad térmica promedio del material del que está compuesta la pared (W/m. °C)

$S$  = factor de forma tomando en cuenta las aristas, las esquinas y las paredes (m)

$\Delta T$  = diferencia de las temperaturas de la superficie interior y exterior del horno (°C).

#### 1.24.1.5. Pérdidas por radiación en aberturas ( $Q_{ab}$ )

Las pérdidas por radiación en las aberturas en un horno de homogenizado se calculan con la siguiente ecuación.

$$Q_{ab} = Q_r * (AET) \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

$Q_{ab}$  = Calor que se pierde por radiación a través de las aberturas que existen en el horno (KJ/hrs.)

$AET$  = área total efectiva por la cual se pierde calor (m<sup>2</sup>).

$Q_r$  = calor radiado (KJ/hr.m<sup>2</sup>)

El calor radiado se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q_r = \sigma \cdot (T_g^4 - T_a^4) \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$

$T_g$  = temperatura de los gases dentro del horno

$T_a$  = temperatura ambiente.

#### **1.24.1.6. Calor de pérdidas en un horno de homogenizado ( $Q_{\text{pérdidas}}$ )**

Para el cálculo de pérdidas de energía calorífica en un horno de homogenización se plantea la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{pérdidas}} = Q_t - Q_d \quad \text{Ec.19}$$

$$Q_d = Q_{\text{pi}} + Q_{\text{ap}} + Q_{\text{pp}} + Q_{\text{ab}} \quad \text{Ec.20}$$

Donde:

$Q_{\text{pérdidas}}$  = Poder calorífico de pérdidas (BTU/h)

$Q_t$  = Calor que entra al horno (BTU/h)

$Q_d$  = calor disponible, es decir, la suma del calor absorbido y perdido por los elementos que componen al horno (BTU/h).

## **CAPITULO II**

### **PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **2.1. Reseña histórica de la empresa CEDAL S.A.**

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A, es una compañía ecuatoriana dedicada a la producción y comercialización de perfiles y otros productos extruidos del aluminio para uso arquitectónico y estructural, comenzó sus actividades productivas en el año de 1976 y hoy en día es el líder en la producción y distribución de perfilería de aluminio en nuestro país, con más de 40 distribuidores exclusivos en el Ecuador. La fábrica de producción de la empresa se encuentra ubicada en el cantón Latacunga provincia de Cotopaxi en el sector Sigsicalle sur, frente a las oficinas del ministerio del trabajador. Desde el año 1979 mantiene una sólida presencia comercial en el vecino país de Colombia a través de su compañía afiliada VITRAL. En el año 2006, CEDAL inicia su proceso de diseño e innovación a través del desarrollo de nuevos productos como es su línea evolución, la misma que está conformada por mamparas, puertas batientes y la puerta corrediza múltiplex.

Actualmente CEDAL es ampliamente reconocida en el mercado nacional y extranjero por la calidad de sus productos, la confiabilidad e integridad de la empresa y su valiosa contribución al desarrollo de la industria del aluminio y la construcción.

## **2.2. Visión**

La compañía tiene como visión ser una empresa referente en la producción y comercialización de extrusiones de aluminio, productos y servicios complementarios, con sólida presencia internacional, reconocida por la excelencia de sus colaboradores y la calidad en su servicio.

## **2.3. Misión**

Por otro lado su misión manifiesta que es una empresa líder en la producción y comercialización de extrusiones de aluminio, que buscan el crecimiento y desarrollo de sus clientes, colaboradores y accionistas, enmarcados en el cumplimiento de las leyes, aportes a la comunidad y cuidado del medio ambiente.

## **2.4. Objetivos institucionales**

- a. Valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo.
- b. Actuar siempre con integridad.
- c. Buscar la satisfacción de los clientes.
- d. Procurar la excelencia en toda actividad.
- e. Participar proactivamente y agregando valor en el desarrollo de la empresa, la comunidad y el país.
- f. Tener visión y compromiso de largo plazo.

**2.5. Análisis e interpretación de los resultados de las entrevistas aplicadas a los jefes de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.**

Entrevista dirigida al Ing. Hernán Navas jefe de planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

**Pregunta 1. ¿Cree usted necesario optimizar el proceso de homogenización?, ¿Por qué?**

Si, para mejorar la productividad en extrusión.

**Pregunta 2. ¿Qué opina sobre la combustión que existe en el horno de homogenización?**

Es deficiente porque se usa diesel el cual no es de buena calidad a diferencia del gas que se considera con mayor poder calorífico.

**Pregunta 3. ¿Qué efecto tendría una mala homogenización de los lingotes de aluminio en el proceso de extrusión?**

Baja velocidad, estructura metalográfica no uniforme y los elementos  $\alpha$  y  $\beta$  distorsionados con respecto al principio metalúrgico del aluminio.

**Pregunta 4. ¿Qué importancia tendría para la empresa CEDAL S.A. mejorar la eficiencia del horno de homogenización?**

Es de alta importancia porque permitiría tener un lingote de calidad aceptable al 99%.

**Pregunta 5. ¿Qué opinión tiene usted acerca de realizar un estudio para optimizar el funcionamiento del horno de homogenización y los beneficios que este pudiera proporcionar a la empresa?**

Es un tema relevante para la empresa por cuanto mejora la calidad del producto terminado y hasta podría aportar con resultados muy aceptables para empresas compradoras.

**Pregunta 6. ¿Considera usted que existan fugas en el horno de homogenizado durante el proceso de homogenización?**

Sí, porque los sellos de las puertas y los del coche contenedor tienen defecto de diseño.

**Pregunta 7. ¿Qué considera usted necesario para mejorar el sellado hermético del horno?**

Mejorar el diseño de los sellos mediante un material de cierre hermético que posea un periodo de duración definido.

**Pregunta 8. ¿Usted como jefe de planta que análisis sugeriría para optimizar el funcionamiento del horno de homogenización?**

Diagrama causa-efecto o mediante un análisis de fallas o un árbol de problemas.

**Pregunta 9. ¿Qué tipo de mantenimiento se efectúa sobre el horno de homogenización y en que aéreas específicas?**

Mantenimiento preventivo-correctivo en áreas de los quemadores y sensores, en periodos semanales un día a la semana.

**Conclusión:** La homogenización es importante porque facilita el posterior proceso de extrusión, permitiendo producir materiales de buena calidad, para ello el horno de homogenización debe encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento, caso contrario se vería afectada la productividad, entre los factores que disminuyen el rendimiento del equipo térmico antes mencionado se encuentra una combustión deficiente producto de una mala mezcla aire-combustible, además las fugas de calor por sellos defectuosos constituyen una pérdida energética considerable.

## **2.6. Análisis e interpretación de los resultados de las encuestas aplicadas a los trabajadores y jefes de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.**

En el desarrollo del presente trabajo investigativo se utilizó la estadística descriptiva, ya que facilita la descripción y la interpretación respectiva de las encuestas aplicadas a los trabajadores de la empresa CEDAL S.A. La población encuestada corresponde al 33% de un total de 51 trabajadores.

**Pregunta 1. ¿Cree usted que el mal funcionamiento del horno de homogenización de lingotes de aluminio se deba a problemas técnicos y térmicos?**

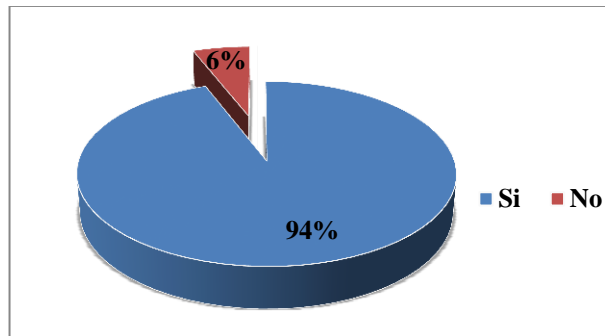
**TABLA No. 2.1**

Opción	F	%
Si	16	94.11
No	1	5.88
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.1**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Casi en su totalidad los encuestados evidencian el mal funcionamiento del equipo térmico debido probablemente a problemas técnicos que impiden un funcionamiento eficiente por parte de dicho equipo.

**Pregunta 2. ¿Conoce usted el proceso de homogenización y para Qué sirve?**

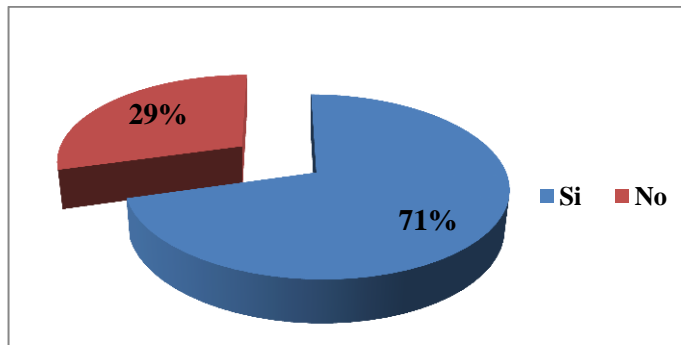
**TABLA No. 2.2**

Opción	f	%
Si	12	70.58
No	5	29.41
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.2**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Conocer el proceso de homogenización y su importancia es indispensable dentro de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A, donde la mayoría del personal operativo de dicha planta posee un amplio conocimiento sobre el tema.

**Pregunta 3. ¿Qué problemas puede ocasionar una mala homogenización en los lingotes de aluminio en el proceso de extrusión?**

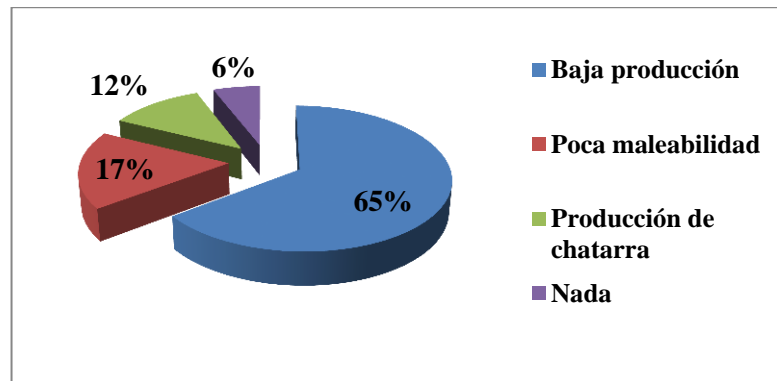
**TABLA No. 2.3**

Opción	f	%
Baja producción	11	64.70
Poca maleabilidad	3	17.64
Producción de chatarra	2	11.76
Nada	1	5.88
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>99.99</b>

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.3**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** La homogenización de lingotes de aluminio es un proceso importante previo a la extrusión ya que permite mejorar propiedades como la maleabilidad que consiste en que el material pueda ser moldeado con facilidad, al momento de producir los perfiles de aluminio, en cambio una mala homogenización afectaría por ejemplo esta propiedad impidiendo que el material pueda ser extruido, convirtiéndose este en chatarra y disminuyendo por ende la producción.

**Pregunta 4. ¿En qué condiciones considera usted que el horno de homogenización está trabajando?**

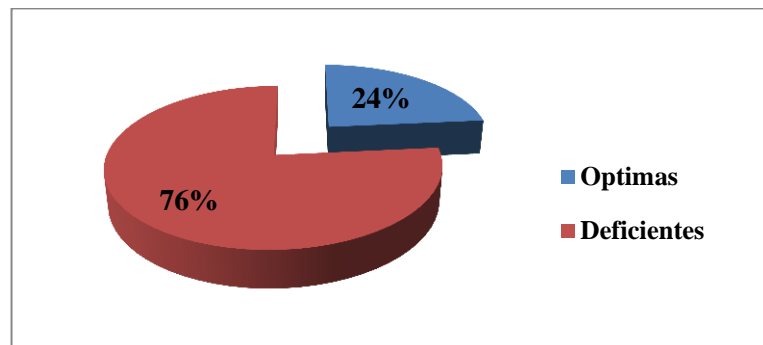
**TABLA No. 2.4**

Opción	f	%
Óptimas	4	23.52
Deficiente	13	76.47
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.4**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Diversos factores evidencian un mal funcionamiento del horno de homogenización como por ejemplo las visibles fugas de calor en los sellos y la emanación de gases contaminantes, todo esto provoca que el equipo térmico trabaje deficientemente como lo indica la mayoría del personal operativo de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

**Pregunta 5. ¿Considera usted que la empresa CEDAL S.A, pueda sufrir pérdidas económicas si se alarga el tiempo en el proceso de homogenización?**

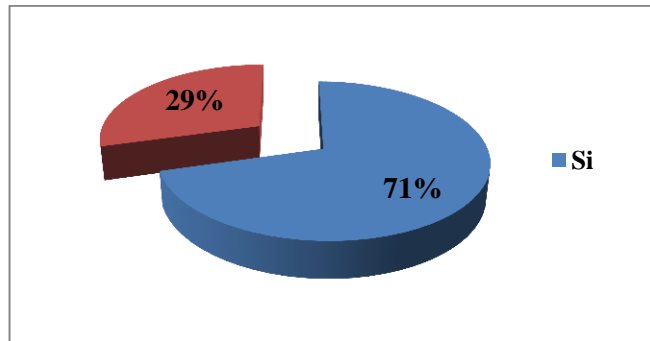
**TABLA No. 2.5**

Opción	f	%
Si	12	70.58
No	5	29.41
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.5**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Las evidentes fugas de calor en el horno de homogenización impiden aprovechar todo el calor generado por los quemadores, provocando un mayor consumo de combustible para recompensar estas pérdidas además el proceso de homogenización se ve afectado en el factor tiempo al no alcanzar de manera rápida la temperatura necesaria, todo esto converge en un mayor consumo de recursos energéticos lo que induce pérdidas económicas a la empresa, como lo evidencia la mayoría de los encuestados.

**Pregunta 6. ¿Piensa usted que el horno de homogenización cuenta con una buena combustión, para alcanzar temperaturas necesarias para su periodo de tratamiento térmico?**

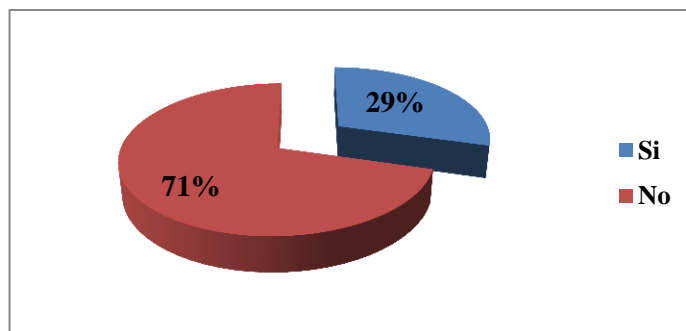
**TABLA No. 2.6**

Opción	F	%
Si	5	29.41
No	12	70.58
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>99.99</b>

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.6**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Los trabajadores y jefes de la planta de fundición establecen que si existe una mala combustión de los quemadores que conforma el equipo térmico y que por lo tanto no genera el poder calorífico necesario para realizar el proceso de homogenización de lingotes de aluminio en menor tiempo.

**Pregunta 7. ¿En qué condiciones considera usted que los sellos térmicos del horno de homogenización se encuentran actualmente?**

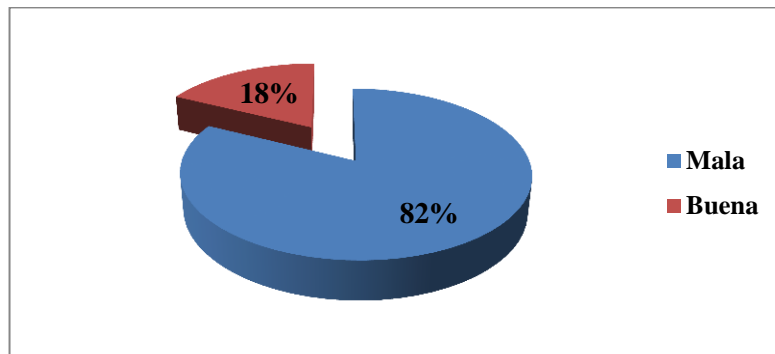
**TABLA No. 2.7**

Opción	f	%
Mala	14	82.35
Buena	3	17.64
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.7**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Según la encuesta establece que los sellos térmicos de kevlar, se encuentran en mal estado provocando fugas y pérdidas de calor en el horno de homogenización por lo que es necesario un cambio inmediato de este material.

**Pregunta 8. ¿En caso de que los quemadores no estén funcionando eficientemente, Considera usted necesario analizar la calibración de sus válvulas de aire y combustible?**

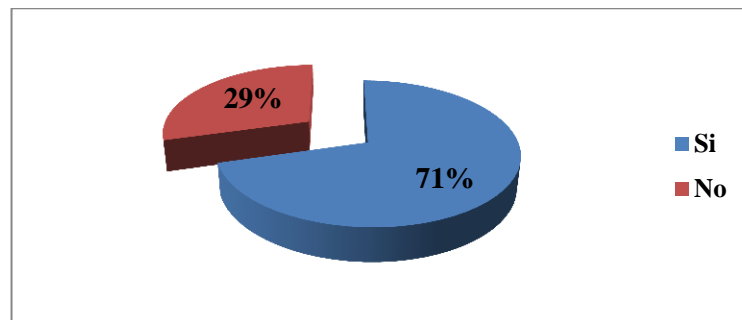
**TABLA No. 2.8**

Opción	f	%
Si	12	70.58
No	5	29.41
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2. 8**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** Según los datos obtenidos revelan que es necesario analizar la situación de combustión ya que las válvulas están trabajando fuera de su rango de proporción tanto la de aire como de diesel, por lo cual existen inconvenientes en el proceso.

**Pregunta 9. ¿Qué consecuencias provoca una regulación deficiente en las válvulas de diesel y aire?**

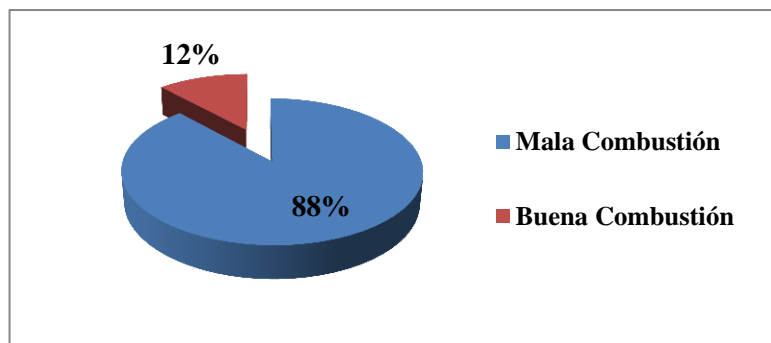
**TABLA No. 2.9**

Opción	f	%
Mala combustión	15	88.23
Buena combustión	2	11.76
TOTAL	17	99.99

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.9**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** La encuesta revela que la mayoría de los trabajadores de la planta de fundición establece que existe una deficiente combustión por lo cual genera contaminación, sobrepasando los niveles de emanación de los gases establecido por el distrito metropolitano de medio ambiente de Quito.

**Pregunta 10. ¿Cree usted que al determinar las soluciones para mejorar y optimizar el proceso de homogenización, se deba corregir inmediatamente por parte de la empresa CEDAL S.A.?**

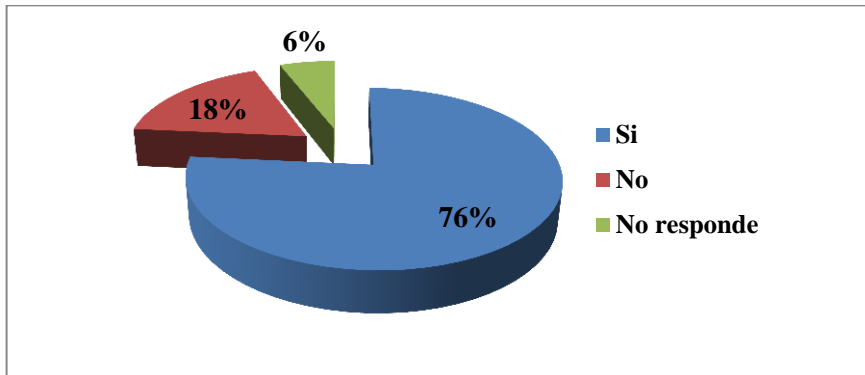
**TABLA No. 2.10**

Opción	f	%
Si	13	76.47
No	3	17.64
No responde	1	5.88
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>99.99</b>

**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**GRÁFICO No. 2.10**



**Fuente:** Encuesta extendida al personal administrativo y operativo.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**a. Interpretación:** La pregunta realizada por la encuesta manifiesta que si es necesario aplicar las soluciones con una propuesta clara y en verdad segura para mejorar y optimizar el proceso de homogenización.

**Conclusión:** Existen diferentes factores que afectan el rendimiento del horno de homogenización dentro de los cuales el más preocupante es la combustión deficiente ya que esta provoca una mayor emanación de gases contaminantes como por ejemplo el monóxido de carbono (CO) hacia el medio ambiente, esto se debe a una combinación en proporciones inadecuadas entre el elemento aire y el combustible producto de una mala regulación en las válvulas que controlan la circulación de estos fluidos, por lo cual es importante analizar y encontrar la regulación más adecuada para dichas válvulas.

## **2.7. Comprobación de la Hipótesis.**

La optimización del horno de homogenización de lingotes de aluminio para la planta de fundición de la empresa (CEDAL S.A. - Latacunga), permitirá mejorar la eficiencia del proceso de homogenización.

Mediante la aplicación de la encuesta se obtuvo la principal información para conocer la situación real del proceso de homogenización y del funcionamiento actual del horno, el tema planteado por el grupo de investigación se ha desarrollado de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes del equipo térmico y al diagnóstico revelado por los jefes y el personal operativo de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A, con el propósito de proponer acciones puntuales de optimización para mejorar la eficiencia del horno de homogenizado ya que la mayoría del personal que trabaja con dicho horno ha expuesto que existen deficiencias en el equipo durante el proceso que este realiza, tales como un mayor consumo de tiempo, fugas de calor y mala combustión que representa para la empresa pérdidas económicas siendo imperativo realizar un análisis para determinar los factores que impiden un

rendimiento eficiente del equipo y encontrar soluciones que puedan implementarse de manera inmediata por parte de la empresa.

Entre las principales mejoras del proceso de homogenización es disminuir los niveles de monóxido de carbono al optimizar la combustión en los quemadores mediante una regulación adecuada en las válvulas de diesel y aire para reducir las pérdidas de calor por fugas en los sellos del horno.

## **2.8. Decisión**

Por las conclusiones que se han llegado a determinar, al graficar, interpretar y analizar los resultados obtenidos en la entrevista y la encuesta se acepta la hipótesis presentada en el anteproyecto de este trabajo investigativo.

## **CAPITULO III**

### **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN**

#### **3.1. Introducción**

El horno de homogenizado de la empresa CEDAL S.A, utiliza seis quemadores dual-fuel de la empresa North American Company para producir el poder calorífico necesario que permita elevar la temperatura en su interior y con ello conseguir el fenómeno de la difusión de átomos en la microestructura de cada lingote de aluminio realizando así la homogenización, durante este proceso los quemadores producen una llama mediante la combustión entre el diesel y el aire, cuyas proporciones adecuadas y acorde a la capacidad de cada quemador, se encuentran establecidas por los fabricantes del equipo térmico, lo que permite realizar una comparación entre un consumo actual de diesel y aire del horno de homogenizado y un consumo ideal.

Que revele los valores estequiométricos de combustión más eficientes para el horno de acuerdo a la capacidad de sus válvulas sensitrol (controlan el flujo de diesel) y válvulas mariposa (controlan el flujo de aire). Para impedir las fugas de calor el horno de homogenizado realiza un sellado térmico mediante un material polímero instalado en los sellos llamado kevlar, el cual resiste elevadas temperaturas, permitiendo contener todo el calor generado por los quemadores en el interior del horno, teniendo como único escape para los gases calientes las chimeneas y un espacio mínimo que permite el ingreso del coche contenedor al interior del horno. De esta manera se puede calcular la cantidad de energía que pierde el horno por transferencia de calor.

### **3.2. Justificación**

El proceso de homogenización como cualquier etapa en una secuencia de procesos es importante para obtener un producto de calidad. En el caso de CEDAL S.A, la materia prima producida en la planta de fundición, tiene que ser de muy buena calidad y cumplir con los parámetros de extrusionabilidad para el proceso de extrusión, caso contrario, se afecta la productividad y calidad. A nivel mundial en todas las industrias del aluminio, el proceso de homogenización influye mucho en la calidad obtenida en el producto final, puesto que es en esta etapa en la que se consigue materia prima maleable lo que facilita el posterior proceso de extrusión. Por lo cual es imperativo analizar la eficiencia del funcionamiento del equipo que interviene durante este proceso. Un correcto funcionamiento del horno de homogenizado permite un consumo adecuado de combustible y tiempo, de acuerdo al planteado por los fabricantes. El presente proyecto es factible ya que cuenta con los recursos humanos, materiales, técnicos y financieros para el estudio y su implementación depende de los directivos de la empresa CEDAL S.A.

### **3.3. Objetivos de la propuesta**

- a. Determinar la válvula sensitrol correspondiente para el quemador secundario de la serie 6422-2, de acuerdo a las capacidades de flujo de combustible.
- b. Proponer una regulación en las válvulas de diesel y aire adecuadas acorde a las especificaciones de los fabricantes, que permita obtener una combustión eficiente.
- c. Encontrar la cantidad de pérdidas de calor en el horno de homogenizado por fugas en aberturas en los sellos y proponer la cantidad de material de sellado (kevlar) necesaria para suprimir dichas pérdidas.

### **3.4. Análisis de la situación actual del horno de homogenización**

Se analiza los datos como tiempo y temperaturas actuales que realiza el horno de homogenización para posteriormente compararlos con los datos registrados hace tres años cuando dicho equipo trabaja eficientemente y así revelar posibles deficiencias.

#### **3.4.1. Proceso de homogenización en la empresa CEDAL S.A.**

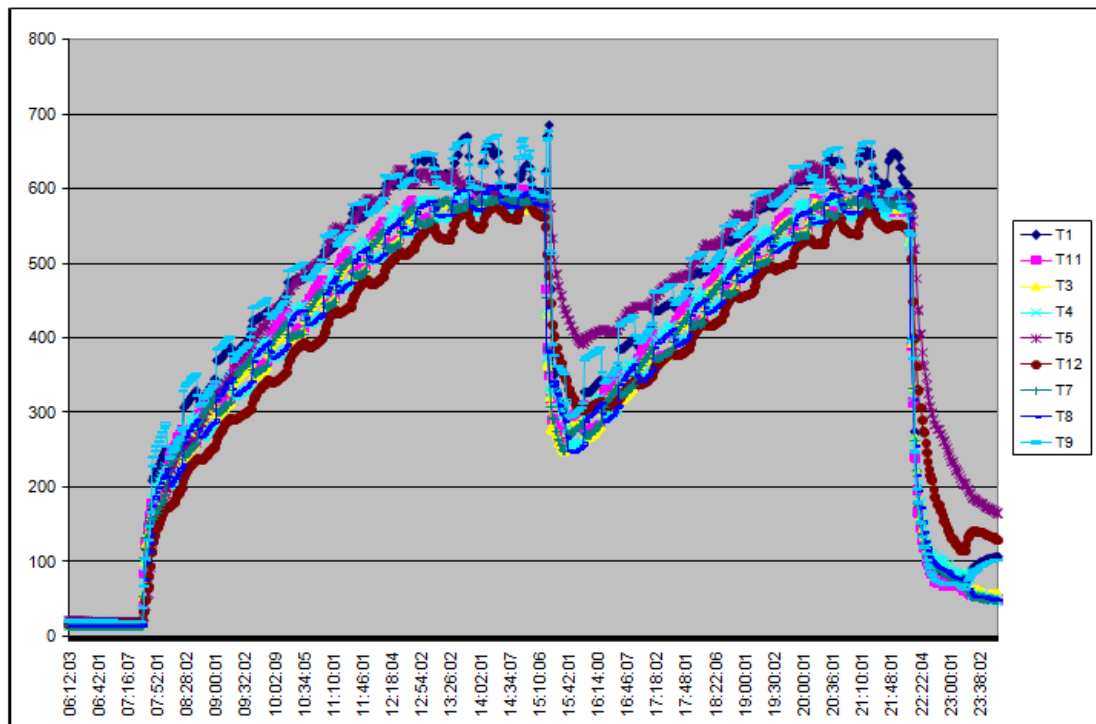
El proceso consiste en tratar térmicamente lingotes de aluminio de aleación 6063 en tres etapas: la primera consiste en el calentamiento hasta alcanzar los 560 °C en un tiempo de ocho horas, posteriormente la temperatura se mantiene estable por un periodo de dos horas.

Consiguiendo una redistribución de los elementos aleantes a niveles microscópicos y para terminar el tratamiento de homogenización la carga es sometida a un enfriamiento que dura aproximadamente cuatro horas.

### 3.4.2. Curva ideal del horno de homogenización

Se toma como curva ideal de homogenización las del año 2009, cuando el horno Electrotherm realizaba el proceso de homogenizado en menor tiempo aproximadamente 9 horas en la primera carga y en la segunda aproximadamente 8 horas como se muestra en la figura 3.1.

**FIGURA. 3.1. CURVA IDEAL DE HOMOGENIZACIÓN PARA EL PRIMER Y SEGUNDO CARGAMENTO DE ALUMINIO**

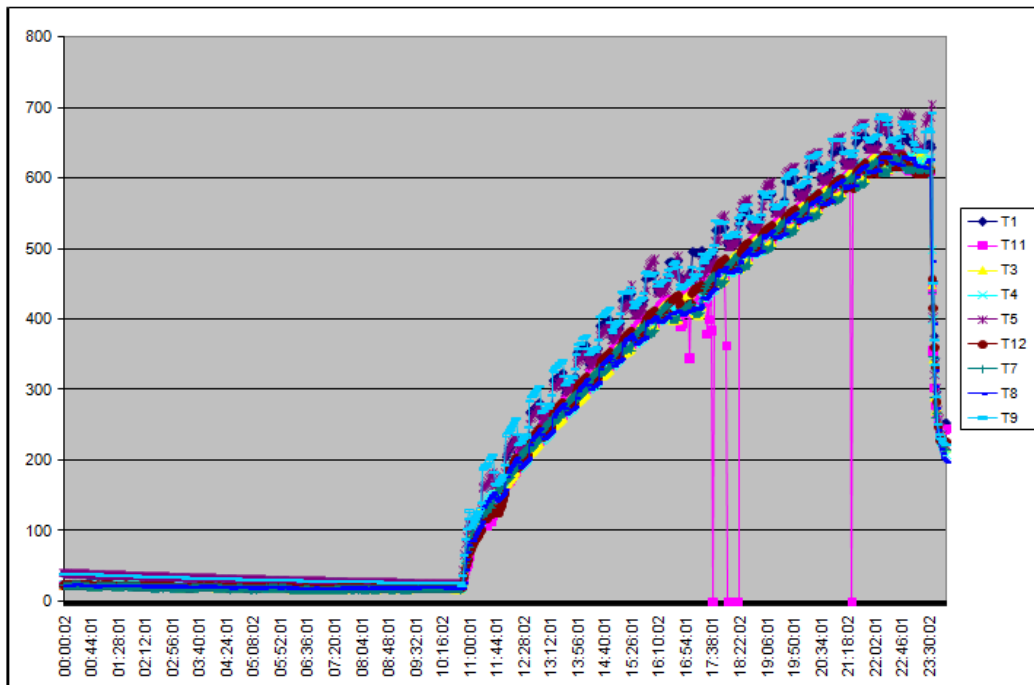


**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

### 3.4.3. Curva actual del horno de homogenización

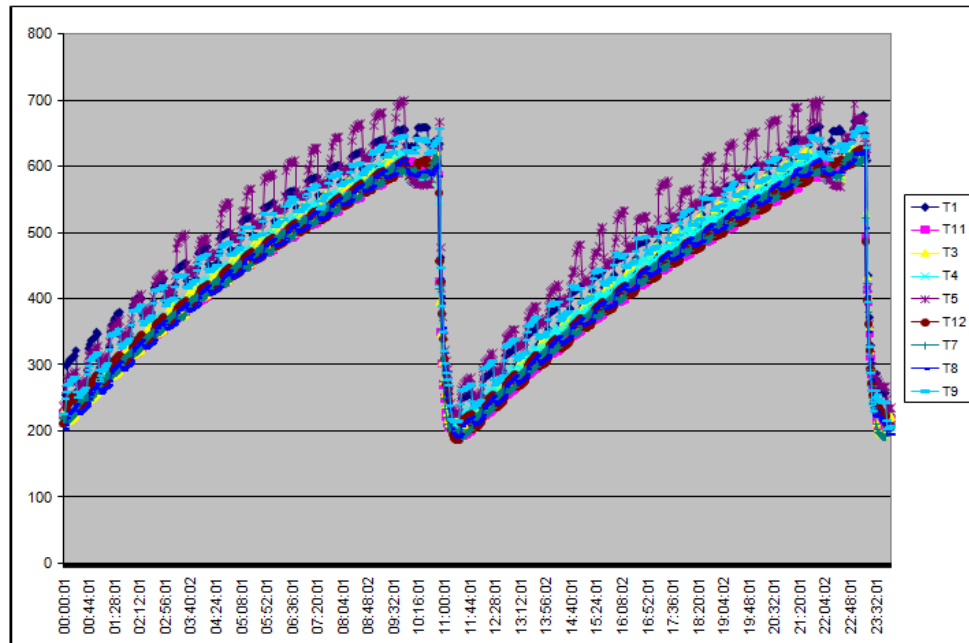
Actualmente el horno tarda alrededor de 11 a 12 horas en terminar el proceso de homogenizado, en la figura 3.2, se muestra la curva de la primera carga según las lecturas de las termocupas ubicadas en las paredes del horno. La figura 3.3 indica un periodo de tiempo de aproximadamente 10 a 11 horas para la segunda carga.

**FIGURA. 3.2. CURVA ACTUAL DE HOMOGENIZACIÓN PARA EL PRIMER CARGAMENTO**



**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

**FIGURA 3.3. CURVA ACTUAL DE HOMOGENIZACIÓN PARA EL SEGUNDO CARGAMENTO**



**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

#### **3.4.4. Observación de la diferencia de tiempo entre la curva ideal y la curva actual del proceso de homogenización**

Según las curvas de homogenización antiguas o ideales de la figura 3.1 y las curvas actuales de las figuras 3.2 y 3.3 se puede observar un incremento de tiempo de alrededor de 3 a 4 horas en la primera carga y en la segunda carga un incremento de 2 a 3 horas aproximadamente. Para la primera carga el incremento de tiempo es mayor porque el horno arranca a temperatura ambiente mientras que el tiempo para la segunda carga es menor debido a que el horno empieza a homogenizar a una temperatura que oscila a 200°C.

Cada cargamento de lingotes de aluminio pierde un promedio de tres horas dependiendo si el horno arranca en frío (temperatura ambiente 20°C) o en caliente (200°C aproximadamente).

El aumento de tiempo se produce por pérdidas de calor en paredes del horno y el coche contenedor por un mal sellado térmico.

### **3.5. Análisis del proceso actual de homogenización de lingotes de aluminio utilizando termocuplas ubicadas en el cargamento**

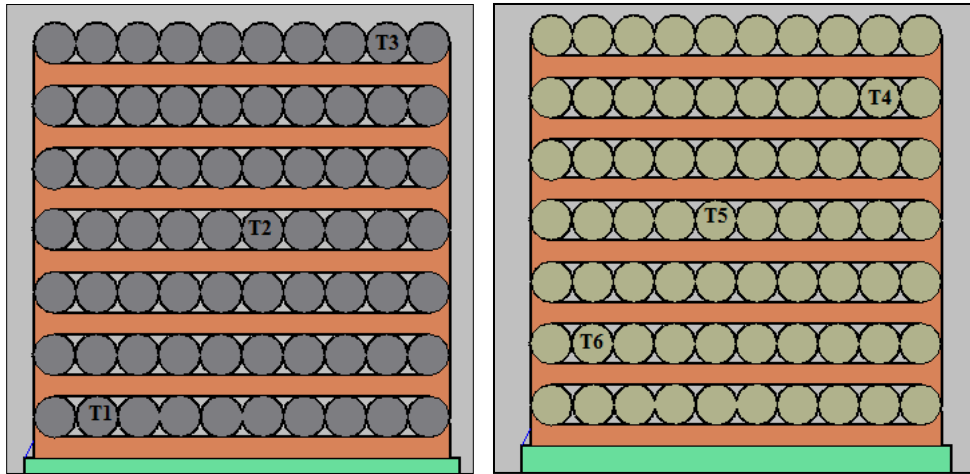
Para analizar las temperaturas en la carga y encontrar deficiencias durante el proceso de homogenizado, se han ubicado 8 termocuplas en el cargamento. En la figura 3.4 (a) se indica las termocuplas T1, T2 y T3 en el lado sur de la carga.

En la figura 3.4 (b) se señala las termocuplas T4, T5 y T6 ubicadas en el centro de la carga. Y por último la figura 3.4 (c) muestra las termocuplas T7 y T8 ubicadas al lado sur de la carga.

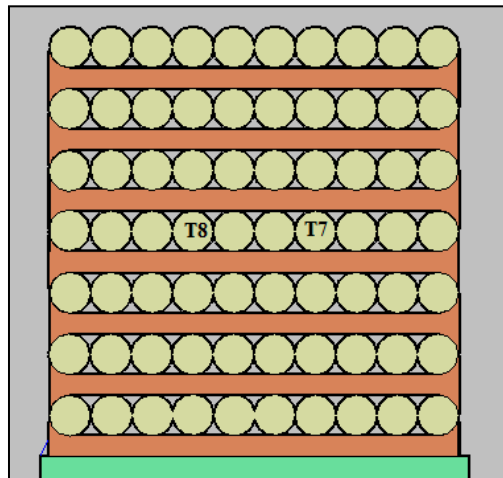
**FIGURA 3.4. UBICACIÓN DE LAS TERMOCUPLAS EN EL CARGAMENTO DE LINGOTES DE ALUMINIO PARA EL HOMOGENIZACIÓN**

**(a) LADO SUR. “T1, T2 y T3”**

**(b) CENTRO. “T4, T5 y T6”**



**(c) LADO NORTE. “T7 y T8”**



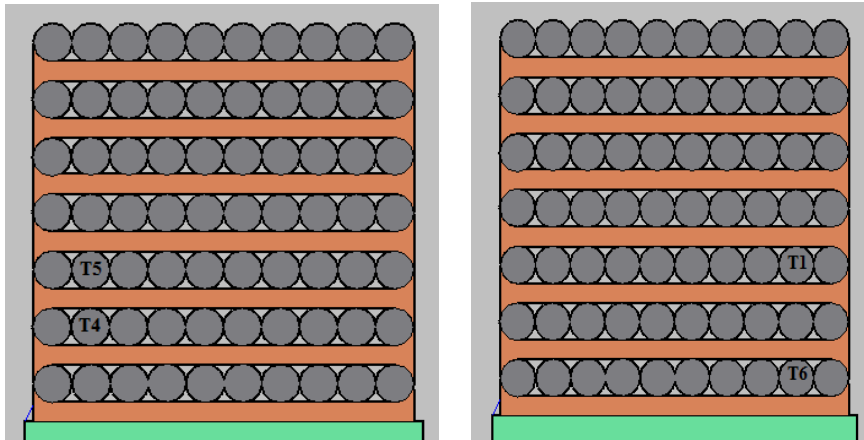
**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

Para analizar las temperaturas en la carga y encontrar deficiencias durante el enfriamiento, se han ubicado 8 termocuplas en el cargamento. En la figura 3.5 (a) se indica las termocuplas T4 y T5 en el lado sur de la carga. En la figura 3.5 (b) se señala las termocuplas T1 y T6 ubicadas en el centro de la carga. Y por último la figura 3.5 (c) muestra las termocuplas T7 y T8 ubicadas al lado sur de la carga.

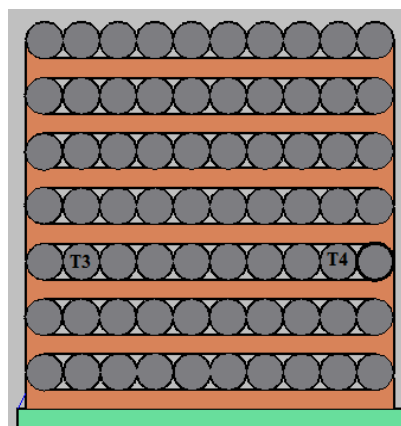
**FIGURA 3.5. UBICACIÓN DE LAS TERMOCUPLAS EN EL CARGAMENTO DE LINGOTES DE ALUMINIO PARA EL ENFRIAMIENTO**

(a) LADO SUR. “T4 y T5”

(b) CENTRO. “T1 y T6”



(c) LADO NORTE. “T3 y T4”



**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

### **3.5.1. Equipos y accesorios utilizados para ubicar las termocuplas en los lingotes**

Para ubicar las termocuplas en la carga y realizar el análisis se utilizó los siguientes instrumentos.

- Taladro portátil.
- Broca 3/16.
- Flexómetro y cinta adhesiva.
- Cable de termocupla Tipo K. (medición de  $-270^{\circ}\text{C}$  a  $1770^{\circ}\text{C}$ )

### **3.5.2. Procedimiento para la toma de datos de temperatura en la carga**

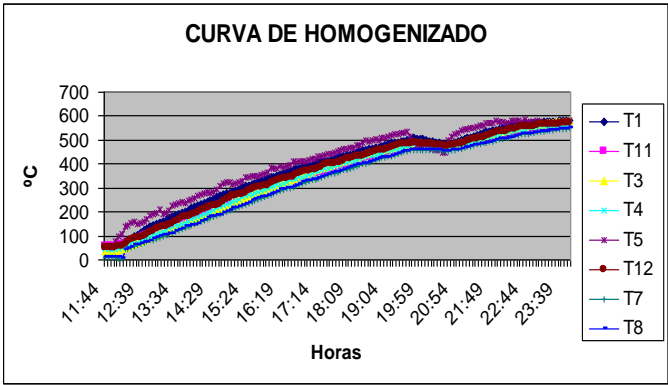
Para desarrollar la toma de datos de temperatura, se realizó agujeros en ocho lingotes de aluminio, donde se perforo hasta la máxima profundidad de la broca 3/16 y en su respectivo centro; el cual nos facilitara la obtención de las temperaturas internas de cada lingote.

Además la ubicación de las termocuplas en diferentes partes nos permitirá obtener temperaturas en sus lados y centro para verificar si la temperatura de homogenizado es la misma en todos los lingotes. De lo cual se obtuvo los siguientes datos de temperatura y su respectiva curva de homogenizado para un análisis interno de las posibles causas de falla en el horno y buscar soluciones para así evitar contra tiempos en el proceso respectivo.

### 3.5.3. Curva de homogenización y enfriamiento de la carga de lingotes de aluminio

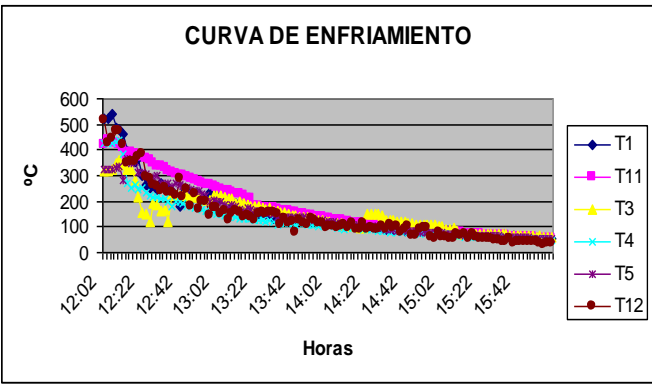
A continuación se muestra en las figuras 3.6 y 3.7 la curva de homogenización y enfriamiento respectivamente, censadas por las termocuplas ubicadas en la carga de aluminio

**FIGURA. 3.6. CURVA DE HOMOGENIZACIÓN DE LA CARGA DE ALUMINIO**



**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

**FIGURA. 3.7. CURVA DE ENFRIAMIENTO DE LA CARGA DE ALUMINIO**



**Fuente:** Planta de fundición de la empresa CEDAL S.A.

### **3.5.4. Fallas obtenidas durante el proceso de homogenización de aluminio**

Una vez concluido el proceso de homogenización se aprecia los siguientes puntos:

- a. El material de sellado térmico kevlar se encuentra desgastado porque finalizo el tiempo de vida útil.
- b. Tiempo de homogenizado (13h) y enfriado (4h), superior al planteado de forma técnica por los fabricantes del proceso de homogenizado. Provoca mayor consumo energético y por lo tanto pérdidas económicas considerables a la empresa.
- c. Proceso inestable al encender los quemadores debido a su deterioro físico y operación electrónica porque no trabajan igual en condiciones de temperaturas frías que en condiciones calientes.
- d. Presencia de fuga de calor debajo del coche de homogenización, debido a aberturas entre las puertas, paredes del horno y el coche contenedor provocadas por rozamiento en los bordes del coche que deforman su diseño por lo cual no permite un buen sellado hermético.

### **3.6. Cálculo de la capacidad calorífica para calentar la carga de lingotes de aluminio**

El proceso de homogenización consiste en calentar dos cargamentos de aluminio, cada uno de 25.9 toneladas compuesto por 140 lingotes de aluminio de aleación 6063, cuyo calor específico es de  $900 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$ , el proceso inicia con temperatura ambiente de aproximadamente  $20^\circ\text{C}$  y alcanza una temperatura máxima que oscila en los  $560^\circ\text{C}$ , por lo que es necesario conocer la cantidad de calor que habrá que transmitir a la carga de aluminio para calentarla desde  $20$  hasta  $560^\circ\text{C}$ , para encontrar este valor se utiliza la ecuación 12.

Datos:

$$c = 900 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$m = 25\,900 \text{ Kg}$$

$$\Delta t = (560 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q = cm\Delta t$$

$$Q_{\text{lingotes}} = cm(t_2 - t_1) \quad \text{Ec.12}$$

Solución:

$$Q_{\text{lingotes}} = \left( 900 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 25\,900 \text{ Kg} * (560 - 20) ^\circ\text{C} \right)$$

$$Q_{\text{lingotes}} = \left( 900 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 25\,900 \text{ Kg} * (540) ^\circ\text{C} \right)$$

$$Q_{\text{lingotes}} = 12\,587\,400\,000 \text{ J} = 12\,587\,400 \text{ KJ}$$

Para calentar cada cargamento de aluminio se necesita una cantidad de calor de 12 587 400 KJ. En el Sistema Inglés (SI) utilizando el anexo 1, de conversión de unidades queda de la siguiente manera:

$$Q_{\text{lingotes}} = 12\,587\,400 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ BTU}}{1,05587 \text{ KJ}} = 11\,921\,353,95 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{lingotes}} = 11\,921\,353,95 \text{ BTU}$$

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 20 hasta 560°C, de cada cargamento de aluminio. Esta cantidad en función del tiempo ideal de aproximadamente 10 horas se obtiene el siguiente valor:

$$Q_{\text{lingotes}} = \left( \frac{11\,921\,353,95 \text{ BTU}}{10 \text{ hr}} \right)$$

$$Q_{\text{lingotes}} = 1\,192\,135,40 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Esta es la cantidad de calor necesaria que se debe inyectar a la carga por cada hora hasta alcanzar la temperatura de permanencia de 560 °C.

### **3.6.1. Análisis de la capacidad calorífica de los Quemadores del horno de homogenización**

El horno está compuesto por un sistema de combustión de 6 quemadores de pulverización de la empresa North American, tres principales y tres secundarios con diferente capacidad calorífica. En la tabla 3.1 se indica la capacidad calorífica de dichos quemadores.

**TABLA. 3.1. CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS SEIS QUEMADORES DEL HORNO DE HOMOGENIZACIÓN**

<b>Quemadores</b>	<b>Capacidad calorífica (c/u)</b>	<b>Capacidad calorífica</b>
3 Principales 6422-5	1 030 000 BTU/h	3 090 000 BTU/h
3 Secundarios 6422-2	260 000 BTU/h	780 000 BTU/h
Total		3 870 000 BTU/h

**Fuente:** [http://www.namfg.com/c-index/c-lit/dual-fuel/6422\\_bul.pdf](http://www.namfg.com/c-index/c-lit/dual-fuel/6422_bul.pdf)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

Los seis quemadores producen 3 870 000 BTU/h más de la cantidad de calor necesaria de 1 192 135 BTU/h, que requiere la carga para elevar su temperatura de 20 °C a 560 °C.

### 3.7. Combustibles para la llama principal y piloto

Los combustibles para la llama principal son diesel y aire, mientras que para la llama piloto se utiliza gas industrial.

#### 3.7.1. Regulación del combustible diesel

La regulación del combustible se realiza por medio de la válvula sensitrol de la empresa North American, la capacidad de la válvula depende del modelo estipulado en la tabla 1.14. La empresa North American establece una cantidad recomendada de consumo de combustible para los seis quemadores del horno de homogenización como se muestra en la tabla 3.2.

**TABLA 3.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GPH) DE LOS QUEMADORES DUAL-FUEL DE LA EMPRESA NORTH AMERICAN**

Quemadores	Número de quemadores	Consumo en galones por hora (gph)	Número de quemadores	Consumo en galones por hora (gph)
Principal 6422-5	1	6.9	3	20.7
Secundario 6422-2	1	1.5	3	4.5
Total				25.2

**Fuente:** North American Company.

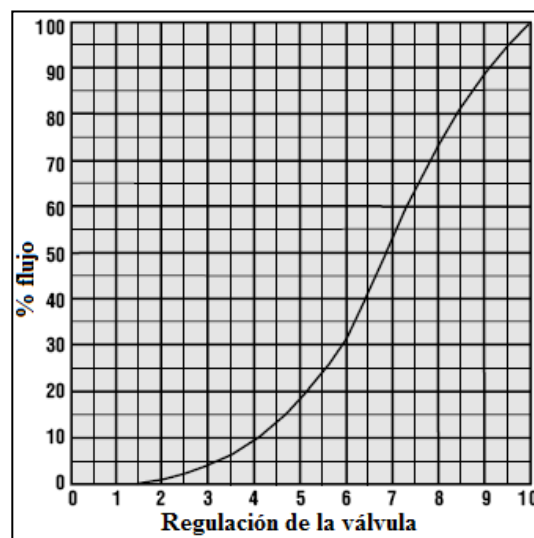
**Elaboracion:** Grupo investigador.

Por lo tanto de acuerdo al consumo que se requiere en los quemadores principales se debe utilizar la válvula sensitrol 1813 – 02 – A, mientras que en los quemadores secundarios se requiere la válvula 1813 – 03, de acuerdo a la cantidad de galones por hora que se necesita en cada quemador.

### 3.7.2. Regulación de la válvula sensitrol

La válvula sensitrol presenta una curva de porcentaje de flujo de combustible de acuerdo a la posición de ajuste de la válvula, como se indica en la figura 3.8, donde se observa que la posición de ajuste N° 10 cuando la válvula se encuentra completamente abierta, posee un porcentaje del 100 % de flujo, que corresponde al doble de la capacidad cuando se encuentra en la posición N° 7, mientras que en la posición N° 1 y 2 la válvula se encuentra cerrada.

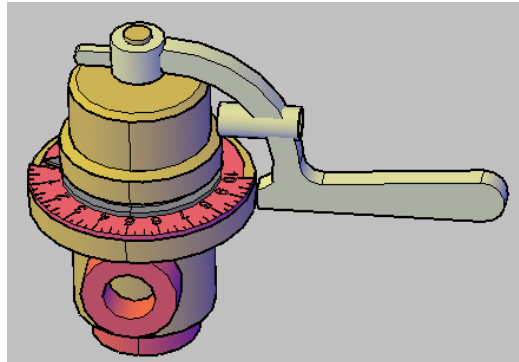
**FIGURA 3.8. CURVA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE Y POSICIÓN DE AJUSTE DE LA VÁLVULA SENSITROL 1813**



**Fuente:** North American Company.

De acuerdo a esta curva se determina la regulación actual e ideal de la válvula sensitrol en los quemadores dual-fuel, en la figura 3.9 se observa una imagen de la regulación de la válvula sensitrol de combustible “diesel”.

**FIGURA 3.9. POSICIÓN DE REGULACIÓN DE LA VÁLVULA SENSITROL 1813**



**Fuente:** North American Company.

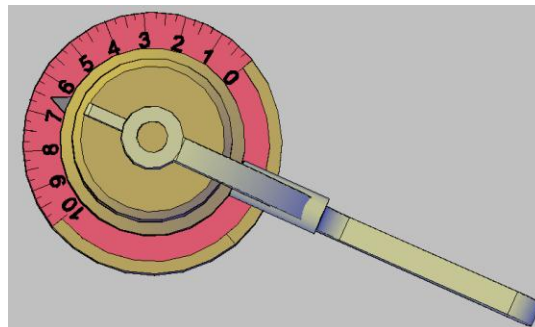
**Elaboracion:** Grupo investigador.

### **3.7.2.1. Regulación actual de la válvula sensitrol en los quemadores dual-fuel**

#### **a) Quemadores principales 6422- 5**

En los quemadores principales la válvula se encuentra en la posición de ajuste 6,5 tal como se observa en la figura 3.10 y que de acuerdo a la curva de la figura 3.8, anterior le corresponde un 40% de flujo de combustible (diesel).

**FIGURA 3.10. REGULACIÓN ACTUAL DE LA VÁLVULA SENSITROL EN LOS QUEMADORES PRINCIPALES 6422-5**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

50 %  $\longrightarrow$  8 gph

40 %  $\longrightarrow$  x

x = #gph<sub>diesel</sub> consumido por el quemador 6422-5

$$x = \left( \frac{40 \% * 8 \text{ gph}}{50 \%} \right) = 6,4 \text{ gph}$$

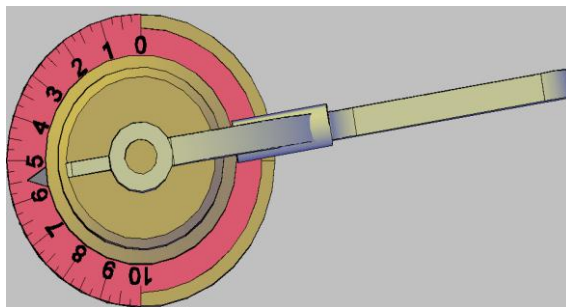
#GPH<sub>diesel</sub> consumido por los quemadore 6422-5 = 6,4 gph \* 3 Quemadores = 19,2 gph

Actualmente los tres quemadores principales seencuentran consumiendo 19,2 galones por hora (gph).

#### b) Quemadores secundarios 6422-2

En los quemadores secundarios la válvula se encuentra en la posición de ajuste 5,5 tal como se aprecia en la figura 3.11 y que de acuerdo a la curva de la figura 3.8 le corresponde un 25% de flujo de combustible (diesel).

**FIGURA 3.11 REGULACIÓN ACTUAL DE LA VÁLVULA SENSITROL EN LOS QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

50 %  $\longrightarrow$  8 gph

25 %  $\longrightarrow$  x

x = #gph<sub>diesel</sub> consumido por el quemador 6422-2

$$x = \frac{25\% * 8 \text{ gph}}{50\%} = 4 \text{ gph}$$

#GPH<sub>diesel</sub> consumido por los quemadore 6422-2 = 4 gph \* 3 Quemadores = 12 gph

Actualmente los tres quemadores secundarios se encuentran consumiendo 12 galones por hora.

De acuerdo a este análisis el consumo actual de combustible en los seis quemadores es mayor como se muestra en la tabla 3.3.

**TABLA 3.3. CONSUMO ACTUALDE COMBUSTIBLE (GPH) DE LOS QUEMADORES DUAL – FUEL DE LA EMPRESA NORTH AMERICAN**

<b>Quemadores</b>	<b>Numero de quemadores</b>	<b>Consumo en galones por hora (gph)</b>	<b>Numero de quemadores</b>	<b>Consumo en galones por hora (gph)</b>
Principal 6422-5	1	6.4	3	19.2
Secundario 6422-2	1	4	3	12
Total				<b>31.2</b>

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

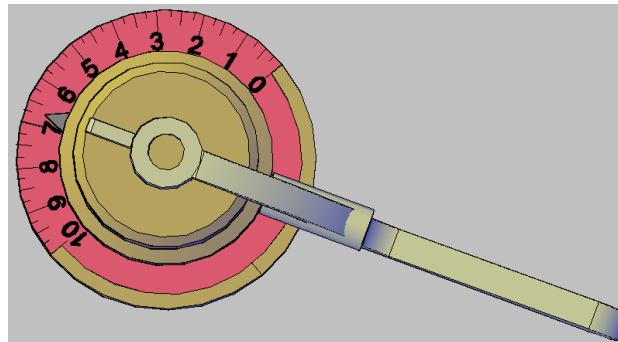
**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.7.2.2. Regulación ideal de la válvula sensitrol en los quemadores dual-fuel

#### a) Quemadores principales 6422- 5

En los quemadores principales de acuerdo a los fabricantes la válvula debe permitir un flujo de 6,9 gph. De acuerdo a la curva de la válvula sensitrol para un porcentaje de flujo de 43,12% le corresponde una posición de ajuste N° 6,6 aproximadamente, como se indica en la figura 3.12.

**FIGURA 3.12. REGULACIÓN IDEAL DE LA VÁLVULA SENSITROL EN LOS QUEMADORES PRINCIPALES 6422-5**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

8 gph       $\longrightarrow$       50 %

6,9 gph     $\longrightarrow$       x

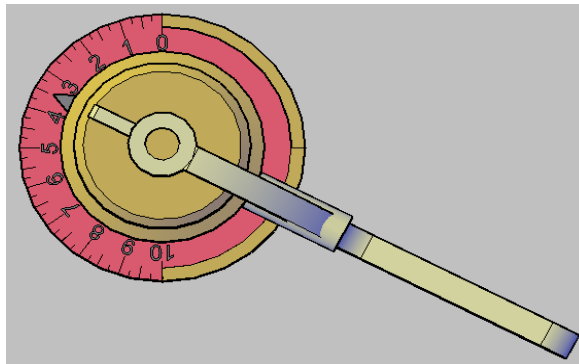
$$x = \left( \frac{6,9 \text{ gph} * 50 \%}{8 \text{ gph}} \right) = 43,12\%$$

### b) Quemadores secundarios 6422-2

En los quemadores secundarios de acuerdo a los fabricantes la válvula debe permitir un flujo de 1,5 gph.

Según la curva de la válvula sensitrol para un porcentaje de flujo de 9,37% le corresponde una posición de ajuste N° 3.5 aproximadamente. En la figura 3.13 se indica la regulación y la posición ideal que debe ser ajustada la válvula, para el paso de combustible y en la tabla 3.4, se indica la regulación actual e ideal de la válvula sensitrol de los quemadores dual-fuel.

**FIGURA 3.13. REGULACIÓN IDEAL DE LA VÁLVULA SENSITROL EN LOS QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

8 gph       $\longrightarrow$  50 %

1,5 gph     $\longrightarrow$  x

$$x = \left( \frac{1,5 \text{ gph} * 50 \%}{8 \text{ gph}} \right) = 9,37\%$$

**TABLA 3.4. REGULACIÓN ACTUAL E IDEAL DE LA VÁLVULA SENSITROL**

Quemador	Válvula sensitrol		Caudal de flujo de combustible	Posición de ajuste
Principal	Ideal	1813-02-A	6,9 gph	6,6
	Actual	1813-02-A	6,4 gph	6,5
Secundario	Ideal	1813-02-A	1,5 gph	3,5
	Actual	1813-02-A	4 gph	5,5

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.7.3. Regulación del aire

La regulación del aire se realiza por medio de válvulas mariposas 1122. La empresa North American establece una cantidad recomendada de consumo de aire para cada quemador como se muestra en la tabla 3.5.

**TABLA 3.5. CONSUMO DE AIRE (SCFH) DE LOS QUEMADORES DUAL-FUEL**

Quemadores	Numero de quemadores	Caudal de aire (scfh)	Numero de quemadores	Caudal de aire (scfh)
Principal 6422-5	1	9 450	3	28 350
Secundario 6422-2	1	2 100	3	6 300
Total				34 650

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

Para abastecer el caudal de aire necesario en cada quemador se utilizan válvulas mariposa de diferente dimensión y capacidad de acuerdo al requerimiento de los quemadores como se muestra en la tabla 3.6.

**TABLA 3.6. DESIGNACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE AIRE PARA LOS QUEMADORES DUAL-FUEL**

Designación de la válvula	Tamaño de tubería	Capacidad de aire en scfh (ft <sup>3</sup> /h)	Quemador
1122-1	1"	940	Principal 6422-5
1122-5	2 ½"	8 350	
1122-0	¾"	500	
1122-0	¾"	500	Secundario 6422-2
1122-2	1 ¼"	1 900	
1122-0	¾"	500	

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

#### **3.7.4. Relación de los caudales de flujo de aire en las válvulas mariposas de los quemadores dual fuel**

Para las relaciones de caudales de flujo de aire se analizó en dos grupos en base a las series de los quemadores dual-fuel 6422-5 y 6422-2.

##### **3.7.4.1. Análisis del caudal del flujo de aire en los quemadores dual-fuel 6422-5**

Se ha analizado los caudales de las válvulas según sus capacidades máximas estableciendo como resultado los siguientes datos en la tabla 3.7.

**TABLA 3.7. CAUDALES DE AIRE DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA 1122**

Serie de las válvulas mariposa	Dimensiones de las tuberías	Caudal máximo 9790 cfh	Caudal Recomendado 9450 cfh	Caudal Actual 4895 cfh
1122-0	3/4"	500 cfh	483 cfh	250 cfh
1122-1	1"	940 cfh	907 cfh	470 cfh
1122-5	2 1/2"	8350 cfh	8060 cfh	4175 cfh
Regulación en %		100%	96%	50%

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

Los datos de la tabla fueron obtenidos en base a la calibración de la válvula y con referencia a los manuales del circuito de diseño de los quemadores dual fuel.

**a) Caudal recomendado o idealen el quemador 6422-5**

El caudal de aire recomendado en la tubería de 3/4", se obtiene con la relación del caudal máximo total (9790 cfh) y el caudal máximo de la tubería 3/4" (500 cfh) y relacionándolo con el caudal de flujo total recomendado (9450 cfh).

$$\begin{array}{l} 9790 \text{ cfh} \longrightarrow 500 \text{ cfh (caudal de la tubería)} \\ 9450 \text{ cfh} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{9450 \text{ cfh} * 500 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 482,6353 \text{ cfh}$$

Para el caudal de aire recomendado en la tubería de 1", se utiliza la misma relación con la diferencia que el caudal máximo de la tubería de 1" cambia (940 cfh).

9790 cfh → 940 cfh (caudal de la tubería)  
 9450 cfh → X

$$X = \left( \frac{9450 \text{ cfh} * 940 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 907.35444 \text{ cfh}$$

De igual forma para la tubería de 2 ½" se cambia solo el caudal de flujo recomendado (8350 cfh).

9790 cfh → 8350 cfh (caudal de la tubería)  
 9450 cfh → X

$$X = \left( \frac{9450 \text{ cfh} * 8350 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 8060.0102 \text{ cfh}$$

Según el análisis la regulación recomendada se obtiene con la relación, donde el flujo de aire máximo de la tubería de 1" (940 cfh) que equivale al 100%, se relaciona con el flujo recomendado obtenido anteriormente (907), dando como resultado:

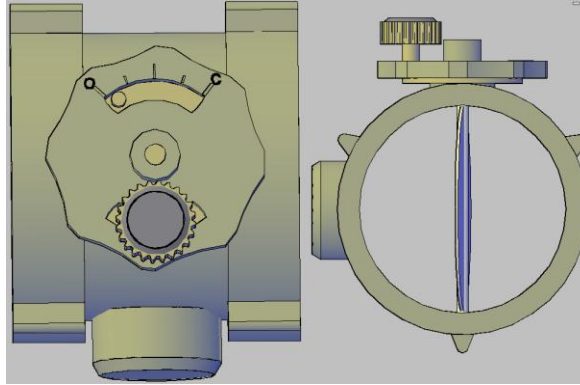
940 cfh → 100 %  
 907 cfh → X

$$X = \left( \frac{907 \text{ cfh} * 100 \%}{940 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 96,4893 \%$$

En la figura 3.14 se indica la regulación recomendada por los fabricantes para las válvulas mariposa en los quemadores principales.

**FIGURA 3.14. REGULACIÓN IDEAL DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES PRINCIPALES 6422-5**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**b) Caudal actual en el quemador 6422-5**

El caudal de aire real en la tubería de ¾”, se obtiene con la relación del caudal máximo total (9790 cfh) y el caudal máximo de la tubería ¾” (500 cfh), y relacionándolo con el caudal de flujo total real (4895 cfh).

$$\begin{array}{l} 9790 \text{ cfh} \longrightarrow 500 \text{ cfh (caudal de la tubería)} \\ 4895 \text{ cfh} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{4895 \text{ cfh} * 500 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 250 \text{ cfh}$$

Para el caudal de aire real en la tubería de 1”, se utiliza la misma relación con la diferencia que el caudal máximo de la tubería de 1” cambia (940 cfh).

$$\begin{array}{l} 9790 \text{ cfh} \longrightarrow 940 \text{ cfh (caudal de la tubería)} \\ 4895 \text{ cfh} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{4895 \text{ cfh} * 940 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 470 \text{ cfh}$$

De igual forma para la tubería de 2 ½” se cambia solo el caudal de flujo real de la tubería 2 ½” (8350cfh).

$$9790 \text{ cfh} \longrightarrow 8350 \text{ cfh (caudal de la tubería)}$$

$$4895 \text{ cfh} \longrightarrow X$$

$$X = \left( \frac{4895 \text{ cfh} * 8350 \text{ cfh}}{9790 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 4175 \text{ cfh}$$

Según el análisis la regulación real se obtiene con la relación, donde el flujo de aire máximo de la tubería de 1” (940 cfh) que equivale al 100%, se relaciona con el flujo real obtenido anteriormente (470 cfh), dando como resultado:

$$940 \text{ cfh} \longrightarrow 100 \%$$

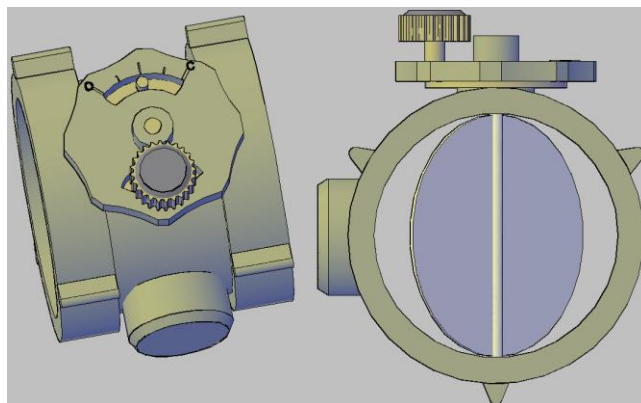
$$470 \text{ cfh} \longrightarrow X$$

$$X = \left( \frac{470 \text{ cfh} * 100 \%}{940 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 50 \%$$

En la figura 3.15, se muestra la regulación actual de las válvulas mariposa en los quemadores principales.

**FIGURA 3.15 REGULACIÓN ACTUAL DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES PRINCIPALES 6422-5**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.7.4.2. Análisis del caudal del flujo de aire en los quemadores dual fuel 6422-2

Se ha analizado los caudales de las válvulas según sus capacidades máximas estableciendo como resultado los siguientes datos en la tabla 3.8.

**TABLA 3.8. CAUDALES DE FLUJO DE AIRE DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA 1122 EN EL QUEMADOR 6422-2**

Serie de las válvulas mariposa	Dimensiones de las tuberías	Caudal máximo 2900 cfh	Caudal Recomendado 2100 cfh	Caudal Actual 1450 cfh
1122-0	3/4''	500 cfh	362 cfh	250 cfh
1122-0	3/4''	500 cfh	362 cfh	250 cfh
1122-2	1 1/4''	1900 cfh	1376 cfh	950 cfh
Regulación en %		100%	72%	50%

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

Los datos de la tabla fueron obtenidos en base a la calibración de la válvula y con referencia de los manuales de diseño del circuito de los quemadores dual fuel.

**a) Caudal recomendado o ideal en el quemador 6422-2**

El Caudal de aire recomendado en la tubería de ¾”, se obtiene con la relación del caudal máximo total (2900 cfh) y el caudal máximo de la tubería ¾” (500 cfh) y relacionándolo con el caudal de flujo total recomendado (2100 cfh). Esta relación se aplicara dos veces ya que se repite la misma tubería y válvula en el quemador.

$$\begin{array}{l} 2900 \text{ cfh} \longrightarrow 500 \text{ cfh (caudal de la tubería)} \\ 2100 \text{ cfh} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{2100 \text{ cfh} * 500 \text{ cfh}}{2900 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 362,0689 \text{ cfh}$$

Para la tubería de 1 ¼” se utiliza la misma relación, solo con la diferencia que el caudal máximo de la tubería 1 ¼” cambia:

$$\begin{array}{l} 2900 \text{ cfh} \longrightarrow 1900 \text{ cfh (caudal de la tubería)} \\ 2100 \text{ cfh} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{2100 \text{ cfh} * 1900 \text{ cfh}}{2900 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 1375,8620 \text{ cfh}$$

Según el análisis la regulación recomendada se obtiene con la relación, donde el flujo de aire máximo de la tubería de ¾” (500 cfh) equivale al 100% y el flujo de aire

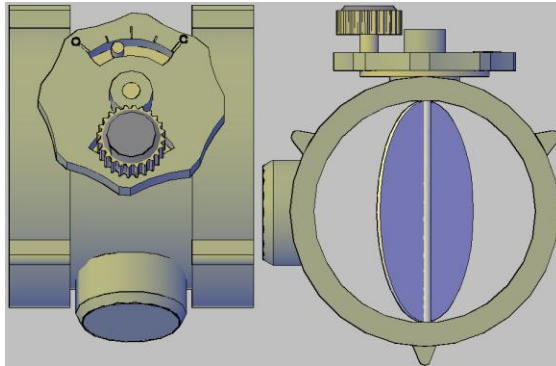
recomendado obtenido anteriormente (362 cfh) equivale al 72%, en la figura 3.16 se indica la regulación recomendada por los fabricantes.

500 cfh	—————→	100 %
362, 0689 cfh	—————→	X

$$X = \left( \frac{362,0689 \text{ cfh} * 100 \%}{500 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 72,4137\%$$

**FIGURA 3.16 REGULACIÓN IDEAL DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**b) Caudal actual en el quemador 6422-2**

El Caudal de aire real en la tubería de ¾”, se obtiene con la relación del caudal máximo total (2900 cfh) y el caudal máximo de la tubería de ¾” (500 cfh) y relacionándolo con el caudal regulado total de 1450 cfh. Se obtiene el caudal real en la tubería ¾”. Esta relación se aplicara dos veces ya que se repite la misma tubería y la válvula en el quemador.

2900 cfh       $\longrightarrow$       500 cfh (caudal de la tubería)  
 1450 cfh       $\longrightarrow$       X

$$X = \left( \frac{1450 \text{ cfh} * 500 \text{ cfh}}{2900 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 250 \text{ cfh}$$

Para la tubería de 1 ¼" se utiliza la misma relación, solo con la diferencia que el caudal máximo de la tubería 1 ¼" (1900) cambia:

2900 cfh       $\longrightarrow$       1900 cfh (caudal de la tubería)  
 1450 cfh       $\longrightarrow$       X

$$X = \left( \frac{1450 \text{ cfh} * 1900 \text{ cfh}}{2900 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 950 \text{ cfh}$$

Según el análisis la regulación real y actual en porcentaje de las válvulas mariposas del quemador dual fuel 6422-2, se obtiene con la relación, donde el flujo de aire máximo de la tubería de ¾" es el 100% y el flujo actual obtenido anteriormente 250 cfh equivale al 50%.

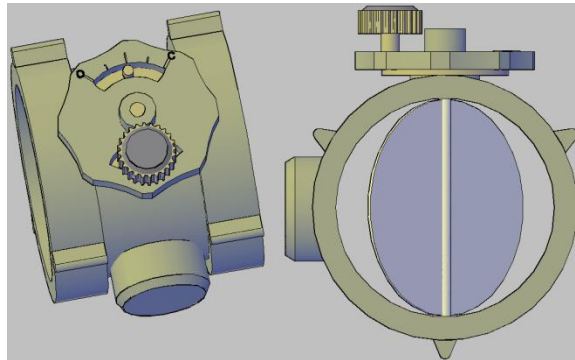
500 cfh       $\longrightarrow$       100 %  
 250 cfh       $\longrightarrow$       X

$$X = \left( \frac{250 \text{ cfh} * 100 \%}{500 \text{ cfh}} \right)$$

$$X = 50 \%$$

En la figura 3.17, se muestra la regulación actual de las válvulas mariposa en los quemadores secundarios.

**FIGURA 3.17. REGULACIÓN ACTUAL DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### **3.7.5. Relación aire-combustible recomendada por los fabricantes para los quemadores principales y secundarios**

De acuerdo a las características de los quemadores la relación aire-combustible se muestra en la tabla 3.9.

**TABLA 3.9. PROPORCIÓN AIRE – COMBUSTIBLE RECOMENDADA PARA LOS QUEMADORES DUAL - FUEL**

<b>Quemador</b>	<b>Designación</b>	<b>Caudal de aire (scfh)</b>	<b>Caudal de diesel (gph)</b>
Principal	6422-5	9450	6.9
Secundario	6422-2	2100	1.5

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.7.5.1. Relación aire–combustible recomendada para el quemador principal

Para calcular la estequiometria de la combustión en el quemador principal se utiliza la masa del aire y del combustible recomendada por el fabricante. Siendo el caudal de aire recomendado de 9 450 cfh y el caudal de combustible diesel de 6,9 gph. Para calcular la masa del aire utilizamos la siguiente ecuación 2.

$$m = v * d \quad \text{Ec.2}$$

$$m_{\text{aire}} = \left( 9\,450 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} * 0,036 \frac{\text{Kg}}{\text{ft}^3} \right)$$

$$m_{\text{aire}} = 340,2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Para calcular la masa del combustible se realiza una relación entre los 6,9 gph que consume un quemador principal y la masa de un galón de diesel.

$$1 \text{ galón} \quad \longrightarrow \quad 3,2176 \text{ Kg}$$

$$6,9 \text{ galones/hrsx} \quad \longrightarrow$$

$$x = \left( \frac{6,9 \frac{\text{galones}}{\text{hr}} * 3,2176 \text{ Kg}}{1 \text{ galón}} \right) = 22,20 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$m_{\text{diesel}} = 22,20 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

La estequiometria de la combustión en el quemador principal se determina mediante la siguiente ecuación:

$$m_{a/c} = \frac{\text{masa del aire}}{\text{masa del combustible}} \quad \text{Ec.1}$$

$$m_{a/c} = \left( \frac{340,2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}{22,20 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}} \right)$$

$$m_{a/c} = 15,32$$

El coeficiente 15,32 indica que existe una combustión con cantidades adecuadas de aire y de combustible en el quemador principal.

### 3.7.5.2. Relación aire–combustible recomendada para el quemador secundario

Para calcular la estequiometria de la combustión en el quemador secundario se utiliza la masa del aire y del combustible recomendada por el fabricante. Siendo el caudal de aire recomendado de 2 100 cfh y el caudal de combustible diesel de 1,5 gph. Para calcular la masa del aire utilizamos la siguiente ecuación 2.

$$m = v * d \quad \text{ec.2}$$

$$m_{\text{aire}} = 2\,100 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} * 0,036 \frac{\text{Kg}}{\text{ft}^3}$$

$$m_{\text{aire}} = 75,6 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Para calcular la masa del combustible se realiza una relación entre los 1,5 gph que consume un quemador secundario y la masa de un galón de diesel.

$$1 \text{ galón} \quad \longrightarrow \quad 3,2176 \text{ Kg}$$

$$1,5 \text{ galones/hrsx} \quad \longrightarrow$$

$$x = \left( \frac{1,5 \frac{\text{galones}}{\text{hr}} * 3,2176 \text{ Kg}}{1 \text{ galón}} \right) = 4,82 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$m_{\text{diesel}} = 4,82 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

La estequiometria de la combustión en el quemador secundario se determina mediante la siguiente ecuación.

$$m_{a/c} = \frac{\text{masa del aire}}{\text{masa del combustible}} \quad \text{Ec.1}$$

$$m_{a/c} = \frac{75,6 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}{4,82 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}$$

$$m_{a/c} = 15,68$$

El coeficiente 15,68 indica que existe una combustión con cantidades adecuadas de aire y de combustible en el quemador secundario.

### 3.7.6. Relación aire-combustible actual de los quemadores principales y secundarios

La relación aire - combustible actual de los quemadores se muestra en la tabla 3.10.

**TABLA 3.10. PROPORCIÓN AIRE-COMBUSTIBLE ACTUAL DE LOS QUEMADORES DUAL – FUEL**

Quemador	Designación	Caudal de aire (scfh)	Caudal de diesel (gph)
Principal	6422-5	4 895	6,4
Secundario	6422-2	1 450	4

**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

#### 3.7.6.1. Relación aire-combustible actual del quemador principal

Para calcular la estequiometria de la combustión real en el quemador principal se utiliza la masa del aire y del combustible que actualmente consume el quemador principal. Siendo el caudal de aire actual de 4 895 cfh y el caudal de combustible diesel de 6,4 gph. Para calcular la masa del aire utilizamos la siguiente ecuación.

$$m = v * d$$

Ec.2

$$m_{\text{aire}} = \left( 4\,895 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} * 0,036 \frac{\text{Kg}}{\text{ft}^3} \right)$$

$$m_{\text{aire}} = 175,22 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Para calcular la masa del combustible se realiza una relación entre los 6,4 gph que consume un quemador principal y la masa de un galón de diesel.

$$1 \text{ galón} \longrightarrow 3,2176 \text{ Kg}$$

$$6,4 \text{ galones/hrs} \longrightarrow$$

$$x = \left( \frac{6,4 \frac{\text{galones}}{\text{hr}} * 3,2176 \text{ Kg}}{1 \text{ galón}} \right) = 20,59 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$m_{\text{diesel}} = 20,59 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

La estequiometria de la combustión en el quemador principal se determina mediante la siguiente ecuación 1:

$$m_{a/c} = \frac{\text{masa del aire}}{\text{masa del combustible}}$$

Ec.1

$$m_{a/c} = \left( \frac{175,22 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}{20,59 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}} \right)$$

$$m_{a/c} = 8,55$$

El coeficiente 8,55 indica que existe una combustión con deficiencia de aire y de combustible.

### 3.7.6.2. Relación aire–combustible actual del quemador secundario

Para calcular la estequiometria de la combustión en el quemador secundario se utiliza la masa del aire y del combustible que actualmente consume el quemador secundario. Siendo el caudal de aire actual de 1 450 cfh y el caudal de combustible diesel de 4 gph. Para calcular la masa del aire utilizamos la siguiente ecuación 2.

$$m = v * d \quad \text{Ec.2}$$

$$m_{\text{aire}} = \left( 1\,450 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} * 0,036 \frac{\text{Kg}}{\text{ft}^3} \right)$$

$$m_{\text{aire}} = 52,2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Para calcular la masa del combustible se realiza una relación entre los 4 gph que consume un quemador secundario y la masa de un galón de diesel.

$$1 \text{ galón} \longrightarrow 3,2176 \text{ Kg}$$

$$4 \text{ galones/hrs} \longrightarrow x$$

$$x = \left( \frac{4 \frac{\text{galones}}{\text{hr}} * 3,2176 \text{ Kg}}{1 \text{ galón}} \right) = 12 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$m_{\text{diesel}} = 12 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

La estequiometria de la combustión en el quemador secundario se determina mediante la siguiente ecuación 1:

$$m_{a/c} = \frac{\text{masa del aire}}{\text{masa del combustible}} \quad \text{Ec.1}$$

$$m_{a/c} = \left( \frac{52,2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}}{12 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}} \right)$$

$$m_{a/c} = 4,35$$

El coeficiente 4,35 indica que existe una combustión con deficiencia de aire y exceso de combustible. Según la tabla 3.11, la estequiometría de combustión no es la adecuada, por una falta de aire que no compensa lo necesario para la combustión por lo tanto existe una mala quema de diesel en los quemadores dual fuel del horno de homogenización.

**TABLA 3.11. ESTEQUIOMETRIA ACTUAL E IDEAL DE LOS QUEMADORES**

Quemador	Proporción de aire Kg/h		Proporción de combustible Kg/h		Estequiometria
	Ideal	Actual	Ideal	Actual	
Principal	Ideal	340,2	Ideal	22,2	15,32
	Actual	175,22	Actual	20,59	8,55
Secundario	Ideal	75,6	Ideal	4,82	15,68
	Actual	52,2	Actual	12	4,35

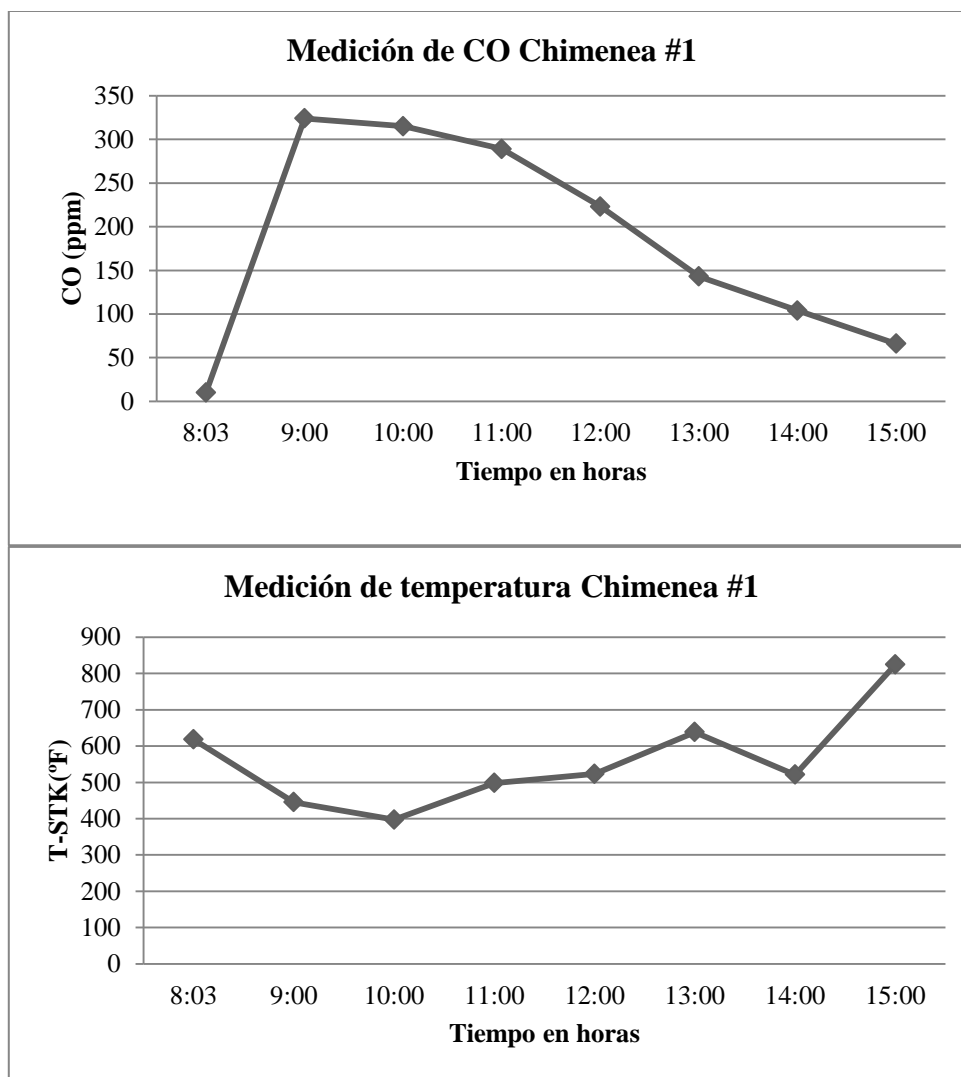
**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.7.7. Análisis de emanación de gases en el horno de homogenizado

La medición de gases se realizó en las tres chimeneas del horno de homogenización en un período de siete horas, como se muestra en el anexo 2 y obteniendo datos de las temperaturas dadas en las chimeneas. Obteniendo niveles de CO<sub>2</sub> por encima de lo normal en la hora de la mañana (9 am). La carga inicio a homogenizarse aproximadamente a las 8H30 de la mañana y termino su homogenización aproximadamente a las 20H30 demorándose en el proceso 12 horas. Se analiza que al comienzo de la homogenización de los lingotes hay un aumento de CO en el interior del horno aproximadamente 346 ppm de CO que se traduce como contaminación al ambiente pero el CO va bajando en el instante que se incrementa la temperatura en el interior del horno aproximadamente 66 ppm de CO. Las medidas de CO se las representa en las figuras 3.18, 3.19 y 3.20, destacando que a mayor temperatura baja el CO.

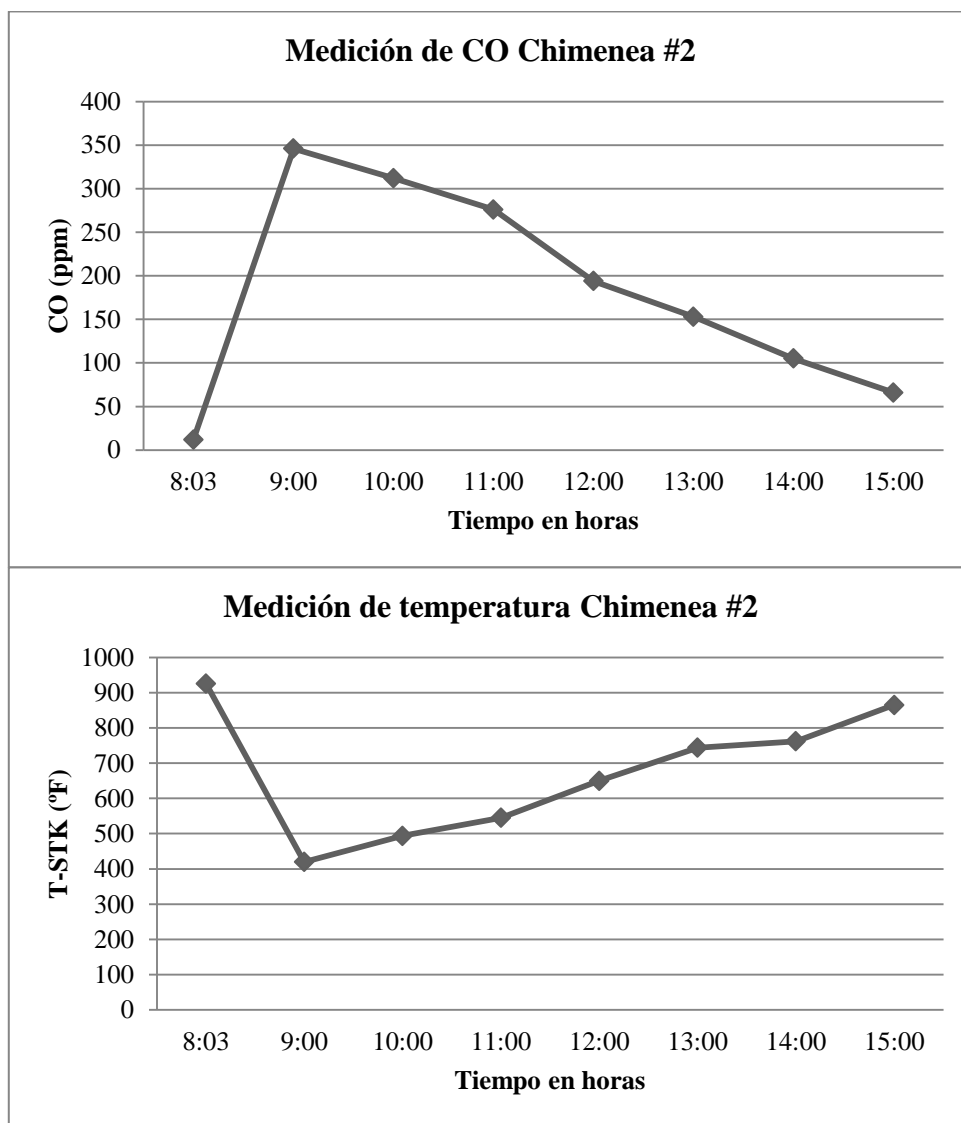
**FIGURA 3.18. MEDICIÓN DE CO EN CHIMENEA 1**



**Fuente:** Datos obtenidos del horno de homogenizado (departamento de mantenimiento)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

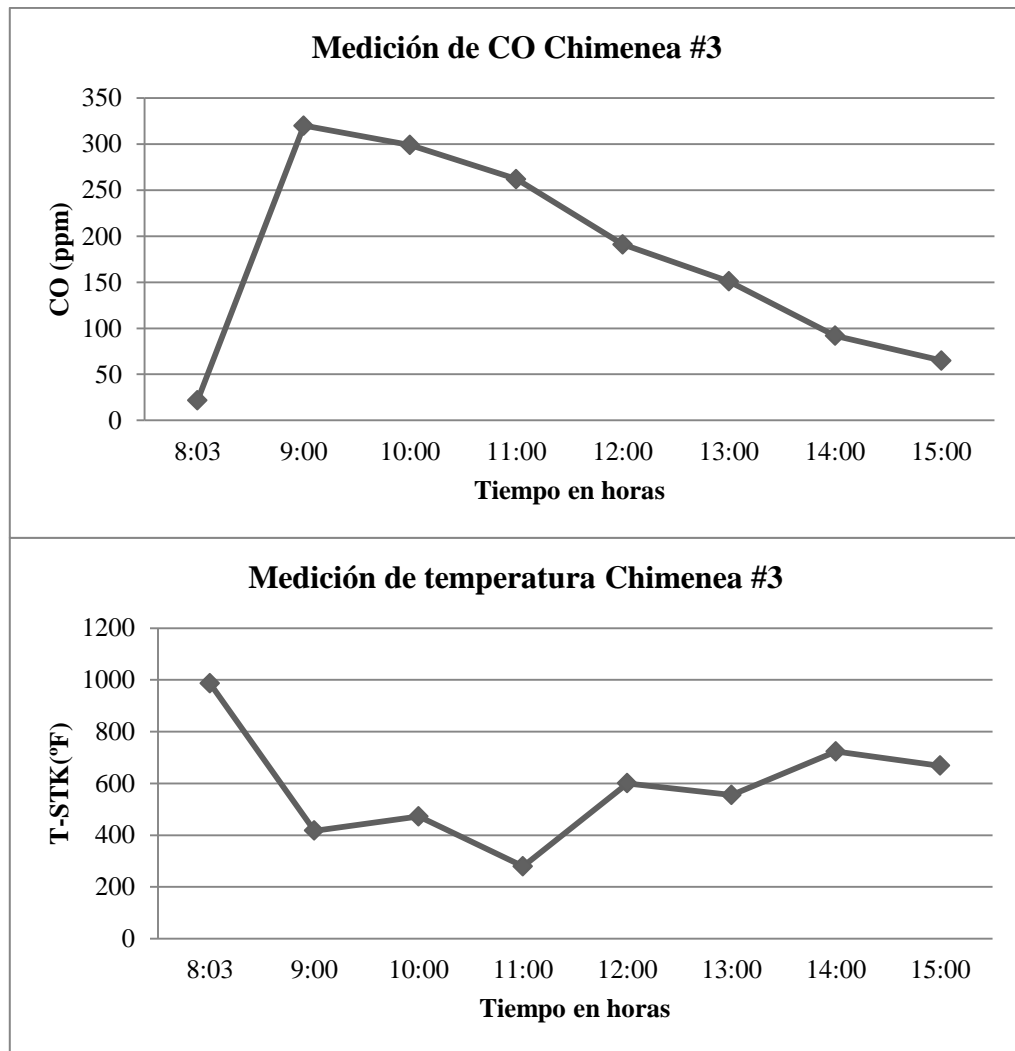
**FIGURA 3.19. MEDICIÓN DE CO EN CHIMENEA 2**



**Fuente:** Datos obtenidos del horno de homogenizado (departamento de mantenimiento)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

**FIGURA 3.20. MEDICIÓN DE CO EN CHIMENEA 3**



**Fuente:** Datos obtenidos del horno de homogenizado (departamento de mantenimiento)

**Elaboracion:** Grupo investigador.

De acuerdo con el análisis de las curvas se establece que existe una mala combustión producto de la mala relación aire combustible que actualmente genera el horno. Se produce una emisión elevada de monóxido de carbono (CO) que sobre pasa los 300ppm (partículas por millón) aproximadamente provocado por un déficit de oxígeno durante la combustión.

Los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son bajos como se muestra en el anexo 2, lo que indica que la combustión es deficiente.

### 3.7.8. Consumo de combustible actual e ideal de los quemadores dual-fuel

El consumo de combustible real o actual e ideal de los quemadores principales y secundarios está descrito en la tabla 3.12.

**TABLA 3.12. CONSUMO DE COMBUSTIBLE ACTUAL E IDEAL DE LOS QUEMADORES DUAL-FUEL**

Quemadores	Consumo actual (gph) c/u	Numero de quemadores	Consumo actual (gph)
6422-5	6.4	3	19.2
6422-2	4	3	12
Total			31.2
	Consumo ideal (gph) c/u		Consumo ideal (gph)
6422-5	6.9	3	20.7
6422-2	1.5	3	4.5
Total			25.2

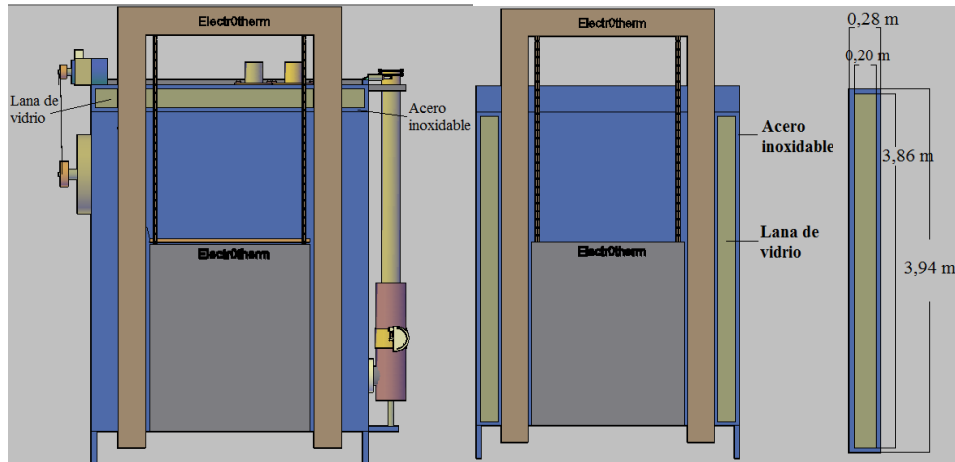
**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.8. Calculo de la masa total del horno de homogenización

Para determinar la masa total del horno de homogenizado se realizó los cálculos conforme a sus dimensiones y estableciendo el tipo de material del cual está compuesto tanto exteriormente como interiormente, en la figura 3.21 se identifica sus dimensiones externas e internas tanto de la lana de vidrio como del acero inoxidable.

**FIGURA 3.21. PAREDES LATERALES DEL HORNO DE HOMOGENIZADO**

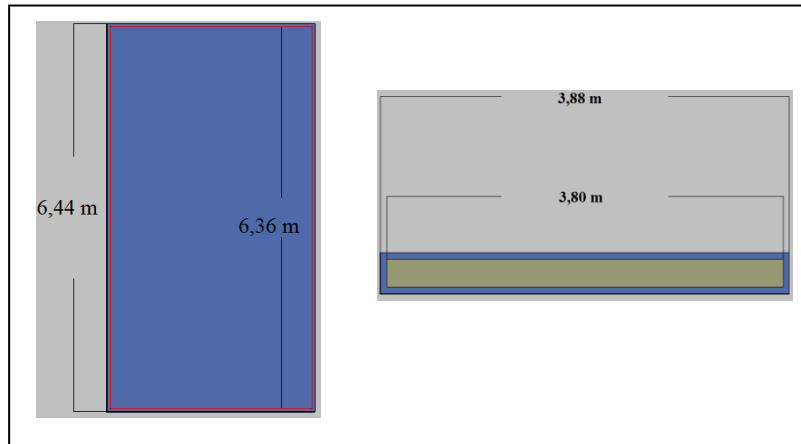


**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

En la figura 3.22 se muestra la parte del techo en una vista superior y una vista frontal con las medidas respectivas para su análisis.

**FIGURA 3.22. VISTA SUPERIOR Y FRONTAL DEL TECHO DEL HORNO DE HOMOGENIZACIÓN**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

En la tabla 3.13 se ubica los datos obtenidos tanto de la masa como de áreas y volúmenes de cada, pared y techo del horno, especificando su ubicación. Para determinar la masa total del horno se procedió a calcular el peso de cada uno de sus lados.

**TABLA 3.13. DIMENSIONES Y PESOS DEL HORNO DE HOMOGENIZACIÓN DE LA EMPRESA CEDAL S.A.**

Calculo de la masa total de las paredes del horno homogenizado				
Ubicación de las paredes	Magnitudes	Material Interno	Material Externo	Sumatoria de los valores totales
		Lana de vidrio y su densidad 15 Kg/m <sup>3</sup>	Acero inoxidable y su densidad 7850 Kg/m <sup>3</sup>	Áreas volúmenes y masas
Paredes laterales	Área (m <sup>2</sup> ) (A = L*L)	0,77 m <sup>2</sup>	1,10 m <sup>2</sup>	1,87 m <sup>2</sup>
	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V = A*L)	4,90 m <sup>3</sup>	2,18 m <sup>3</sup>	7,08 m <sup>3</sup>
	Masa (Kg)(m = d*v)	73,5 Kg.	17 113 Kg.	<b>34 373 Kg.</b>
Extremos inferiores de las paredes laterales	Área (m <sup>2</sup> ) (A = L*L)	0,09 m <sup>2</sup>	0,14 m <sup>2</sup>	0, 23 m <sup>2</sup>
	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V = A*L)	0,52 m <sup>3</sup>	0,35 m <sup>3</sup>	0, 87 m <sup>3</sup>
	Masa (Kg)(m = d*v)	7,8 Kg.	2 747,5 Kg.	<b>5 510,6 Kg.</b>
Puertas frontal y posterior	Área (m <sup>2</sup> ) (A = L*L)	4,88 m <sup>2</sup>	5,24 m <sup>2</sup>	10, 12 m <sup>2</sup>
	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V = A*L)	0,39 m <sup>3</sup>	0,44 m <sup>3</sup>	0, 83 m <sup>3</sup>
	Masa (Kg)(m = d*v)	5,85 Kg.	3 454 Kg.	<b>6 919,7 Kg.</b>
Paredes frontal y posterior	Área (m <sup>2</sup> ) (A = L*L)	12,5 m <sup>2</sup>	13,08 m <sup>2</sup>	25, 58 m <sup>2</sup>
	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V = A*L)	1,42 m <sup>3</sup>	0,32 m <sup>3</sup>	1, 74 m <sup>3</sup>
	Masa (Kg)(m = d*v)	21,3 Kg.	2 512 Kg.	<b>5 066,6 Kg.</b>
Techo	Área (m <sup>2</sup> ) (A = L*L)	0,684 m <sup>2</sup>	1,0088 m <sup>2</sup>	1,6928 m <sup>2</sup>
	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V = A*L)	4,35 m <sup>3</sup>	2,14 m <sup>3</sup>	6,49 m <sup>3</sup>
	Masa (Kg)(m = d*v)	65,25 Kg.	16 799 Kg.	<b>16 864,25 Kg.</b>
<b>Masa total del horno</b>		<b>282,15 Kg.</b>	<b>68 452 Kg.</b>	<b>68 734,15 Kg.</b>

Fuente: Empresa CEDAL S.A.

Elaboracion: Grupo investigador.

### 3.9. Cálculos pérdidas de calor actuales en el horno de homogenización

#### a) Calor ganado por el producto

El calor ganado por la carga de lingotes de aluminio se calcula con la ecuación 14.

$$Q_{pi} = mC_{p_{pi}} \Delta T \quad \text{Ec.14}$$

$$Q_{pi} = \left( 25\,900 \text{ Kg} \left( 0.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (578^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{pi} = \left( 25\,900 \text{ Kg} \left( 0.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (563^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{pi} = \left( 13\,123\,530 \text{ KJ} \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055.06} \right)$$

$$Q_{pi} = 12\,438\,657.52 \text{ BTU}$$

$$Q_{pi} = \left( \frac{12\,438\,657.52 \text{ BTU}}{12 \text{ h}} \right)$$

$$Q_{pi} = 1\,036\,554.79 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

#### b) Calor almacenado en las paredes del horno

Se calcula el calor almacenado en las paredes tanto del acero inoxidable y de la lana de vidrio y posteriormente se obtiene el calor total almacenado.

$$Q_{ap} = mC_{p_{ap}} \Delta T \quad \text{Ec.15}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = mC_{p_{ap}} \Delta T$$

$$Q_{ap \text{ lana de vidrio}} = mC_{p_{ap}} \Delta T$$

Calculo del calor almacenado en el acero inoxidable, en base a su masa de 68 452 Kg, calor específico 0,46 KJ/Kg. °C y la diferencia de temperaturas media a la que es sometido.

$$Q_{\text{ap acero}} = mC_{p_{\text{ap}}} \Delta T$$

$$Q_{\text{ap acero}} = \left( 68\,452 \text{ Kg.} \left( 0,46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.} \cdot ^\circ\text{C}} \right) * \frac{(560 - 20) \cdot ^\circ\text{C}}{2} \right)$$

$$Q_{\text{ap acero}} = \left( 68\,452 \text{ Kg} \left( 0,46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (270 \cdot ^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{\text{ap acero}} = \left( 8\,501\,738,4 \text{ KJ} \frac{1000 \text{ J}}{1\text{KJ}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055,06 \text{ J}} \right)$$

$$Q_{\text{ap acero}} = 8\,058\,061,53 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{ap acero}} = \left( \frac{8\,058\,061,53 \text{ BTU}}{12 \text{ h}} \right)$$

$$Q_{\text{ap acero}} = 671\,505,12 \text{ BTU/h}$$

Calculo del calor almacenado en la lana de vidrio, en base a su masa, calor específico y la diferencia de temperaturas a la que es sometido.

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = mC_{p_{\text{ap}}} \Delta T$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = \left( 282,15 \text{ Kg.} \left( 0,79 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.} \cdot ^\circ\text{C}} \right) * \frac{(560 - 20) \cdot ^\circ\text{C}}{2} \right)$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = \left( 282,15 \text{ Kg.} \left( 0,79 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (270 \cdot ^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = \left( 60\,182,59 \text{ KJ} \frac{1000 \text{ J}}{1\text{KJ}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055,06 \text{ J}} \right)$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 57\,041,87 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = \frac{57\,041 \text{ BTU}}{12 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 4\,753,48 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{\text{ap total}} = Q_{\text{ap acero}} + Q_{\text{ap lana de vidrio}}$$

$$Q_{\text{ap total}} = \left( 671\,505,12 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 4\,753,48 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_{\text{ap total}} = 676\,258,6 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Se ha calculado el calor almacenado en las paredes del horno de homogenizado en base al calor específico y masa tanto del acero como la lana de vidrio dando como resultado un calor almacenado total de 676 258,6 BTU/h, que es lo máximo que puede absorber las paredes con su aislante.

### c) Calor perdido por las paredes del horno

Para determinar el calor perdido por las paredes del horno de homogenizado se utiliza la formula número (3) del cálculo de las necesidades energéticas de un horno de homogenización.

$$Q_{\text{pp}} = K \cdot S \cdot \Delta T \quad \text{Ec.16}$$

Para determinar la Conductividad térmica del material del que está hecho las paredes y compuertas del horno de homogenizado se utiliza la siguiente relación de fórmulas.

$$R_1 = \frac{L_1}{K_1} \quad \text{Ec.4}$$

Resistividad:

$$R_1 = \frac{L_1}{K_1} = \left( \frac{0,04 \text{ m}}{15 \frac{w}{m^\circ K}} \right) = 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_2 = \frac{L_2}{K_2} = \left( \frac{0,20 \text{ m}}{0,035 \frac{w}{m^\circ K}} \right) = 5,71 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_3 = \frac{L_3}{K_3} = \left( \frac{0,04 \text{ m}}{15 \frac{w}{m^\circ K}} \right) = 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = \left( 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w} + 5,71 \frac{m^2 \circ K}{w} + 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w} \right)$$

$$R_T = 5,7152 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

La inversa de la resistencia térmica es la conductividad térmica

$$R_T = \frac{L}{k} \quad \text{Ec.4}$$

$$K = \frac{L}{R_T} \quad \text{Ec.3}$$

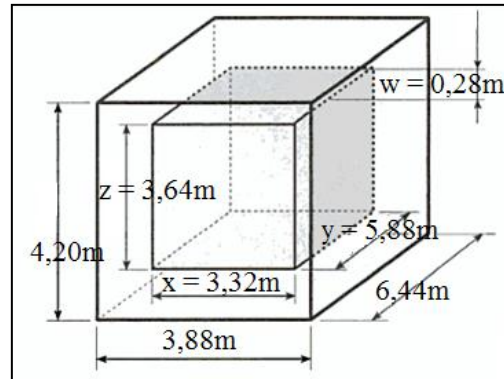
$$K = \left( \frac{0,28 \text{ m}}{5,7152 \frac{m^2 \circ K}{w}} \right)$$

$$K = 0,048 \frac{w}{m^\circ K}$$

El factor de forma se calcula según las dimensiones del horno de homogenización que se muestra en la figura 3.23 y mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{2(xy+xz+yx)}{w} + 2,16(x+y+z) + 1,2w \quad \text{Ec.6}$$

**FIGURA 3.23. DIMENSIONES DEL HORNO DE HOMOGENIZADO CÁLCULO 1**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

$$S = \left( \frac{2(xy + xz + yx)}{w} + 2,16(x + y + z) + 1,2w \right)$$

$$S = \left( \frac{2[(3,32)(5,88) + (3,32)(3,64) + (5,88)(3,64)]}{0,28} + 2,16(3,32 + 5,88 + 3,64) + 1,2(0,28) \right)$$

$$S = \left( \frac{2[19,52 + 12,08 + 21,40]}{0,28} + 2,16(12,84) + 0,33 \right)$$

$$S = \left( \frac{2(53m)}{0,28m} + 27,73m + 0,33m \right)$$

$$S = (378,57m + 27,73m + 0,33m)$$

$$S = 406,63m$$

$$Q_{pp} = K.S.\Delta T \quad \text{Ec.16}$$

$$Q_{pp} = \left( 0,048 \frac{W}{m^{\circ}K} (406,63 m)(884^{\circ}K - 333^{\circ}K) \right)$$

$$Q_{pp} = \left( 0,048 \frac{W}{m^{\circ}K} (406,63 m)(551^{\circ}K) \right)$$

$$Q_{pp} = \left( 10\,754,55 W \frac{1 Kw}{1000 w} * \frac{3412,14 \frac{BTU}{h}}{1 Kw} \right)$$

$$Q_{pp} = 36\,696,031 \frac{BTU}{h}$$

**d) Pérdidas por aberturas:** Es calculado con la ecuación número 17.

$$Q_{ab} = Q_r \text{ (AET)} \quad \text{Ec.17}$$

El calor radiado se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q_r = \sigma (T_G^4 - T_a^4) \quad \text{Ec.18}$$

$$Q_r = \left( 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right) * [(584^{\circ}K)^4 - (333^{\circ}K)^4]$$

$$Q_r = 5\,898,094 \frac{W}{m^2}$$

Aberturas por chimeneas del horno de homogenizado.

$$Q_{ab} = Q_r \text{ (AET)} \quad \text{Ec.17}$$

Radio de chimenea = 0,11 m

$$\text{Área} = \pi (0,11 m)^2$$

$$A = 0,038 \text{ m}^2$$

Por las tres chimeneas:

$$A = 0,038 \text{ m}^2 (3)$$

$$A = 0,11 \text{ m}^2$$

$$Q_{ab} = 5\,898,094 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} (0,11 \text{ m}^2)$$

$$Q_{ab} = 648,79 \text{ W} \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ w}} * \frac{3412,14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{1 \text{ Kw}}$$

$$Q_{ab \text{ chimeneas}} = 2213,76 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Aberturas en el sellado del coche contenedor, paredes y compuertas del horno.

$$Q_{ab} = Q_r(\text{AET}) \quad \text{Ec.17}$$

$$A = 0,4676 \text{ m}^2$$

$$Q_{ab} = 5\,898,094 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} (0,4676 \text{ m}^2)$$

$$Q_{ab} = 2\,757,94 \text{ W} * \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ w}} * \frac{3412,14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{1 \text{ Kw}}$$

$$Q_{ab \text{ sellos}} = 9410,50 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{ab \text{ total}} = Q_{ab \text{ chimeneas}} + Q_{ab \text{ sellos}}$$

$$Q_{ab \text{ total}} = 2213,76 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 9410,50 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{ab \text{ total}} = 11\,624,26 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

**e) Calor total de entrada en el horno**

Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{entrada}} = \text{poder calorifico de combustible (diesel)} * \text{Número de galones por hora} \quad \text{Ec.13}$$

$$Q_{\text{entrada}} = 132\,000 \frac{\text{BTU}}{\text{galon}} * 31.2 \frac{\text{galones}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{entrada o total}} = 4\,118\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

**f) Pérdidas de energía en el horno de homogenizado**

Para el cálculo de pérdidas de energía calorífica en el horno de homogenización se plantea la ecuación:

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_t - Q_d \quad \text{Ec.19}$$

$$Q_d = Q_{\text{pi}} + Q_{\text{ap}} + Q_{\text{pp}} + Q_{\text{ab}} \quad \text{Ec.20}$$

$$Q_d = 1\,036\,554.79 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 676\,258.6 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 36\,696,031 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 11\,624,26 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_d = 1\,761\,133,68 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_t - Q_d \quad \text{Ec.19}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 4\,118\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} - 1\,761\,133,68 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 2\,357\,266,31 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Porcentaje de pérdidas:

$$4\ 118\ 400\ \text{BTU/h} \longrightarrow 100\%$$

$$2\ 357\ 266,31\ \text{BTU/h} \longrightarrow x$$

$$x = \left( \frac{2\ 357\ 266,31 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} * 100\%}{4\ 118\ 400 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \right) = 57,23\%$$

$$x = 57,23\%$$

Se está perdiendo un 57% de la energía inyectada en el horno de homogenizado.

### 3.10. Cálculo pérdidas de calor ideales en el horno de homogenizado

#### a) Calor ganado por el producto

El calor ganado por la pieza se calcula con la ecuación.

$$Q_{pi} = mC_{p_{pi}} \Delta T \quad \text{Ec.14}$$

$$Q_{pi} = \left( 25\ 900\ \text{Kg} \left( 0,9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (578\ ^\circ\text{C} - 15\ ^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{pi} = \left( 25\ 900\ \text{Kg} \left( 0,9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (563\ ^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{pi} = \left( 13\ 123\ 530\ \text{KJ} \frac{1000\ \text{J}}{1\ \text{KJ}} * \frac{1\ \text{BTU}}{1\ 055,06} \right)$$

$$Q_{pi} = 12\ 438\ 657,52\ \text{BTU}$$

$$Q_{pi} = \left( \frac{12\ 438\ 657,52\ \text{BTU}}{10\ \text{h}} \right)$$

$$Q_{pi} = 1\,243\,865.75 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

**b) Calor almacenado en las paredes del horno**

Calculo del calor almacenado en el acero inoxidable, en base a su masa, calor específico y la diferencia de temperaturas a la que es sometido.

$$Q_{ap} = mCp_{ap}\Delta T \quad \text{Ec.15}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = mCp_{ap}\Delta T$$

$$Q_{ap \text{ lana de vidrio}} = mCp_{ap} \Delta T$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = 68\,452 \text{ Kg.} \left( 0.46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg. } ^\circ\text{C}} \right) * \left( \frac{(560 - 20)}{2} \right) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = 68\,452 \text{ Kg} \left( 0.46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg. } ^\circ\text{C}} \right) * (270 ^\circ\text{C})$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = 8\,501\,738.4 \text{ KJ} \frac{1000 \text{ J}}{1\text{KJ}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055.06 \text{ J}}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = 8\,058\,061.53 \text{ BTU}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = \frac{8\,058\,061.53 \text{ BTU}}{10 \text{ h}}$$

$$Q_{ap \text{ acero}} = 805\,806.15 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Calculo del calor almacenado en la lana de vidrio, en base a su masa, calor específico y la diferencia de temperaturas a la que es sometido.

$$Q_{ap \text{ lana de vidrio}} = mCp_{ap} \Delta T$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 282,15 \text{ Kg.} \left( 0.79 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.}^\circ\text{C}} \right) * \frac{(560 - 20)}{2} ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 282,15 \text{ Kg.} \left( 0.79 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.}^\circ\text{C}} \right) 270 ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 60\,182,59 \text{ KJ} \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1\,055,06 \text{ J}}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 57\,041,87 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = \frac{57\,041 \text{ BTU}}{10 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{ap lana de vidrio}} = 5\,704,18 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{ap total}} = Q_{\text{ap acero}} + Q_{\text{ap lana de vidrio}}$$

$$Q_{\text{ap total}} = \left( 805\,806,15 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 5\,704,18 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_{\text{ap total}} = 811\,510,33 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Se ha calculado el calor almacenado en las paredes del horno de homogenizado en base al calor específico y masa tanto del acero como la lana de vidrio dando como resultado un calor almacenado total de 811 510,33 BTU/h, que es lo máximo que puede absorber las paredes con su aislante.

**c) Calor perdido por las paredes del horno**

Para determinar el calor perdido por las paredes del horno de homogenizado se utiliza la formula número (3) del cálculo de las necesidades energéticas de un horno de homogenización.

$$Q_{pp} = K \cdot S \cdot \Delta T \quad \text{Ec.16}$$

Para determinar la Conductividad térmica del material del que está hecho las paredes y compuertas del horno de homogenizado se utiliza la siguiente relación de fórmulas.

$$R_1 = \frac{L_1}{K_1} \quad \text{Ec.4}$$

Resistividad:

$$R_1 = \frac{L_1}{K_1} = \left( \frac{0,04 \text{ m}}{15 \frac{w}{m^{\circ}K}} \right) = 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_2 = \frac{L_2}{K_2} = \left( \frac{0,20 \text{ m}}{0,035 \frac{w}{m^{\circ}K}} \right) = 5,71 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_3 = \frac{L_3}{K_3} = \left( \frac{0,04 \text{ m}}{15 \frac{w}{m^{\circ}K}} \right) = 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = \left( 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w} + 5,71 \frac{m^2 \circ K}{w} + 0,0026 \frac{m^2 \circ K}{w} \right)$$

$$R_T = 5,7152 \frac{m^2 \circ K}{w}$$

La inversa de la resistencia térmica es la conductividad térmica.

$$R_T = \frac{L}{k} \quad \text{Ec.4}$$

$$K = \frac{L}{R_T} \quad \text{Ec.3}$$

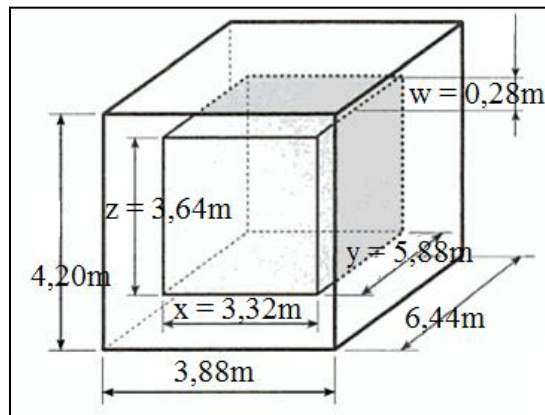
$$K = \left( \frac{0,28 \text{ m}}{5,7152 \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}{\text{w}}} \right)$$

$$K = 0,048 \frac{\text{w}}{\text{m } ^\circ\text{K}}$$

El factor de forma se calcula según las dimensiones del horno de homogenizado que se muestra en la figura 3.24, y mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2(xy+xz+yx)}{w} + 2,16(x+y+z) + 1,2w \quad \text{Ec.6}$$

**FIGURA 3.24. DIMENSIONES DEL HORNO DE HOMOGENIZADO CÁLCULO 2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

$$S = \left( \frac{2(xy+xz+yx)}{w} + 2,16(x+y+z) + 1,2w \right)$$

$$S = \left( \frac{2 [(3,32)(5,88) + (3,32)(3,64) + (5,88)(3,64)]}{0,28} + 2,16 (3,32 + 5,88 + 3,64) + 1,2 (0,28) \right)$$

$$S = \left( \frac{2 [19,52 + 12,08 + 21,40]}{0,28} + 2,16 (12,84) + 0,33 \right)$$

$$S = \left( \frac{2 (53\text{m})}{0,28\text{m}} + 27,73\text{m} + 0,33\text{m} \right)$$

$$S = (378,57\text{m} + 27,73\text{m} + 0,33\text{m})$$

$$S = 406,63 \text{ m}$$

$$Q_{pp} = K \cdot S \cdot \Delta T \quad \text{Ec.16}$$

$$Q_{pp} = \left( 0,048 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°K}} (406,63 \text{ m})(884 \text{ °K} - 333 \text{ °K}) \right)$$

$$Q_{pp} = \left( 0,048 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°K}} (406,63 \text{ m})(551 \text{ °K}) \right)$$

$$Q_{pp} = \left( 10\,754,55 \text{ W} \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ w}} * \frac{3412,14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{1 \text{ Kw}} \right)$$

$$Q_{pp} = 36\,696,031 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

#### d) Pérdidas por aberturas

$$Q_{ab} = Q_r (\text{AET}) \quad \text{Ec.17}$$

El calor radiado se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q_r = \sigma (T_G^4 - T_a^4) \quad \text{Ec.18}$$

$$Q_r = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} [(584 \text{ } ^\circ K)^4 - (333 \text{ } ^\circ K)^4]$$

$$Q_r = 5\,898,094 \frac{W}{m^2}$$

Aberturas por chimeneas.

$$Q_{ab} = Q_r(AET) \quad \text{Ec.17}$$

Radio de chimenea = 0,11 m

$$\text{Área} = \pi (0,11 \text{ m})^2$$

$$A = 0,038 \text{ m}^2$$

Por las tres chimeneas:

$$A = 0,038 \text{ m}^2 (3)$$

$$A = 0,11 \text{ m}^2$$

$$Q_{ab} = 5\,898,094 \frac{W}{m^2} (0,11 \text{ m}^2)$$

$$Q_{ab} = \left( 648,79 \text{ W} \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ w}} * \frac{3412,14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{1 \text{ Kw}} \right)$$

$$Q_{ab \text{ chimeneas}} = 2213,76 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Aberturas en el sellado del coche contenedor, paredes y compuertas del horno.

$$Q_{ab} = Q_r(AET) \quad \text{Ec.17}$$

$$A = 0,4676 \text{ m}^2$$

$$Q_{ab} = 5\,898,094 \frac{W}{m^2} (0,4676 m^2)$$

$$Q_{ab} = \left( 2\,757,94 W * \frac{1Kw}{1000w} * \frac{3412,14 \frac{BTU}{h}}{1 Kw} \right)$$

$$Q_{ab \text{ sellos}} = 9410,50 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{ab \text{ total}} = Q_{ab \text{ chimeneas}} + Q_{ab \text{ sellos}}$$

$$Q_{ab \text{ total}} = \left( 2213,76 \frac{BTU}{h} + 9410,50 \frac{BTU}{h} \right)$$

$$Q_{ab \text{ total}} = 11\,624,26 \frac{BTU}{h}$$

#### e) Calor total de entrada en el horno

Se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{entrada}} = \text{poder calorífico de combustible (diesel)} * \text{Número de galones por hora} \quad \text{Ec.13}$$

$$Q_{\text{entrada}} = 132\,000 \frac{BTU}{\text{galon}} * 25,2 \frac{\text{galones}}{h}$$

$$Q_{\text{entrada o total}} = 3\,326\,400 \frac{BTU}{h}$$

#### f) Pérdidas de calor en el horno d homogenizado

Para el cálculo de pérdidas de energía calorífica en el horno de homogenización se plantea la ecuación.

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_t - Q_d \quad \text{Ec.19}$$

$$Q_d = Q_{pi} + Q_{ap} + Q_{pp} + Q_{ab} \quad \text{Ec.20}$$

$$Q_d = 1\,243\,865.75 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 811\,510.33 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 36\,696.031 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 11\,624.26 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_d = 2\,103\,696.37 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_t - Q_d \quad \text{Ec.19}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = \left( 3\,326\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} - 2\,103\,696.37 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 1\,222\,703.62 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Porcentaje de pérdidas:

$$3\,326\,400 \text{ BTU/h} \longrightarrow 100\%$$

$$1\,222\,703.62 \text{ BTU/h} \longrightarrow x$$

$$X = \left( \frac{1\,222\,703.62 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} * 100\%}{3\,326\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \right) = 36.75\%$$

Se está perdiendo un 37% de la energía inyectada en el horno de homogenizado, 20% menos pérdidas que en el consumo actual. En la tabla 3.14, se indica las necesidades de energía actuales e ideales en base al tiempo.

**TABLA 3.14. NECESIDADES DE ENERGÍA EN EL HORNO DE HOMOGENIZADO**

Calor	Período actual de 12 horas BTU/h	Período ideal de 10 horas BTU/h
Calor almacenado en la pieza ( $Q_{pi}$ )	1 036 554, 79	1 243 865, 75
Calor almacenado en las paredes del horno ( $Q_{ap}$ )	676 258, 6	811 510, 33
Calor perdido por paredes ( $Q_{pp.}$ )	36 696, 031	36 696, 031
Calor perdido por radiación en aberturas ( $Q_{ab}$ )	11 624, 26	11 624, 26
Calor disponible ( $Q_d$ ) es la suma de los anteriores	1 761 133, 68	2 103 696, 37
Calor perdido por chimeneas y sellos defectuosos ( $Q_{pérdidas}$ )	2 357 266, 31	1 222 703, 62
Calor total inyectado al horno ( $Q_t$ )	4 118 400	3 326 400

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.11. Análisis de las pérdidas de calor actuales en el horno de homogenización

Analizando la ecuación 17 se despeja el calor de entrada ( $Q_{entrada}$ ), para determinar las pérdidas de calor.

$$Q_{entrada} = Q_d + Q_{perdidas} \quad \text{Ec.19.1}$$

$$4\,118\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 1\,761\,133,68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 2\,357\,266,31 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

El calor de pérdidas se divide en calor perdido por las aberturas de las chimeneas ( $Q_{pab\ chimeneas}$ ) y el perdido por las aberturas de los sellos ( $Q_{pab\ sellos}$ )

$$Q_{perdidas} = Q_{p\ ab\ chimeneas} + Q_{p\ ab\ sellos} \quad \text{Ec.19.2}$$

Las aberturas de las chimeneas y los sellos se indican a continuación:

$$\text{Aberturas chimeneas} = 0,11 \text{ m}^2$$

$$\text{Aberturas sellos} = 0,46 \text{ m}^2$$

$$\text{Abertura total} = 0,57 \text{ m}^2$$

Para determinar el calor perdido por las aberturas de las chimeneas, se relaciona la abertura total de  $0,57 \text{ m}^2$  para un calor total perdido de  $2\,357\,266,31 \text{ BTU/hr}$ , y con la abertura total de las chimeneas de  $0,11 \text{ m}^2$

$$\begin{array}{l} 0,57 \text{ m}^2 \longrightarrow 2\,357\,266,31 \text{ BTU/hr} \\ 0,11 \text{ m}^2 \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{0,11 \text{ m}^2 * 2\,357\,266,31 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{0,57 \text{ m}^2} \right) = 448\,925,37 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Para determinar el calor perdido por las aberturas en los sellos, se relaciona la abertura total de  $0,57 \text{ m}^2$  para un calor total perdido de  $2\,357\,266,31 \text{ BTU/hr}$ , y con la abertura total de las chimeneas de  $0,46 \text{ m}^2$

$$\begin{array}{l} 0,57 \text{ m}^2 \longrightarrow 2\,357\,266,31 \text{ BTU/hr} \\ 0,46 \text{ m}^2 \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{0,46 \text{ m}^2 * 2\,357\,266,31 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{0,57 \text{ m}^2} \right) = 1\,908\,340,93 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Reemplazando la ecuación 19.2 en la ecuación 19.1 se reemplaza valores

$$Q_{\text{entrada}} = Q_d + Q_{p \text{ ab chimeneas}} + Q_{p \text{ ab sellos}} \quad \text{Ec.19.3}$$

$$4\,118\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 1\,761\,133,68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 448\,925,37 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 1\,908\,340,93 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

El calor de pérdidas por aberturas en los sellos ( $Q_{p \text{ ab sellos}}$ ) se divide en calor perdido por las aberturas en los sellos de las compuertas ( $Q_{p \text{ ab sellos compuertas}}$ ) y el calor perdido por las aberturas de los sellos en la carreta ( $Q_{p \text{ ab sellos carreta}}$ )

$$Q_{p \text{ ab sellos}} = Q_{p \text{ ab sellos compuertas}} + Q_{p \text{ ab sellos carreta}} \quad \text{Ec.19.4}$$

Las aberturas de los sellos en las compuertas y en la carreta se indican a continuación:

$$\text{Aberturas de los sellos en las compuertas} = 0,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Aberturas de los sellos en la carreta} = 0,33 \text{ m}^2$$

$$\text{Abertura total en los sellos} = 0,46 \text{ m}^2$$

Para determinar el calor perdido por las aberturas de los sellos en las compuertas, se relaciona la abertura total de  $0,46 \text{ m}^2$  para un calor total perdido de  $1\,908\,340,93 \text{ BTU/hr}$ , y con la abertura de los sellos en las compuertas de  $0,13 \text{ m}^2$

$$0,46 \text{ m}^2 \longrightarrow 1\,908\,340,93 \text{ BTU/hr}$$

$$0,13 \text{ m}^2 \longrightarrow X$$

$$X = \left( \frac{0,13 \text{ m}^2 * 1\,908\,340,93 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{0,46 \text{ m}^2} \right) = 539\,313,74 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Para determinar el calor perdido por las aberturas en los sellos de carreta, se relaciona la abertura total de 0,46 m<sup>2</sup> para un calor total perdido de 1 908 340, 93 BTU/hr y la abertura de los sellos entre la carreta y el horno de 0, 33m<sup>2</sup>.

$$\begin{array}{l} 0,46 \text{ m}^2 \longrightarrow 1\,908\,340,93 \text{ BTU/hr} \\ 0,33 \text{ m}^2 \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \left( \frac{0,33\text{m}^2 * 1\,908\,340,93 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{0,46 \text{ m}^2} \right) = 1\,369\,027,18 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Reemplazando la ecuación 19.4 en la ecuación 19.3 se reemplaza valores

$$Q_{\text{entrada}} = Q_d + Q_p_{\text{ab chimeneas}} + Q_p_{\text{ab sellos compuertas}} + Q_p_{\text{ab sellos carreta}} \quad \text{Ec.19.5}$$

$$4\,118\,400 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 1\,761\,133,68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 448\,925,37 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 539\,313,74 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 1\,369\,027,18 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

### **3.12. Propuestas de optimización para el horno de homogenización de la empresa CEDAL S.A.**

El análisis sobre el horno de homogenizado de la empresa CEDAL S.A, permite encontrar falencias y soluciones para optimizar el funcionamiento de dicho horno mediante propuestas o soluciones, cada una con un análisis de costos que facilita entender la inversión que requiere cada propuesta.

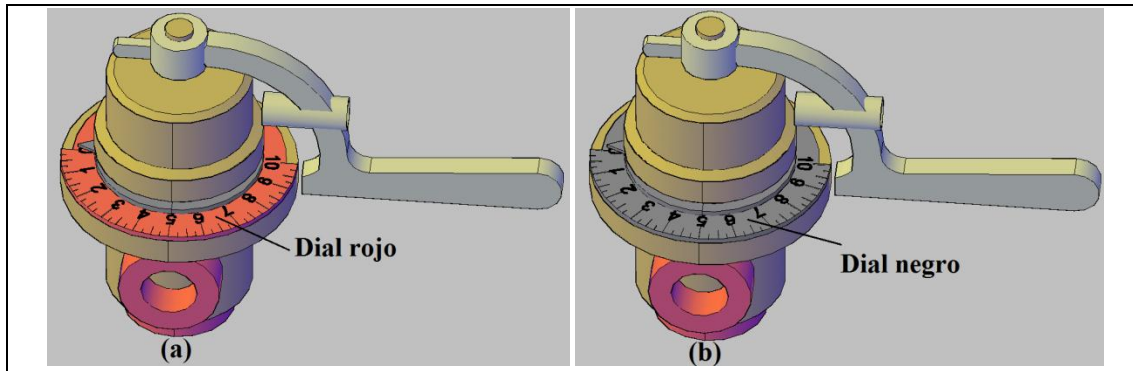
### **3.12.1. Implementación de 3 válvulas sensitrol 1813-03 en los quemadores secundarios de la serie 6422-2**

Existen tres quemadores secundarios instalados en la parte superior del horno de homogenizado, actualmente cada uno posee una válvula sensitrol 1813-02-A para controlar el flujo de combustible. Esta válvula excede la capacidad de flujo que se requiere en el quemador secundario, lo cual dificulta su regulación ya que el caudal de combustible recomendado es de 1,5 gph que para esta válvula significa una posición de ajuste que oscila entre 3 y 4 (capacidad de flujo de 9,37% aproximadamente).

Esta regulación permite un flujo de combustible muy bajo porque de acuerdo a la capacidad de flujo de la válvula 1813-02-A esta se encuentra casi cerrada. La válvula sensitrol 1813-03 posee un caudal de flujo menor lo que permite una posición de ajuste mayor de aproximadamente 5,5 para el caudal recomendado por los fabricantes de 1,5 gph en el quemador secundario, sin presentar inconvenientes porque de acuerdo a las características de esta válvula para dicha regulación le corresponde una capacidad de flujo del 25%.

La principal ventaja de instalar la válvula adecuada en el quemador secundario es permitir un caudal de flujo de combustible eficiente acorde a los requerimientos determinados por los fabricantes y mantener una regulación adecuada de acuerdo a las características de la válvula. En la figura 3.25 (a) se muestra una válvula sensitrol 1813-02-A y en la figura 3.25 (b) se muestra una válvula sensitrol 1813-03.

**FIGURA 3.25. VÁLVULAS SENSITROL: (a) 1813-02-A, (b) 1813-03**



**Fuente:** North American Company.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

La inversión necesaria para adquirir las válvulas sensitrol 1813-03 se indican en la tabla 3.15.

**TABLA 3.15. PROPUESTA DE IMPLEMENTCIÓN DE VÁLVULAS SENSITROL 1813-03 EN QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2. ANALISIS DE COSTOS**

Cantidad	Válvula sensitrol	Precio unitario En dólares	Precio neto En dólares
	Designación		
3	1813-03	\$ 224.00	\$ 672.00

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.12.2. Regulación de las válvulas sensitrol (diesel) y las válvulas mariposa (aire)

La regulación actual de las válvulas de diesel y aire en los quemadores no es la recomendada por los fabricantes lo que afecta la combustión en el horno de homogenización.

Los quemadores actualmente consumen mayor cantidad de combustible debido a una regulación inadecuada en las válvulas de diesel. En la tabla 3.16 se propone la regulación adecuada de acuerdo a cada quemador. Esta propuesta es factible siempre que se mejore el sellado térmico en el horno porque al disminuir el flujo de diesel también lo hará el poder calorífico provocando que se alargue el tiempo.

**TABLA 3.16. PROPUESTA DE REGULACIÓN EN LAS VÁLVULAS SENSITROL**

<b>Quemador</b>	<b>Válvula sensitrol</b>	<b>Caudal de flujo de combustible</b>	<b>Posición de ajuste</b>
6422-5	1813-02-A	6,9 gph	6,6
6422-2	1813-02-A	1,5 gph	3,5

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

En todos los quemadores existe un déficit de aire lo que provoca mayor emanación de monóxido de carbono (CO), debido a una baja regulación en las válvulas de aire. Cada quemador posee tres válvulas mariposa con una misma regulación pero con diferente caudal en cada una de acuerdo al modelo de la válvula. En la tabla 3.17 se propone la regulación adecuada de acuerdo a cada quemador.

**TABLA 3.17. PROPUESTA DE REGULACIÓN EN LAS VÁLVULAS MARIPOSA**

Quemador	Válvula sensitrol	Caudal de flujo de aire	Posición de ajuste
6422-5	1122-1	907 cfh	97%
	1122-5	8 060 cfh	
	1122-0	483 cfh	
6422-2	1122-0	362 cfh	72%
	1122-2	1 376 cfh	
	1122-0	362 cfh	

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

La propuesta de regulación de las válvulas al nivel recomendado por los fabricantes permite principalmente conseguir una combustión más eficiente con valores estequiométricas casi ideales, permitiendo un ahorro económico y de consumo de combustible, como se muestra en la tabla 3.18.

**TABLA 3.18. PROPUESTA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y COSTOS EN LOS QUEMADORES DUAL FUEL**

Consumo de diesel (1galon-\$ 1.06)	6 Quemadores	10 horas	Costo En dólares	12 horas	Costo En dólares
Actual	31,2 (gph)	312 galones	\$ 330,72	374,4 galones	\$ 396,86
Propuesto	25,2 (gph)	252 galones	\$ 267,12	302,4 galones	\$ 320,54

**Fuente:** <http://datos.bancomundial.org/indicador/EP.PMP.DESL.CD/countries?display=default>

**Elaboracion:** Grupo investigador.

### 3.12.3. Regulación de las válvulas mariposa (aire) de acuerdo al caudal actual de combustible

Actualmente las válvulas de diesel se encuentran reguladas a un nivel mayor del recomendado para aumentar el poder calorífico y recompensar las pérdidas por el defectuoso sellado entre el coche contenedor y la carreta, lo que provoca un desequilibrio en la relación aire-combustible de los quemadores. Para el consumo actual de combustible se propone elevar el caudal de aire para mejorar la combustión como se muestra en la tabla 3.19.

**TABLA 3.19. PROPUESTA DE REGULACIÓN DE LAS VÁLVULAS MARIPOSA SEGÚN EL CAUDAL ACTUAL DE COMBUSTIBLE**

Quemador	Válvula sensitrol		Combustión		Válvula mariposa		
	Flujo de diesel		Niveles estequiométricas		Flujo de aire		Regulación
	gph	Kg/h			Kg/h	cfh	
Principal	6,4	20,59	Actual	8,55	175,22	4895	50%
			Propuesto	15	308,85	8579	88%
Secundario	4	12	Actual	4,35	52,2	1450	50%
			Propuesto	8,7	104,4	2900	100%

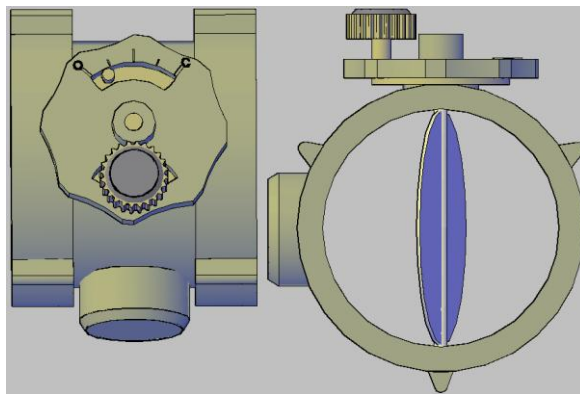
**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

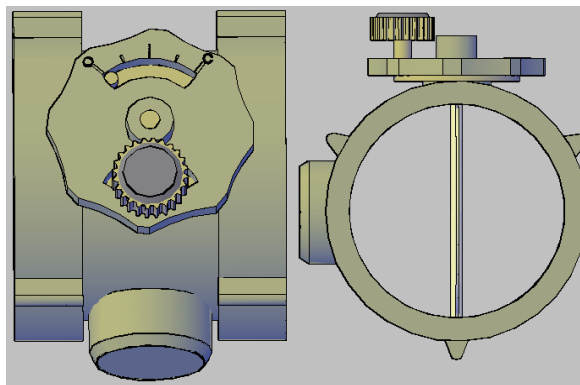
La regulación de las válvulas de aire según el consumo actual de combustible permite mejorar los niveles estequiométricas de combustión y disminuir los niveles de monóxido de carbono al aumentar el caudal de aire. Esta propuesta no requiere inversión económica.

En la figura 3.26, se muestra la propuesta de regulación para las válvulas mariposa en los quemadores principales y en la figura 3.27, se indica la regulación propuesta para los quemadores secundarios.

**FIGURA 3.26. PROPUESTA DE REGULACIÓN PARA LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES PRINCIPALES 6422-5**



**FIGURA 3.27. PROPUESTA DE REGULACIÓN PARA LAS VÁLVULAS MARIPOSA EN LOS QUEMADORES SECUNDARIOS 6422-2**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

#### **3.12.4. Reponer el material de los sellos entre el coche contenedor y el horno de homogenización**

El área total destinada para el kevlar (material de sellado) entre la carreta y el horno de homogenizado es de  $0,50 \text{ m}^2$ , actualmente existe una abertura entre la carreta y los sellos de kevlar de  $0.33 \text{ m}^2$ , las pérdidas de energía actuales por dichas aberturas es de  $1\ 369\ 027,18 \text{ Btu/h}$ .

Para disminuir las pérdidas de energía por fugas se propone reducir el área de las aberturas a  $0,17 \text{ m}^2$  y de manera directamente proporcional incrementar el área de los sellos desgastados como se muestra en la tabla 3.20.

Al mejorar el sellado térmico se consigue disminuir las pérdidas de calor por fugas y reducir el calor total de entrada al horno, permitiendo minorar el consumo de combustible diesel al nivel recomendado por los fabricantes y además acortar el tiempo para regresar al período ideal de trabajo del horno de homogenizado. Los costos necesarios para reponer el kevlar en los sellos se presentan en la tabla 3.21.

**TABLA 3.20. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL SELLADO TÉRMICO CARRETA-HORNO**

Actual	Dimensiones (m)	Aberturas Área (m <sup>2</sup> )	Kevlar Área (m <sup>2</sup> )	Perdidas de energía BTU/h	Periodo de 12 horas	Periodo de 10 horas
					Energía BTU/h	
Carreta	6,400 * 1,900	12,160			Q <sub>d</sub> 1 761 133,68	
Carreta + aberturas (carreta-horno)	6,440 * 1,940	12,494			Q <sub>pab chimeneas</sub> 448 925,37	
Aberturas (carreta-horno)		0,33	0,17	1 369 027,18	Q <sub>pab sellos compuertas</sub> 539 313,74	
					Q <sub>pab sellos carreta</sub> 1 369 027,18	
					Q <sub>t</sub> 4 118 400	
<b>Propuesta</b>						
Carreta + aberturas (carreta-horno)	6,420 * 1,920	12,326			Q <sub>d</sub> 1 761 133,68	Q <sub>d</sub> 2 103 696,37
Aberturas (carreta-horno)		0,17	0,33	705 256,42	Q <sub>pab chimeneas</sub> 231 264,58	Q <sub>pab chimeneas</sub> 231 264,58
					Q <sub>pab sellos compuertas</sub> 277 828,29	Q <sub>pab sellos compuertas</sub> 277 828,29
					Q <sub>pab sellos carreta</sub> 705 256,42	Q <sub>pab sellos carreta</sub> 705 256,42
					Q <sub>t</sub> 2 975 482,97	Q <sub>t</sub> 3 318 045,66

Fuente: Empresa CEDAL S.A. - Elaboracion: Grupo investigador.

**TABLA 3.21. PRECIO DEL MATERIAL KEVLAR**

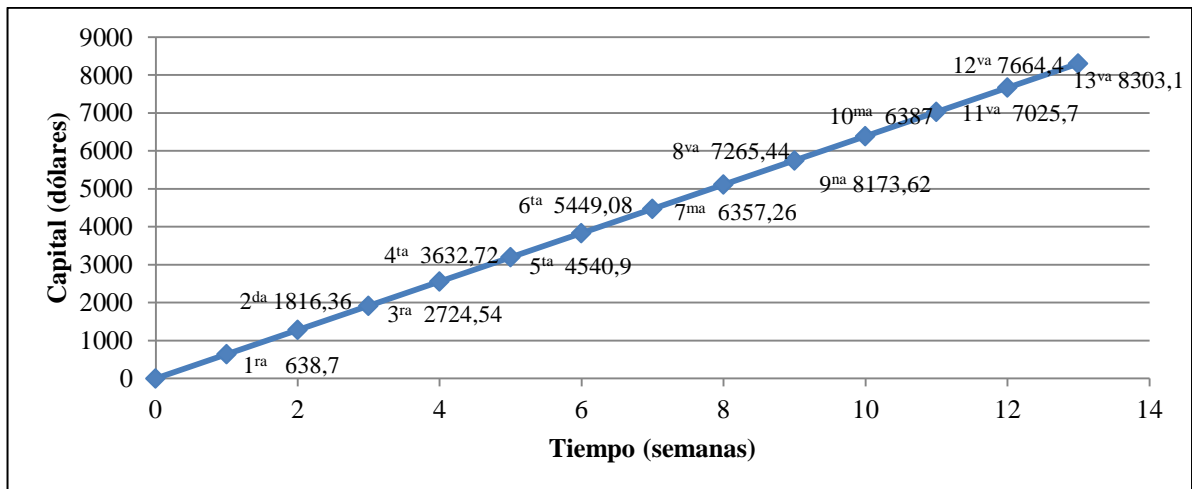
Material	Cantidad	Costo en dólares
Kevlar	1 m <sup>2</sup>	\$ 21 316,00
	0,33 m <sup>2</sup>	\$ 7 034,28

**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

La propuesta de reponer el material de los sellos en el horno de homogenizado y de implementar válvulas sensitrol de menor capacidad en los quemadores secundarios requiere de una inversión económica por parte de la empresa CEDAL S.A, pero al mejorar los sellos del horno se consigue consumir menos combustible y tiempo, permitiendo un ahorro de \$ 129,74 dólares por cada carga que se homogeniza en un periodo de 10 horas. En la figura 3.28 se muestra la recuperación del capital, ya que si la empresa homogeniza un cargamento diario en cinco días ahorraría \$ 638,7 dólares, permitiendo recuperar la inversión entre la doceava y treceava semana.

**FIGURA 3.28. RECUPERACIÓN DEL CAPITAL**



**Fuente:** Empresa CEDAL S.A.

**Elaboracion:** Grupo investigador.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA EMPRESA CEDAL S.A.**

Realizados los cálculos técnicos para solucionar los problemas que se detectó, se determinan las siguientes conclusiones y recomendaciones que permitan mejorar la eficiencia del horno de homogenización de la empresa CEDAL S.A.

### **Conclusiones**

- a. Sobre dimensionamiento de válvulas sensitrol 1813 en los quemadores secundarios de la serie 6422-2.**

Actualmente los tres quemadores secundarios trabajan con válvulas sensitrol 1813-02-A, las cuales sobre pasan sus capacidades de caudal de flujo impidiendo realizar una regulación exacta de acuerdo a los niveles de flujo de diesel que recomiendan los fabricantes, ya que cada quemador secundario requiere 1,5 galones por hora de diesel para realizar una combustión eficiente.

Caudal que corresponde a una posición de ajuste de 3,5 aproximadamente en la válvula sensitrol 1813-02-A, en esta regulación de acuerdo a las características dadas por los fabricantes la válvula se encuentra casi cerrada lo que impide un fluido normal del combustible.

**b. Consumo de diesel en los quemadores principales y secundarios mayor al recomendado por los fabricantes.**

El consumo recomendado de combustible en los seis quemadores es de 25,2 galones por hora de diesel para alcanzar un poder calorífico de 3 326 000 BTU/h considerando un régimen de pérdidas de calor de 1 222 700 BTU/h. Actualmente por sellos en mal estado las pérdidas han aumentado a 2 357 266 BTU/h retrasando el periodo de homogenizado a doce horas, para recompensar estas pérdidas el calor de entrada generado por los quemadores dual-fuel es de 4 118 400 BTU/h aproximadamente provocando un consumo de combustible de 31,2 galones de diesel por hora, mayor al planteado por los fabricantes.

**c. Regulación deficiente de las válvulas sensitrol (diesel) y las válvulas mariposa (aire) en los quemadores principales y secundarios.**

La regulación ideal de la válvula sensitrol en el quemador principal es de 6,6 para permitir un flujo de diesel de 6,9 gph (galones por hora) y en el quemador secundario la regulación es de 3,5 para un flujo de 1,5 gph. Actualmente la regulación del quemador principal es de 6,5 con un flujo de 6,9 gph y en el quemador secundario la regulación es de 5,5 con un flujo de 4 gph, provocando un consumo mayor de combustible. La regulación ideal de las válvulas mariposa en el quemador principal es del 96% para permitir un flujo de aire de 9 450 cfh (pies cúbicos por hora) y en el quemador secundario la regulación es del 72% para un flujo de 2 100 cfh. Actualmente la regulación del quemador principal es del 50% con un flujo de 4 895 cfh y de la misma manera en el quemador secundario la regulación es del 50% con un flujo de 1 450 cfh, provocando un consumo menor de aire.

**d. Defectuosa combustión producida por relación aire-combustible deficiente en quemadores principales y secundarios.**

La proporción aire-combustible recomendada por los fabricantes para controlar el flujo de combustible y aire en los quemadores es de 9 450 cfh de aire con 6,9 gph dediesel en los quemadores principales y de 2 100 cfh de aire con 1,5 gph de diesel en los quemadores secundarios. Actualmente los quemadores principales consumen 4 895 cfh de aire con 6,4 gph de diesel y los quemadores secundarios consumen 1 450 cfh de aire con 4 gph de diesel. Este déficit de aire provoca una combustión deficiente con niveles estequiométricos bajos de 8 y 4 para el quemador principal y secundario respectivamente, siendo lo ideal 15, además los bajos niveles de aire provocan mayor emanación de monóxido de carbono (CO) de 350 ppm (partículas por millón) aproximadamente, sobre pasando los niveles establecidos por el municipio del distrito metropolitano de Quito que determina que los valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión es de 150 ppm.

**e. Mal estado de los sellos del horno de homogenizado.**

Las pérdidas de calor más elevadas se presentan por fugas en los sellos entre la carreta o coche contenedor y el horno de homogenizado, debido a un desgaste en el material de sellado (Kevlar) por culminación del tiempo de vida útil del mismo, presentando aberturas entre los sellos del horno y la carreta de aproximadamente  $0,33\text{m}^2$  con pérdidas de calor de aproximadamente 1 369 027,18 BTU/h.

## **Recomendaciones**

- Implementar las válvulas sensitrol adecuadas en los quemadores secundarios de acuerdo a la capacidad de flujo de los mismos, para permitir una regulación más exacta sin impedir el fluido normal del combustible.
- Mantener una regulación en las válvulas de diesel y aire acorde a la recomendada por los fabricantes para proporcionar una relación aire-combustible eficiente con niveles estequiométricos de combustión ideales que oscilen en un valor de 15.
- Conocer y tomar en cuenta para trabajos de mantenimiento o recambio el tiempo de vida útil del material de los sellos (kevlar) el cual es de 3 años aproximadamente para temperaturas mayores a los 600°C.
- Reparar totalmente el aislamiento térmico, en las áreas mencionadas y lograr un importante ahorro energético de aproximadamente 792 000 BTU/h que permita aplicar en las válvulas la regulación recomendada por los fabricantes y conseguir un ahorro de combustible de 6 gph de diesel.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES INVESTIGATIVAS**

El proyecto de investigación permite determinar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

## Conclusiones

- La investigación bibliográfica permitió realizar un análisis crítico y detallado de la información facilitada por la empresa CEDAL S.A., sobre la estructura y funcionamiento del horno de homogenizado, y a encontrar teoría que fundamente la importancia de contar con un proceso de homogenización eficiente que influya de manera positiva en la calidad del producto final.
- El análisis técnico realizado sobre el horno de homogenizado, facilito entender los fenómenos físicos y químicos que se presentan durante la combustión producida por los quemadores de dicho horno y su influencia en el medio ambiente, además permitió establecer hipótesis sobre los factores que estarían afectando el rendimiento del horno e ir descartando ideas para encontrar el estado actual en el que se encuentra operando.
- El estudio sobre el funcionamiento actual y el ideal recomendado por los fabricantes del horno de homogenizado, ayudo a generar una comparación que revela los factores que requieren ser mejorados para alcanzar un nivel óptimo de funcionamiento, acorde a las especificaciones de los fabricantes.
- Los cálculos finales permiten proponer acciones puntuales de corrección, sobre los factores que necesitan ser mejorados para conseguir una optimización con un mejor consumo de los recursos energéticos y económicos, por parte del horno de homogenizado de la empresa CEDAL S.A.
- Después de la finalización del proyecto es preciso establecer que se cumplió con todas las necesidades y objetivos que fueron planteados por parte de los investigadores.

## Recomendaciones

- Buscar las fuentes bibliográficas necesarias de acuerdo a la temática que ayuden a comprender la ciencia y la materia que se analizará, y facilite un desarrollo sistemático y comprensible de la investigación.
- Para realizar el estudio de un equipo térmico se recomienda contar con catálogos o folletos que permitan observar la estructura de la máquina a estudiar y su funcionamiento.
- Es importante adquirir los manuales de los fabricantes del equipo para tener en cuenta sus especificaciones y facilitar de esta manera el análisis al conseguir un punto de referencia del cual partir o al que se desea llegar.
- Investigar la estructura y el funcionamiento de los dispositivos más esenciales que componen el equipo a estudiar, para establecer las condiciones más adecuadas de trabajo.
- Realizar cálculos basados en el principio de operación de la máquina, en el caso de equipos térmicos se recomienda un balance de energía que ayude a determinar las cantidades de calor exactas que deben destinarse a cada zona del equipo o el proceso.
- Al identificar los factores que provocan el desbalance de energía, se recomienda proponer soluciones mediante cálculos, que permitan restablecer o mejorar el equilibrio de energía al interior del equipo térmico.

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía Citada

- BÁDENAS, Aparicio y RODRÍGUEZ, Daniel. Aleaciones ligeras, Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2001.
- LEYENSETTER, A., y WURTEMBERGER, G. Tecnología de los oficios metalúrgicos, Editorial Reverté, Alemania, 2006, págs. 173, 174.
- CALLISTER, William. Ciencia e ingeniería de los materiales, Editorial Reverté, México, 2000, págs. 32, 33, 34, 81, 82, 96, 97.
- HUFNAGEL, W. Manual del aluminio volumen I, Editorial Reverté, España, 2000, págs. 1, 298.
- SHEPPARD, T. Extrusion of aluminium alloys, Ediciones Kluwer academic publishers, Holanda, 1999, pág. 205.
- MOLERA, Pere. Tratamientos térmicos de los metales, Ediciones Marcombo S.A., España, 1991, págs. 56,111.
- ABRIL, Eduardo. Metalurgia técnica y fundición, Ediciones Alsina, Argentina, 1993, págs. 56, 111.
- KUCHER, A. Tecnología de metales, Ediciones Mir Moscú, Rusia, 1987, págs. 11, 12, 13, 14, 15.

- RAMIREZ, Angel. Calderos pirotubulares, facultad de mecánica, Escuela politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2000, págs. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 61, 63, 65, 67.
- CENGEL, Yunus. Transferencia de calor, Tercera edición, Grupo editorial Mc Graw Hill, Universidad de Nevada, EE.UU, 2007, págs. 11, 12, 13, 17, 25, 27, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138.
- CENGEL, Yunus. Transferencia de calor, Segunda edición, Grupo editorial Mc Graw Hill, Universidad de Nevada, EE.UU, 2004, págs. 12, 13, 19, 23, 25, 27, 419, 459.
- INCROPERA, Frank y DEWITT, David. Fundamentos de transferencia de calor, Ediciones Prentice Hall, México, 1999, págs. 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26.
- MIRANDA, Ángel y SAINERO, Sergio. Métodos numéricos aplicados a la transmisión de calor, Grupo editorial Ceac S.A., España, 2002, págs. 39, 42, 43, 44, 45, 46.
- PIÓRISHKIN, A. y RÓDINA, N. Física 1, Editorial Mir Moscú, Rusia, 1986, págs. 149, 150, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 161, 163, 169.

### **Bibliografía Consultada**

- HERNÁNDEZ, Roberto y otros. Metodología de la Investigación, cuarta Edición, Ediciones LOM, España, 2006.

- RUIZ, J. Metodología de la investigación cualitativa, Editorial Universidad de Deusto, España, 1996.

### **Bibliografía Virtual**

- [http://www.otto-junker.de/data/2/media/downloads/2010-11-International-Aluminium-Journal-Billet-homogenising-batch-or-continuous-3\\_4cd814bef3865.pdf](http://www.otto-junker.de/data/2/media/downloads/2010-11-International-Aluminium-Journal-Billet-homogenising-batch-or-continuous-3_4cd814bef3865.pdf) obtenida el 12/08/2011
- <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/kevlar/Archivos/3.htm> publicado (2005) y obtenida el 14/10/2011
- [http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas\\_tecnicas.pdf](http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf) obtenida el 18/12/2011
- <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=transmision%20de%20calor%20powerpoint> obtenida el 20/12/2011
- <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/viewFile/375/385> obtenida el 22/12/2011
- <http://www.cds.espol.edu.ec/documentos/Apuntes%20de%20Combustion.pdf> obtenida el 22/12/2011

