CERTIFICACIÓN

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema "***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EMPLEANDO GLP COMO COMBUSTIBLE***", previa a la obtención del titulo de **INGENIERO ELECTROMECÁNICO**, realizado por los señores egresados**:** ***Juan Fernando Collahuazo Durazno, Lenin Euclides Morocho Pizarro, Manuel Ángel Pullaguari Pullaguari*** la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Diciembre del 2009

……

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

JUAN FERNANDO COLLAHUAZO DURAZNO, LENIN EUCLIDES MOROCHO PIZARRO, MANUEL ÁNGEL PULLAGUARI PULLAGUARI como autores intelectuales de este trabajo de tesis, autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables; hacer uso del presente documento en lo que se crea conveniente.

…..…….. ……

JUAN FERNANDO COLLAHUAZO DURAZNO ***LENIN EUCLIDES MOROCHO PIZARRO***

……..……

MANUEL ÁNGEL PULLAGUARI PULLAGUARI

DEDICATORIA

El presente proyecto de Tesis, lo dedicamos especialmente:

A Paquita, amiga esposa y amante por haber compartido tantos hermosos momentos, a Fer, Santi y Juanpis mi razón de mi vivir y mi fortaleza diaria. A mis padres que con su ejemplo han sido fuente incomparable de educación, a mis hermanos por ser un ejemplo constante de superación. Y en el cielo a la Pinita un ángel que confía en mi.

Juan Fernando

A mis padres que con mucho sacrificio me formaron un hombre de bien, a mi querida hermana, y a quienes siempre creyeron en mí, y me han dado el apoyo necesario para realizar y culminar una de mis más grandes metas.

Lenin Euclides Morocho Pizarro

A mi madre, hermanas y hermanos como mucho cariño, quienes siempre creyeron en mí y me han dado el impulso necesario para culminar uno de mis más grandes anhelos.

Manuel Ángel Pullaguari Pullaguari

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Nacional de Loja y al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables por habernos brindado la oportunidad de formarnos dentro de sus aulas y de esta manera conseguir uno más de nuestros proyectos de vida.

A nuestras familias motivadoras permanentes para nuestra superación.

Al Ing. Gonzalo Riofrío, por su aporte profesional en el desarrollo del presente trabajo.

A los docentes y personal administrativo del Área, que han servido de aporte para nuestra formación profesional.

"GRACIAS"

1. RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto realizar el diseño y construcción de un horno para tratamiento térmico utilizando GLP como combustible, teniendo en cuenta la disponibilidad, rentabilidad y capacidad calórica de este gas y sus potencialidades para el calentamiento de piezas. Se desarrollan los cálculos mecánicos y térmicos de los elementos constructivos del horno, la selección de los materiales para su construcción y de las instalaciones para el consumo del GLP, así como de los dispositivos de control automático de temperatura. La puesta en explotación del horno utilizando GLP como combustible, para la realización de las prácticas de tratamiento térmico en la UNL con fines académicos y semi-industrial, permite reducir los costos de funcionamiento y minimizar las afectaciones en la estabilidad del sistema de suministro eléctrico que provoca la operación del horno de mufla actualmente instalado.

I. SUMMARY

The present work has for object to carry out the design and construction o fan oven for thermal treatment using GLP like fuel, keeping in mind the readiness, profitability and caloric capacity of this gas and its potentialities for the heating of pieces. The mechanical and thermal calculations of the constructive elements of the oven are developed, the selection of the materials for their construction and of the facilities for the consumption of the GLP, as well as of the devices of automatic control of temperature. the setting in exploitation of the oven using GLP like fuel, for the realization of the practices of thermal treatment in the UNL with academic and semi-industrial ends, it allows to reduce the operation costs and to minimize the affectations in the stability of the system of electric supply that causes the operation of the muffle oven at the moment installe.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN ..... **I**
DECLARACIÓN DE AUTORÍA ..... **II**
DEDICATORIA ..... **III**
AGRADECIMIENTO ..... **IV**
1. RESUMEN ..... **V**

ÍNDICE ..... **VI**

2. INTRODUCCIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES **1**

2.2 ESTADO DEL ARTE 3

2.3 MARCO CONTEXTUAL 6

2.3.1 Situación Problemática 6

2.3.2 Problema científico 7

2.3.3 Hipótesis 7

2.3.3.1 Hipótesis general

2.3.4 Objetivos 8

2.3.4.1 Objetivo general

2.3.4.2 Objetivos específicos

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS **9**

3.2 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO 10

3.3 TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO 10

3.3.1 Temple 11

3.3.2 Revenido 13

3.4 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE 14

3.4.1 Determinación de los puntos de transformación o críticos 14

3.4.1.1 Diagrama Fe-C 16

3.4.2 Ensayos físico-mecánicos del material después del tratamiento térmico 22

3.4.2.1 Ensayos químicos 22

3.4.2.2 Ensayos físicos 22

3.4.2.3 Ensayos métalográficos 22
3.4.2.4 Ensayos mecánicos 22
3.4.2.4.1 Ensayos de tracción 22
3.4.2.4.2 Ensayos de resistencia 23
3.4.2.4.3 Ensayos de dureza 23
3.4.2.4.3.1 Ensayo Brinell 23
3.4.2.4.3.2 Ensayo Vickers 25
3.4.2.4.3.3 Ensayo Rockwell 25
3.4.3 Defectos del Tratamiento Térmico 26
3.4.4 Defectos durante el Tratamiento Térmico 27
3.5 HORNOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS 28
3.5.1 Clasificación de los Hornos 28
3.5.1.1 Hornos de hogar abierto……..……..29
3.5.1.2 Hornos con cámara abierta (calentado con gas) 29
3.5.1.3 Hornos de mufla (calentado con gas) 29
3.5.1.4 Hornos de baño líquido (calentado con gas) 30
3.5.2 Método de inyección del combustible 32
3.5.2.1 Inyección directa 32
3.5.2.2 Combustión arriba 33
3.5.2.3 Combustión por debajo 33
3.5.3 Métodos para economizar calor 33
3.5.3.1 En los recuperadores 33
3.5.3.2 En los regeneradores 34
3.5.4 El control automático 34
3.5.5 Atmósferas especiales 35
3.5.6 Medición de la temperatura 38
3.5.6.1 Pirómetro con par termoeléctrico 38
3.5.6.2 Pirómetro de radiación 40
3.5.6.3 Pirómetro óptico 41
3.5.7 Medios enfriadores 42
3.5.8 Aislamientos térmicos 43
3.5.8.1 El rendimiento 44
3.5.8.2 Altas temperaturas [más de 830°C (1500°F)] 44
3.5.8.2.1 Aislamientos de relleno suelto 45

3.5.8.2.2 Aislamientos rígidos 45
3.5.8.2.3 Aislantes reflejantes 45
3.5.8.2.4 Cementos aislantes 45
3.5.9 Refractarios 45
3.5.9.1 Tipos de refractarios 46
3.5.9.1.1 Refractarios de arcilla 46
3.5.9.1.2 Los ladrillos de sílice 47
3.5.9.1.3 Ladrillos de magnesita 47
3.5.9.1.4 Ladrillos de cromo 47
3.5.9.1.5 Ladrillos refractarios aislantes 47
3.5.9.2 Selección de refractarios 48
3.5.9.3 Morteros 48
3.6. LOS GASES 49
3.6.1 Familias de gases 49
3.6.2 Los GLP 50
3.6.2.1 Obtención 50
3.6.2.2 Propiedades y Características 51
3.6.2.2.1 Peso 51
3.6.2.2.2 Peso Específico, gravedad específica 51
3.6.2.2.2.1 En relación al Agua 51
3.6.2.2.2.2 En relación al Aire 52
3.6.2.2.3 Punto de ebullición 52
3.6.2.2.4 Capacidad de Vaporización 52
3.6.2.2.5 Poder Calorífico 53
3.6.2.3 Usos y Aplicaciones 53
3.6.3 Puntos de rocío 54
3.6.4 Índice de woobe 55
3.6.5 Limite de Inflamabilidad 59
3.6.6 Aire requerido para la combustión completa 60
3.6.7 Combustión del GLP 60
3.6.8 Reacciones de la combustion 62
3.6.9 la llama 62
3.6.9.1 Temperatura de la llama 63
3.6.9.2 Velocidad de propagación de la llama 64

3.6.9.3 Los Humos.Su calor y rendimiento térmico 64
3.6.10 Evacuación de los productos de la combustion..... 67
3.6.11 Toxicidad..... 68
3.7 Quemadores de gas 69
3.7.1 Quemadores con aire previo a la combustión 69
3.7.2 Quemador atmosférico 70
3.7.3 Quemadores de mezclado en cabeza..... 70
3.7.3.1 Quemadores con mezcla preformada 71
3.7.3.2 Quemadores especiales 73
3.7.3.2.1 Quemadores de tubos radiantes..... 73
3.7.3.2.2 Quemadores de llama en espiral 73
3.7.4 Dispositivos de Seguridad..... 74
3.8 Instalaciones para el consumo de los GLP..... 75
Instalaciones domesticas
Instalaciones comerciales e Industriales
3.8.1 Recipientes 75
3.8.1.1 Tanques 75
3.8.1.1.1 Vaporización de tanques 76
3.8.1.2 Cilindros..... 76
3.8.1.2.1 Vaporización de cilindros de 45Kg..... 76
3.8.2 Tuberías, acoplamientos y conexiones..... 77
3.8.2.1 Tuberías..... 77
3.8.2.1.1 Tuberías de Cobre 77
3.8.2.1.2 Tuberías de Acero 79
3.8.2.2 Acoplamientos y Conexiones..... 79
3.8.2.2.1 Uniones por compresión o autosellantes..... 80
3.8.2.2.2 Uniones por conexiones roscadas 80
3.8.3 Reguladores..... 80
3.8.3.1 Partes Fundamentales del Regulado..... 82

4. MATERIALES Y MÉTODOS
4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO 84
4.2 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL HORNO..... 85
4.2.1 Dimensiones de la cámara..... 86

4.2.2 Cálculo térmico 88
4.2.2.1 Calor generado por los quemadores 89
4.2.2.2 Calor necesario para calentar las piezas 89
4.2.2.3 Calor cedido para calentar la bandeja 90
4.2.2.4 Calor perdido al calentar el aire puede entrar en la cámara del horno..90
4.2.2.5 Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando el horno se carga y se descarga 90
4.2.2.6 Calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno 91
4.2.2.7 Calor que sale para el calentamiento de las paredes 91
4.2.2.7.1 Calor que sale para el calentamiento de la base 91
4.2.2.7.2 Calor que sale para el calentamiento de la pared lateral 92
4.2.2.7.3 Calor que sale para el calentamiento de la cúpula 92
4.2.2.7.4 Calor Total de las paredes 93
4.2.2.8 Balance Térmico 93
4.2.2.9 Selección del regulador de primera y segunda etapa 94
4.2.2.9.1 Regulador de primera etapa (alta presión) 94
4.2.2.9.2 Regulador de segunda etapa (baja presión)……..... 94
4.2.3 Cálculo de la estructura del horno 95
4.3 MATERIALES 96
4.3.1 Selección de los materiales de la estructura 96
4.3.2 Selección del refractario 97
4.4 CONTROL DE TEMPERATURA 98
4.4.1 Selección del Quemador 99
4.4.1.1 Disposición del quemador y elección del sistema de inyección en la cámara 99
4.4.2 Selección y ubicación de los dispositivos de control de temperatura 99
4.4.3 Selección de los dispositivos de control automático y establecimiento de los lazos de control 100
4.5 SELECCIÓN DE LAS INSTALACIONES PARA EL CONSUMO DE GLP 101

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
5.1 RESULTADOS PRÁCTICOS 102

Calculo Térmico
5.1.1 Calor cedido para calentar la pieza 102
5.1.2 Calor cedido para calentar la bandeja 103
5.1.3 Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno 104
5.1.4 Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando el horno se carga y se descarga 105
5.1.5 Calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno 105
5.1.6 Calor que sale para el calentamiento de las paredes 106
5.1.6.1 Calor que sale para el calentamiento de la base 107
5.1.6.2 Calor que sale para el calentamiento de la pared lateral 108
5.1.6.3 Calor que sale para el calentamiento de la cúpula 110
5.1.6.4 Calor Total de las paredes 111
5.1.7 Balance Térmico 112
5.1.8 Selección del regulador de primera y segunda etapa 112
5.1.8.1 Regulador de primera etapa (alta presión) 112
5.1.8.2 Regulador de segunda etapa (baja presión) 112
5.1.9 Calculo de la estructura del horno 113
5.2 VALORACIÓN ECONÓMICA 119
5.2.1 Costos de construcción 119
5.2.2 Evaluación comparativa con otros medios de tratamiento térmico 122
5.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DEL HORNO 122
5.3.1 Sistema de mantenimiento del horno 123
5.4 VALORACIÓN ECOLÓGICA Y AMBIENTAL 125
5.4.1 Toxicología 125
5.4.2 Seguridad durante el Tratamiento Térmico 127
5.4.3 Incidencia de los gases de la combustión sobre el medio ambiente 128
5.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS 129

CONCLUSIONES 131
RECOMENDACIONES 132
BIBLIOGRAFÍA 133
ANEXOS

2. INTRODUCCIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Nuestros antepasados metalúrgicos se las ingeniaron para producir la modificación de las propiedades del hierro, rodeándolo totalmente de carbón de leña y provocando la combustión de este último. y es asi que en el año de 1343 A.C ya se conoce el Puñal Tutamkhamen. Para el año 1750 A.C encontramos el historico Espada de Hierro de Dorak, y otros indicios y algunas muestras que en estos remotos años se conocia y utiliza el hierro como metal muy raro y escaso, probablemente utilizaban el hierro meteorico.

Los tratamientos termicos estan intimamente ligados a los distintos procesos y técnicas empleadas en la fabricacion y procesamiento del hierro y del acero. La época mas próxima que se descubrió la técnica de modificar las propiedades del acero data entre los años 250-1000 A.C utilizada por los griegos dada la necesidad de buscar un endurecimiento de sus armas de caza y de guerra.

Los métodos rudimentarios que disponían para activar la combustión, no permitían lógicamente obtener una temperatura lo suficientemente elevada y estable para conseguir dichos cambios en el metal. En su lugar, obtenían una pieza con temperaturas demasiado bajas que había que martillar repetidamente al rojo vivo para mejorar las propiedades de los metales. Estos martilleos, además lo endurecían consiguiendo así barras de hierro forjado resistente y maleable, que no eran otra cosa que un tratamiento primitivo del acero.

La aparicion de los primeros hornos para tratamientos térmicos estan relacionados a los hornos que se utilizaron desde el año 350 A.C cuando en el Oriente Medio se comienza a fabricar el hierro con cierta regularidad; En la siguiente etapa D.C ya empiezan una produccion mas continua con la utilizacion del Alto Horno en los siglos XIII y XIV (Stuckofen) comienza la fabricacion de la fundicion en Europa. Luego de este se han venido mejorando continuamente los tipòs de hornos es asi que tenemos una progresion que lo resumimos en las siguientes fechas:

- Hornos Bajos (Bloomerias) 1400 D.C
- Hornos para Cementacion (Belgica y resto de Europa)1550 D.C
- Horno de Crisol (Hutsman) 1740
- Horno de Cubilote 1795

Los hornos de tratamiento térmico deben estar diseñados para que mantengan una temperatura exacta en toda la cámara de calentamiento. El caldeo eléctrico y los quemadores de gas son empleados casi siempre, los quemadores de aceite se utilizan con menor frecuencia. Se engendra calor a través de un conductor eléctrico cuando lo atraviesa la corriente eléctrica: alambre, varillas de metal o barras de carburo de silicio son los elementos usuales de caldeo.

Tipos de Hornos.

Los hornos pueden ser de tres tipos: discontinuos, continuos y de baño líquido:

- Los hornos discontinuos son adecuados para producciones cortas, para piezas grandes o de geometría complicada y para tratamientos térmicos que exijan mucho tiempo.
- Los hornos continuos son más económicos en producciones relativamente grandes.
- Los hornos de baño líquido para todas las operaciones del tratamiento térmico.

Los hornos discontinuos pueden tener la mufla vertical y horizontal, según la forma de cargarse o descargarse el material, y están compuestos de material refractario, cubierta metá1ica y su respectiva puerta de acceso.

Los hornos continuos se hallan equipados con su mecanismo de transporte del material a través del horno. Frecuentemente están divididos en varias zonas térmicas que pueden trabajar a temperatura diferente, a fin de controlar la velocidad de calentamiento, el tiempo de permanencia a la temperatura de calentamiento y la velocidad de enfriamiento.

Los hornos de baño líquido, calientan el material en plomo fundido o mezclas de sales fundidas.

Con diferentes composiciones de las sales es posible cubrir un intervalo de temperatura de trabajo comprendido entre 150°C - 1350°C.

Los hornos de atmósfera controlada son parecidos a los hornos convencionales, pero la cámara de estos hornos no admite la entrada de aire o gases de combustión porque en ella se mantiene la atmósfera especial a una presión ligeramente superior a la atmosférica; rodeando el material y evitando la infiltración de aire.

2.2 ESTADO DEL ARTE

Según Lajtin (1973) el tratamiento térmico de los aceros se define como la operación o serie de operaciones que implican el calentamiento y enfriamiento del acero en estado sólido, con el fin de modificar sus características mecánicas. Estas características mecánicas se modifican para acomodarlas al empleo mediante tratamientos térmicos destinados a alterar la forma y distribución de los carburos, el tamaño del grano o la estructura cristalina del acero.

El fino grano de los aceros de grano grueso, bien sea acero moldeado o acero forjado y laminado a elevadas temperaturas, y el aumento de la resistencia, son los resultados más frecuentemente buscados mediante el tratamiento térmico (Kuzmin, Moscú 1984).

Toda operación de tratamiento térmico está basada en ciclos definidos de: *tiempo-temperatura* (Martínez, 1985). Estos ciclos incluyen tres etapas:

1. Calentamiento
2. Mantenimiento
3. Enfriamiento

Para lograr el calentamiento y mantenimiento de la pieza a la temperatura requerida por el tratamiento térmico que se ejecute, se requiere el empleo de hornos.

Los hornos para tratamiento térmico pueden ser con hogar abierto, de semimufla, de mufla, de doble cámara y hornos para baños salinos (Lai, 1992).

De acuerdo con (Ohring 1995), los requisitos que deben tener los hornos para tratamientos térmicos son:

1. *Calentamiento uniforme de la carga.* Esto es necesario para evitar la distorsión de los componentes ocasionada por una expansión desigual.
2. *Control preciso de la temperatura*. Las temperaturas relativas al tratamiento térmico son críticas. Por tal razón no solamente deberá operar el horno con un margen amplio de temperaturas, sino que habrá de ser ajustable con facilidad y precisión a la temperatura requerida.
3. *Estabilidad térmica*. No solamente es esencial que la temperatura sea ajustable con precisión, sino que, una vez ajustada, el horno deberá continuar en dicha temperatura. Esto se logra bien sea haciendo que la masa del revestimiento interior del horno (refractario) sea mucho mayor que la masa de la carga, o aplicando algún mecanismo automático de control.
4. *Control de la atmósfera.* Si la carga se calienta en presencia del aire, la superficie del metal resulta cubierta con muchas escamas es decir, el oxígeno del aire reacciona con el metal de la carga formando óxidos en la superficie de los componentes que forman la carga. Esto altera la aleación del material del componente en su superficie, y altera su temple y rigidez. Por otra parte, si los productos del gas o de los combustibles de petróleo se ponen en contacto con la carga, el contenido sulfuroso aumenta lo que ocasiona fragilización. Para lograr el control atmosférico, el aire del horno se sustituye con algún variante de gas inerte que no reaccione con los materiales del componente. En forma alternativa, la carga se sumerge en sales calientes fundidas.
5. *Uso económico del combustible.* Este aspecto es esencial desde el punto de vista del costo del tratamiento térmico, por lo cual este debe mantenerse al mínimo. Si el horno se puede hacer funcionar en forma continua, con turnos de trabajo consecutivos, se realizan considerables economías. El combustible requerido para calentar el horno cuando se encuentra frió es mucho mayor que el que se necesita para su funcionamiento continuo. Por otra parte, la expansión y contracción continúas del revestimiento del horno, por razón de su empleo intermitente, da lugar a grietas y fallas en dicho revestimiento interior. Por tal motivo resulta más económico que los talleres mecánicos pequeños contraten

sus tratamientos térmicos con empresas especializadas, en lugar de realizar el proceso térmico sobre una base intermitente.

6. *Bajos costos de mantenimiento.* El horno esta revestido con un material resistente al calor, tal como los ladrillos refractarios, como el horno debe cesar su servicio cada vez que renueva su revestimiento interior, deberá ser diseñado para que dicho revestimiento dure tanto como sea posible. Por este motivo no es económico el hacerlo funcionar por ningún motivo a su máxima temperatura de operación o a otra temperatura superior.

Existen diferentes medios para el calentamiento del horno. Para una adecuada selección del mismo debe realizarse un estudio de los costos de instalación y explotación, la limpieza de la operación, la adaptabilidad al control de la temperatura, la mano de obra necesaria y los efectos de cada medio de calentamiento sobre el recubrimiento del horno (Wolmer, 1980).

Entre los medios de calentamiento, destaca el empleo del GLP como combustible para producir el calentamiento de pieza, teniendo en cuenta su disponibilidad, rentabilidad y capacidad calórica .

Con las siglas GLP, se designan a aquellos gases que, obtenidos como subproductos o derivados del petróleo, se conservan, y transportan en forma líquida a cuya circunstancia deben su nombre genérico de GLP o gases licuados del petróleo si bien a esta masa líquida le acompaña siempre o casi siempre una bolsa o cámara de fase gaseosa.

De acuerdo con Kawama (1992), el GLP tiene las siguientes características:

- Densidad relativa (aire=1): 1.562.
- Peso específico: 2.020 Kp/ Nm^3
- Volumen específico: 0.495 Nm^3/Kp
- Poder calorífico:

  En volumen: 24.350 Kcal/ Nm^3

  En masa: 12.060 Kcal/ Nm^3

Para la obtención del GLP, el petróleo se somete a una operación, denominada destilación (Jones, 1998) mediante la cual se van separando ordenadamente, de acuerdo con sus densidades y puntos de ebullición, otros componentes o productos derivados del petróleo: gasolinas ligeras, kerosén, butano, propano, gas-oil, fuel-oil y aceites pesados.

Los gases butano y propano son hidrocarburos, es decir, compuestos de hidrógeno y carbono. Cada molécula del primero está formada por cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno, por lo que su fórmula química será C_4H_{10} y el propano por tres y ocho respectivamente: C_3H_8. Son compuestos en los que el número de átomos de hidrógeno es el doble, más dos de átomos de carbono o sea responden a la fórmula general de hidrocarburos del tipo: $C_nH_{2n}+2$

Estos son los hidrocarburos químicamente puros porque en la realidad, lo que se oferta comercialmente es una determinada mezcla de butano y propano en la que predomina aquel que da nombre al producto. Sin embargo para los fines propuestos en la presente investigación, este reúne las características exigidas.

2.3 MARCO CONTEXTUAL

2.3.1 Situación Problemática

En los laboratorios del Área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables, no se cuenta con un sistema que permita realizar prácticas continuas de tratamiento térmico, con fines académicos e industriales, para evaluar cambios en la dureza de las piezas así como en las transformaciones que se operan en la microestructura del metal, tanto de probetas como de elementos de máquinas.

Solo se cuenta con un horno de mufla que funciona con un sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas; pero este sistema tiene el inconveniente de reportar costos demasiado elevados al tener que mantenerse encendido varias horas, hasta lograr las temperaturas de calentamiento y sostenimiento requerida por el tratamiento térmico que se realice.

Se ha podido constatar además, que a pesar de que se dispone de un banco de transformadores en el área de talleres, la alta demanda de energía del horno de mufla produce una caída de tensión que afecta una serie de equipos eléctricos y electrónicos de la universidad.

Paralelamente constituye una oportunidad las potencialidades que se abren con el GLP, dada su disponibilidad, bajo costo y capacidad calórica; la cual se puede aprovechar para el calentamiento de piezas y la realización del proceso de tratamiento térmico en los metales. A pesar del escaso nivel de referencias acerca de las aplicaciones del GLP como combustible en la práctica industrial del tratamiento térmico; esto constituye una alentadora posibilidad de estudio y desarrollo tecnológico para la sustitución de la resistencia eléctrica como fuente de calor en el proceso de calentamiento de piezas.
Sintetizando lo anteriormente expuesto, se puede señalar que el calentamiento de piezas mediante resistencia eléctrica para la realización del tratamiento térmico, representa costos demasiado elevados, no garantiza la continuidad en la realización de las prácticas de tratamiento térmico con fines académicos e industriales, genera afectaciones en la estabilidad del sistema de suministro eléctrico durante el tiempo de operación del horno de mufla; y en esas condiciones no se dispone de un sistema alternativo para reemplazar el sistema de calentamiento de piezas.

Todo lo anteriormente señalado se puede minimizarse si se emplea el GLP como combustible en la realización del tratamiento térmico.

2.3.2 Problema científico

¿El escaso nivel de referencias sobre las potencialidades del GLP como combustible para el calentamiento de piezas, limita su aplicación práctica en la construcción de hornos para tratamientos térmicos?

2.3.3 Hipótesis

2.3.3.1 Hipótesis General

- Utilizando el GLP como combustible para el calentamiento de piezas, se conseguirá reducir los costos operacionales trabajando dentro del parámetro de eficacia y eficiencia requeridas.

2.3.4 Objetivos

2.3.4.1 Objetivo general

- Realizar el diseño y construcción de un horno para tratamiento térmico, empleando GLP como combustible; que permita la disminución de costos de operación .

2.3.4.2 Objetivos específicos

- Realizar los cálculos mecánicos y térmicos de los elementos constructivos del horno.
- Seleccionar los materiales para la construcción del horno y de las instalaciones para el consumo del GLP, así como de los dispositivos de control automático de temperatura.
- Construir el horno para tratamiento térmico utilizando GLP como combustible, según los parámetros del diseño y evaluar su funcionamiento.
- Poner en explotación un horno que utiliza GLP como combustible, para la realización de las prácticas de tratamiento térmico en la UNL.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

El tratamiento térmico de los aceros consiste en un calentamiento del material hasta la temperatura de austenización a partir de la cual se da un enfriamiento brusco en un medio adecuado y se obtiene una estructura martensítica, para luego darle al mismo material un tratamiento de revenido y obtener una estructura revenida (troostita, sorbita) que le dé una mayor tenacidad al acero a costa de una disminución de la dureza.

La finalidad de estos tratamientos es obtener en la parte exterior de la pieza una capa, caracterizada por una dureza notablemente superior a la del núcleo. Esto se puede obtener, realizando un temple localizado solamente sobre la zona exterior de la pieza. Otra posibilidad puede ser, haciendo penetrar en la pieza, desde el exterior y hasta la profundidad deseada, un determinado elemento químico, generalmente de Carbono o Nitrógeno.

- **TRATAMIENTOS TÉRMICOS**
  - MECÁNICO (Mejora interiormente)
    - Temple
    - Revenido
      - Bajo
      - Alto
    - Recocido
    - Normalizado
  - TERMOQUÍMICOS (Mejora Superficialmente)
    - Cementación
    - Nitruración
    - Cianuración
    - Especiales
      - Cromado
      - Niquelado
      - Fosfatado
      - Pavonado
      - Galvanizado

Con estos tratamientos, obtenemos: *Resistencia al desgaste, Dureza en el exterior y Tenacidad en el interior.*

3.2 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de ***cementita*** contenidas en la ***ferrita***, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

Se ha podido demostrar que el cambio de ***austenita*** a ***martensita*** se produce en la última fase del enfriamiento, y que la transformación se ve acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido. Se han desarrollado tres procesos relativamente nuevos para evitar el agrietamiento.

En el *templado prolongado*, el acero se retira del baño de enfriamiento cuando ha alcanzado la temperatura en la que empieza a formarse la martensita, y a continuación se enfría despacio al aire.

En el *templado*, el acero se retira del baño en el mismo momento que el templado prolongado y se coloca en un baño de temperatura constante hasta que alcanza una temperatura uniforme en toda su sección transversal. Después se deja enfriar el acero al aire a lo largo del rango de temperaturas de formación de la martensita, que en la mayoría de los aceros va desde unos 300 ºC hasta la temperatura ambiente.

En el *austemplado*, el acero se enfría en un baño de metal o sal mantenido de forma constante a la temperatura en que se produce el cambio estructural deseado, y se conserva en ese baño hasta que el cambio es completo, antes de pasar al enfriado final.

3.3 TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tratamientos térmicos clásicos son el temple y revenido. Las temperaturas de austenización varían según el porcentaje de carbono, siendo la de los aceros al carbono de 0.1 a 0.2% de carbono próxima a los 900 ºC; en cambio de los aceros de 0.8% de carbono no llega a 750 °C.

3.3.1 Temple

Es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada "crítica".

El fin que se pretende conseguir con el ciclo del temple es aumentar la dureza y resistencia mecánica, transformando toda la masa en austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento rápido la austenita se convierte en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados.

La temperatura necesaria para la transformación total de la perlita en austenita se llama (temperatura de austenización) y es generalmente dada por el fabricante del acero.

La temperatura necesaria para iniciar la formación de martensita depende de la composición del acero y de la velocidad de enfriamiento para que la austenita se transforme casi total o parcialmente en martensita.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad del mismo que debe ser siempre superior a la crítica para obtener martensita. (fig.1)

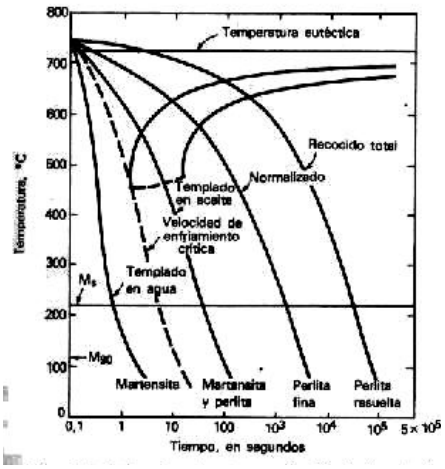


Fig.1 Variación de la micro estructura en función de la velocidad de enfriamiento para un acero eutectoide

La velocidad de enfriamiento de los aceros al carbono es muy elevada. Los elementos de aleación disminuyen en general la velocidad de enfriamiento del temple y en algunos tipos de alta aleación es posible realizar el temple al aire. A estos aceros se les denomina "autotemplantes".

Los medios refrigerantes más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de Plomo, baño de Mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles.

Agua.- Se emplea agua natural a temperatura ambiente (15–20) ºC se aplica a herramientas de poca responsabilidad. (fig.2)

En general para aceros al carbono de más de 12mm de espesor y para aceros de aleación de más de 25mm de espesor, se cuidara que el recipiente sea lo suficientemente grande para que el agua no se caliente sensiblemente.

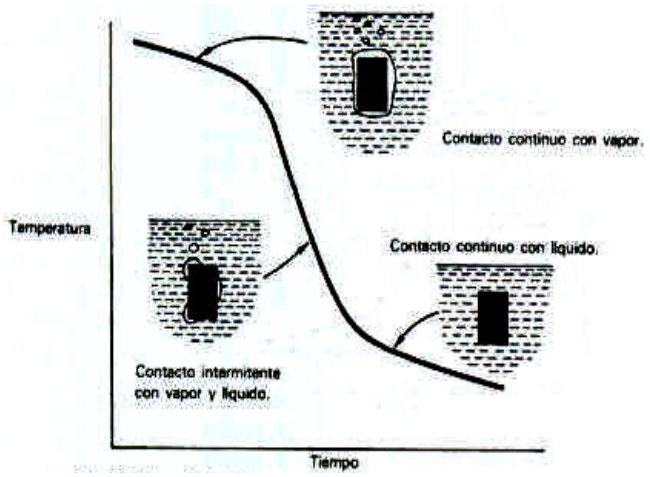


Fig.2 Velocidad de enfriamiento durante el temple en agua

Aceite.- Se emplea aceite mineral que no sea ácido (a fin de que no se estropee las piezas) ni inflame.

Aire.- Se aplica para herramientas, las mismas que se someten a corrientes de aire.

Plomo fundido.- El plomo fundido se emplea con una temperatura entre (350 – 600) ºC y enfría rápidamente las piezas. Se emplea para herramientas de aceros especiales, muelles y alambres.

Otros factores que influyen en la práctica del temple son:

- El tamaño de la pieza: Cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero: En general los elementos de aleación facilitan el temple.
- El tamaño del grano: Influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templabilidad el de grano grueso.

Los tipos de temple son los siguientes: temple total o normal, temple escalonado martensítico.

3.3.2 Revenido

Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado".

El tratamiento de revenido consiste en calentar el acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones como indica. (fig.3)

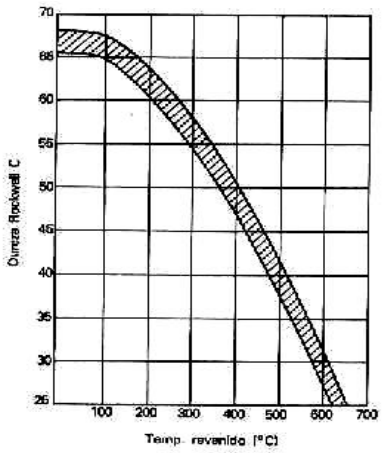


Fig.3 Dureza Rockwell

Cuando se pretenden los dos objetivos, se recurre al doble revenido, el primero con enfriamiento rápido y el segundo con enfriamiento lento hasta 300ºC.

Las finalidades del revenido son:

- Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.
- Disminuir las tensiones internas de transformación, que se originan en el temple.
- Modificar las características mecánicas, en las piezas templadas produciendo los siguientes efectos:
    - ✓ Disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.
    - ✓ Aumentar las características de ductilidad; alargamiento estricción y las de tenacidad; resistencia.

Los factores que influyen en el revenido son los siguientes: la temperatura de revenido (incide sobre las características mecánicas); el tiempo de revenido (a partir de un cierto tiempo límite la variación es tan lenta que se hace antieconómica su prolongación, siendo preferible un ligero aumento de temperatura de revenido); la velocidad de enfriamiento (es prudente que el enfriamiento no se haga rápido); y las dimensiones de la pieza (la duración de un revenido es función fundamental del tamaño de la pieza recomendándose de 1 a 2 horas por cada 25mm de espesor o diámetro).

3.4 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE

Se realizan pruebas de diversos tipos para controlar la calidad del tratamiento térmico, fundamentalmente ensayos físico-mecánicos y análisis de los puntos de transformación.

3.4.1 Determinación de los puntos de transformación o críticos

Para determinar los puntos de transformación se emplean *dilatómetros* del tipo Robusto para taller o aparatos de medición de alta precisión para ensayos de laboratorio. Con los *dilatómetros* se hace una medición comparativa de la dilatación

entre el material a examinar y un material sin puntos críticos dentro del campo de ensayo. Si se procura que los materiales se calienten con uniformidad, se observara entonces, en cada uno, una variación muy uniforme de su longitud que varía continuamente. En ambos materiales, la diferencia longitudinal que aumenta con la temperatura viene dada por la diferencia de los coeficientes de dilatación de los materiales. Si se produce en uno de los materiales una transformación que está ligada a una variación de volumen y, en general, también a una variación de longitud, se tiene que producir bruscas variaciones longitudinales sin que varíe la temperatura. Esto es lo que sucedería, por ejemplo, en el caso de un acero eutectoide durante la transformación A1 que tiene lugar a una temperatura constante de 721 ºC. Pero si la transformación se lleva a cabo en un intervalo de temperatura, continuará variando a medida que sube esta última y, por consiguiente, variará la longitud con la temperatura.

La (fig.4) muestra la curva dilatométrica en el calentamiento de un acero eutectoide. La línea de trazo continuo representa la variación longitudinal a reducida velocidad de calentamiento, mientras que la curva a trazos discontinuos denota lo mismo para un calentamiento más rápido. El codo de la curva designa la transformación A1, la cual aparece aquí claramente, ya que a temperatura constante la transformación no se desarrolla por completo hasta que la temperatura siga subiendo. A partir del punto donde tiene lugar una desviación de la línea ascendente, pueden leerse la temperatura en la abscisa a la que se inicia la transformación. Cuanto más lento es el calentamiento y tanto menor es la histéresis de la transformación, tanto más acusado será el descenso a temperatura constante. De la curva de trazos discontinuos se desprende además que, en un calentamiento más rápido, la transformación empieza más tarde, y también que, debido a la rápida aportación de calor, termina sólo después de un considerable aumento de temperatura. Por lo demás esto último es válido únicamente cuando el proceso de transformación no es acelerado. Habrá terminado ya en un periodo de tiempo más corto, por lo que la línea sigue subiendo durante la transformación con más pendiente.

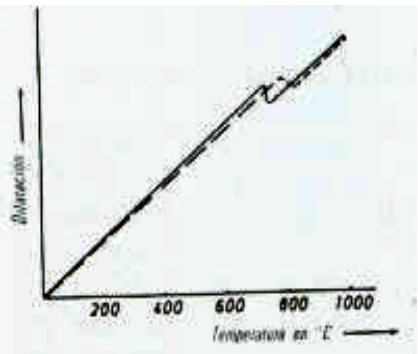


Fig.4 Curva dilatométrica en el calentamiento del acero; calentamiento lento, calentamiento rápido

En el enfriamiento isotérmico se comprueba al cabo de cuanto tiempo tiene lugar una posible transformación, ejemplo en la zona perlítica inferior o en la zona bainítica. También es significativa con frecuencia la velocidad a la que se desarrolla la transformación. De este modo, se determina el tiempo que dura la transformación austenítica. Además puede determinarse el curso de la transformación a distintas temperaturas de enfriamiento, así como la temperatura en el temple isotérmico. Con una medición de tiempo - alargamiento se puede registrar también la marcha de enfriamiento líquido que desprende vapor (agua, aceite). Se debe tener en cuenta que cuando los enfriamientos son muy rápidos no puede alcanzarse equilibrio térmico entre la superficie y el núcleo de la probeta. Pero si de los materiales a enfriar se emplean siempre probetas del mismo tamaño, muchas veces pueden obtenerse resultados prácticos significativos.

De las curvas dilatométricas se puede deducir la temperatura necesaria para el temple, sobre todo en los aceros aleados, para los cuales no tiene validez el diagrama hierro - carbono.

3.4.1.1 Diagrama Fe-C

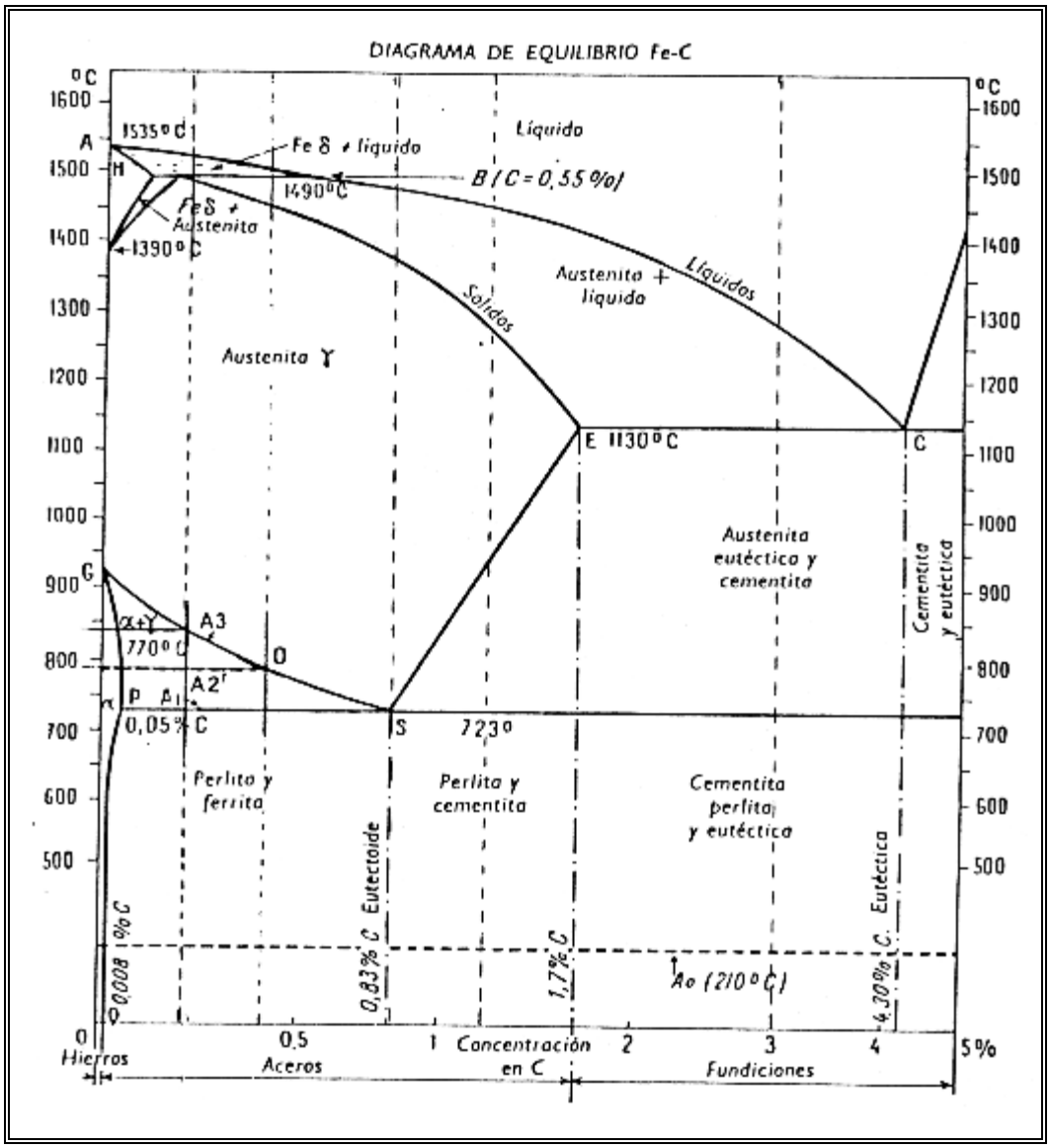


Fig.5 Esquema del diagrama de estado Fe - C

Las microestructuras que se presentan para los aceros al carbono son:

FERRITA (HIERRO α)

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 °C.

La microestructura del acero al carbono, consta de cristales blancos de ferrita la ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de28 kg/mm^2, llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros.

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6% C; formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85% C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados. Este tipo de estructura se denomina Widmanstatten.

La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita. En los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado.

CEMENTITA

Es el carburo de hierro de fórmula Fe_3C, contiene 6.67 % de carbono y 93.33 % de hierro, es el micro constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorómbica. La microestructura del acero con 1% de carbono, consta de red blanca de cementita.

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica en los aceros con más de 0.9 % de carbono formando una red que envuelve los granos de perlita, formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita, en los aceros hipoeutectoides que no han sido bien templados.

PERLITA

Es el micro constituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 % C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm^2 y un alargamiento del 15 %; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723 °C.

La micro estructura del acero al carbono, contiene cristales oscuros de perlita Si el enfriamiento es rápido (100 – 200) °C/seg, la estructura es poco definida y se denomina sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723 °C, la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.

AUSTENITA

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto varía de (0.8% - 2 %) que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C.

La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados auteníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm^2 y un alargamiento del 30 %, no es magnética. La austenita no puede atacarse con natal, se disuelve con agua regia en glicerina apareciendo como granos poligonales, puede aparecer junto con la martensita en los aceros templados.

MARTENSITA

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.

El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbón hasta un máximo de 0.7 % C.

La martensita es dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a 250 Kg/ mm^2 y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto circular formando grupos en zig zag con ángulos de 60 grados.

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727 °C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

TROOSTITA

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600ºC, o por revenido a 400 ºC.

Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm^2 y un alargamiento del 5 al 10%. Es un constituyente modular oscuro con estructura radial apreciable a unos 1000 X y aparece generalmente acompañando a la martensita y a la austenita.

SORBITA

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650 ºC, o por revenido a la temperatura de 600 ºC. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm^2, con un alargamiento del 10 al 20%.

Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas, pero con 1000X toma la forma de módulos blancos muy finos sobre fondo oscuro, tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino.

BAINITA

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500 °C. Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500 – 580 °C, compuesta por una matriz ferritica conteniendo carburos; y la bainita inferior, formada a 250 a 400 ºC. Tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 Rc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

La determinación del tamaño de grano austenítico o ferrítico, puede hacerse por la norma ASTM o por comparación de la microfotografías de la probeta a 100 X, con las retículas patrón numeradas desde el 1 para el grano más grueso hasta el 8 para el grano más fino.

Cualquier proceso de producción de acero a partir del Arrabio consiste en quemar el exceso de carbono y otras impurezas presentes en el hierro. Una dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión, 1400 ºC aproximadamente, que impide utilizar combustibles y hornos convencionales. Para superar esta dificultad, se han desarrollado 3 importantes tipos de hornos para el refinamiento del Acero, en cada uno de estos procesos el oxígeno se combina con las impurezas y el carbono en el metal fundido. El oxígeno puede introducirse directamente mediante presión dentro o sobre la carga a través del oxígeno en el aire, o en forma de óxidos de hierro o herrumbre en la chatarra. Esto oxidará algunas impurezas, las que se perderán como gases, mientras

otras impurezas reaccionarán con la piedra caliza fundida para formar una escoria que será colada posteriormente

3.4.2 Ensayos físico-mecánicos del material después del tratamiento térmico

Estos ensayos se hacen con probetas normalizadas, con productos semiacabados o incluso con piezas o elementos ya terminados. Pueden ser destructivos o no.

Se basan en principios químicos, físicos, físico-químico, metalográficos y mecánicos.

3.4.2.1 Ensayos químicos

Son los empleados para conocer la composición química y su resistencia a los agentes químicos.

3.4.2.2 Ensayos físicos

Los que se emplean para determinar las características físicas del metal, tales como: densidad, conductividad, propiedades magnéticas, etc. También sirven los ensayos físicos para determinar grietas, rechupes, impurezas, etc.

3.4.2.3 Ensayos metalográficos

Son los realizados a través del microscopio, para determinar la estructura del material y también conocer los efectos producidos por los tratamientos térmicos.

3.4.2.4 Ensayos mecánicos

Los empleados para conocer las características de elasticidad y resistencia de los metales y el comportamiento en operaciones mecánicas.

Suelen ser de tipo destructivo, estáticos (con cargas progresivas crecientes) o dinámicas (con cargas instantáneas o de choque).

3.4.2.4.1 Ensayos de tracción (fig.6)

Se hace este ensayo con probetas (muestras de material preparado según las normas), que se someten a tensiones crecientes para averiguar su resistencia.

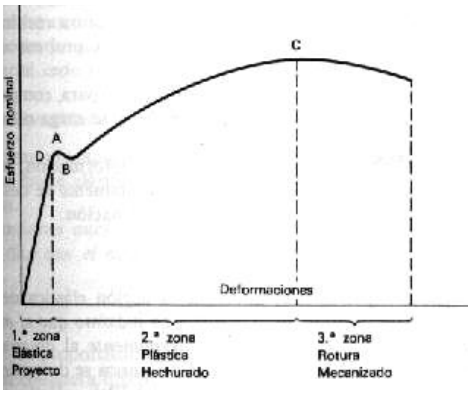


Fig.6 Curva de tracción de un acero

3.4.2.4.2 Ensayos de resistencia

Se emplea este ensayo para saber la tenacidad del material sujetos a esfuerzos bruscos o choques violentos y para comprobar el comportamiento de los materiales con entalladuras que producen concentración de esfuerzos.

3.4.2.4.3 Ensayos de dureza

En sentido amplio, dureza es la resistencia superficial a la penetración. Los tipos fundamentales de ensayo de dureza son:

- ✓ Ensayo Brinell
- ✓ Ensayo Vickers
- ✓ Ensayo Rockwell

3.4.2.4.3.1 Ensayo Brinell (fig.7)

En este método una bola del diámetro D es apretada con una carga dada P contra un material. El área F_k de la superficie cóncava de la huella se determina midiendo el diámetro d de la circunferencia de su borde, tomándose para la dureza en kilogramos por milímetro cuadrado.

$$\textbf{HB} = \text{Carga de ensayo/Superficie casquete} = \frac{P}{F_k}\left(\frac{Kg}{mm^2}\right)$$

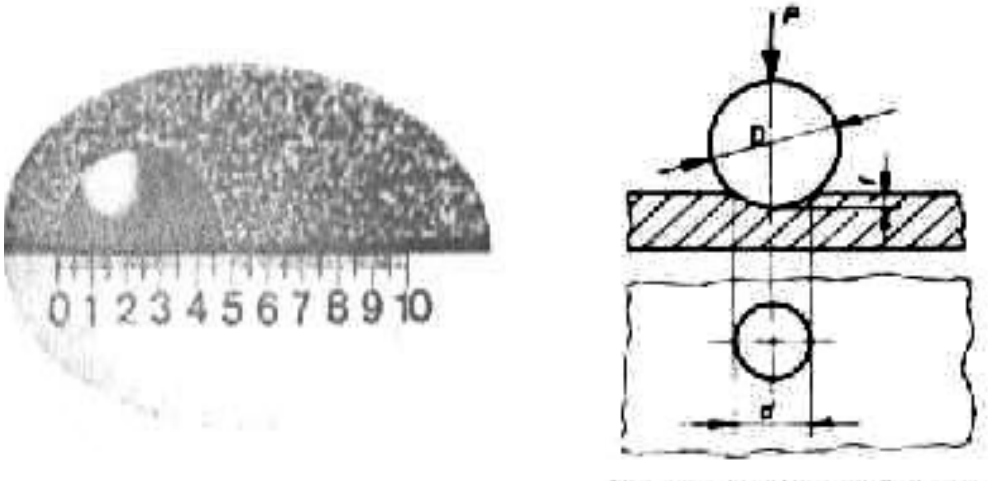


Fig.7 Ensayo de dureza Brinell

D= Diámetro de la bola

d= diámetro de la huella

P= carga de ensayo

f = flecha o profundidad de la huella

La medición del diámetro de la huella se realiza con la lupa de aumento

Este coeficiente o dureza puede reducirse generalmente con bastante exactitud a la resistencia a la tracción, es decir, $\sigma_B = k$ HB. Para (k) hay que poner coeficientes diversos según sea la clase de acero y su composición química. En cuanto a los aceros al carbono se obtiene una buena concordancia entre la resistencia a la tracción calculada a base de la dureza y la que se ha medido en el ensayo de tracción, si se pone como factor (k) 0.36, es decir, $\sigma_B = 0.36$ (HB30).

La cifra 30 en la denominación HB 30 caracteriza la constante de ensayo empleada para el acero.

Ya se ha señalado anteriormente que la resistencia a la tracción calculada a base de la dureza no son más que valores de orientación, aunque semejantes equivalencias no son factibles más que para resistencias no demasiado grandes, pudiéndose hacer una equivalencia hasta una resistencia a la tracción de aproximadamente:

$$\sigma_B = 140 \text{ kg / mm}^2$$

Teniendo en cuenta el comportamiento elástico del material de la bola, el método Brinell no es aplicable para el ensayo de aceros templados.

3.4.2.4.3.2 Ensayo Vickers. (fig.8)

Se utiliza también como cuerpo penetrante un diamante en forma de pirámide. Análogamente al ensayo Brinell, se mide la dimensión de las diagonales de la impresión cuadrada sobre la superficie de la probeta. El empleo de un penetrante tan duro como el diamante permite ensayar piezas templadas.

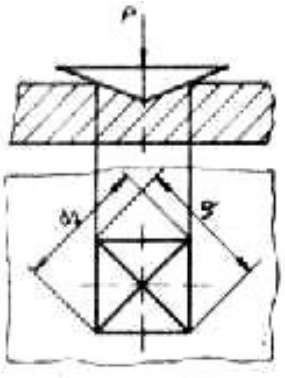


Fig.8 Ensayo de dureza Vickers

Donde:

d_1 y d_2 = diagonales de la huella

P= Carga de ensayo.

3.4.2.4.3.3 Ensayo Rockwell

Es otro ensayo que se ideó para conocer la dureza más rápidamente que con los ensayos Brinell y Vickers. El penetrador puede ser un cono de diamante o una bola. La dureza se mide directamente con un reloj comparador incorporado a la máquina con lo cual pueden emplearse varias escalas, que corresponden a penetradores y cargas distintas, tal como indica la Tabla 1.

TABLA1. Escalas de dureza Rockwel

NORMAL								
Escala	C	D	B	A	E	F	G	K
Carga Kgf	150	100	100	60	100	60	150	150
Penetrador	Ø 120º	Ø 120º	bola 1/16´	Ø 120º	bola 1/8´´	bola 1/16´	bola 1/16´	Bola 1/8´´
	C	D	B	D	E	F	G	K
SUPERFICIAL								
Escala	N	N	N	T	T	T	-	-
Carga Kgf	15	30	45	15	30	45	-	-
Penetrador	Ø 120º	Ø 120º	Ø 120º	bola 1/16´	bola 1/16´	bola 1/16´	-	-
Denomina.	15N	30N	45N	15T	30T	45T	-	-

3.4.3 DEFECTOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO, CAUSAS Y PREVENCIÓN

En el proceso de tratamiento térmico a menudo surgen diferentes defectos, los más comunes son:

La insuficiente dureza. Del acero templado es consecuencia de una baja temperatura de calentamiento, poca exposición a temperatura de trabajo o una velocidad insuficiente de enfriamiento. Corrección del defecto: normalizado o recosido con ulterior temple.

El sobrecalentamiento está relacionado con el calentamiento de la pieza hasta una temperatura que rebasa considerablemente la temperatura de calentamiento necesario para el temple. El sobre calentamiento va acompañado de la formación de una estructura de grano grueso, lo que aumenta la fragilidad del acero.

La corrección del defecto consiste en el recosido (normalizado) y el ulterior temple con calentamiento hasta la temperatura requerida.

El requemado tiene lugar al calentar al acero hasta temperaturas bastantes altas, próximas a la temperatura de fusión en una atmósfera de oxidación. En este caso el oxígeno penetra en el acero formando óxidos situados en los límites de los granos. Tal acero posee una fragilidad muy alta y es imposible corregir el defecto.

La oxidación y descarburación se caracteriza por una formación de óxidos (batituras) en la superficie de las piezas y la quema del carbono en las capas superficiales. Este tipo de defecto es incorregible. Para prevenirlo, es necesario realizar el calentamiento de la pieza en hornos con atmósfera protectora.

La torcedura y las grietas surgen debido a las grandes tenciones internas. Aparecen como resultado de las variaciones de volumen provocadas por el cambio de temperaturas durante el calentamiento y enfriamiento en toda la sección de la pieza (la conversión de la austenita en martensita va acompañada del aumento del volumen hasta el 3%).

El surgimiento de las grietas se observa corrientemente a temperaturas inferiores a 75-80 ^{0}C, cuando la transformación martensítica abarca una parte considerable del volumen del acero. A fin de prevenir la formación de grietas, es imprescindible evitar durante el diseño saliente acentuado, ángulos agudos, transiciones bruscas de secciones delgadas a gordas, realizar el enfriamiento lento en la zona de formación de la sartencita (temple en aceite, en dos medios, por etapas). En ciertos casos, cuando las tensiones no provocan la figuración, éstas pueden originar la torcedura de las piezas. Las grietas son un defecto irreparable, mientras que la torcedura puede eliminarse mediante un enderezamiento.

3.4.4 SEGURIDAD DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO

En el tratamiento térmico de los metales hay dos peligros principales a considerar:

1. Las quemaduras, que pueden ser graves y dolorosas
2. El fuego

En los talleres de tratamiento térmico bien equipados, los operadores deben contar con las ropas adecuadas de protección, incluyendo gafas aún mejor, visores faciales transparentes, delantales de cuero y guantes de cuero.
Las medidas de seguridad que deben emplearse son:

1. Deberá usarse la ropa suministrada.
2. Deberá suponerse que todo está caliente mientras no se pruebe lo contrario.
3. Los baños de enfriamiento por aceite deben contar con una tapa estanca. Si el aceite se enciende, el buen cierre de la tapa impide el paso del aire que alimentara las llamas, y apaga éstas. Deberá dejarse puesta la tapa hasta que el aceite se enfríe.
4. Los baños enfriadores con aceite deben contar con un sistema de circulación y enfriamiento, a fin de mantener la temperatura por debajo del punto de inflamación del aceite, especialmente cuando son grandes cantidades de trabajo a enfriar. El aceite lubricante nunca debe ser utilizado para enfriar, sino únicamente los aceites especiales creados para enfriamiento, por su seguridad y por los resultados que se desean obtener.
5. Nadie deberá encender un horno hasta no haber sido adecuadamente instruido y haber recibido permiso para hacerlo.
6. Nunca deberá utilizarse un horno para baño salino, sin secar y precalentar previamente todo lo que se vaya a poner en las sales.
7. Nunca deberá intervenirse en los dispositivos de registro de temperatura y de control de la misma.
8. Deberán conocerse los lugares en que se encuentran los extinguidores de fuego, así como la forma de utilizarlos.
9. Averigüe qué debe hacer si las ropas de su compañero de trabajo se incendian.
10. Sepa cómo dar la alarma si estalla un incendio.

3.5 HORNOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los hornos empleados para tratamientos térmicos son muy diferentes en cuanto a su forma de construcción, a su tamaño, según el medio de calefacción utilizado, el tratamiento que se destine y la producción que deba alcanzar fácilmente.

3.5.1 Clasificación de los hornos para tratamiento térmico

La clasificación de los hornos se realiza según su estructura y según el combustible empleado.

1. Según la estructura puede ser:
   - Hornos de hogar abierto
   - Hornos de cámara abierta
   - Hornos de mufla
   - Hornos de baños

2. Según el combustible empleado:
   - Para combustibles sólidos
   - Para combustibles líquidos
   - Para gaseosos

3.5.1.1 Hornos de hogar abierto

A este grupo pertenecen el soplete de gas y la fragua. El soplete se emplea para calentar pequeñas herramientas y para el temple superficial, tiene el inconveniente de que es difícil controlar la temperatura.

3.5.1.2 Hornos con cámara abierta (calentado con gas)

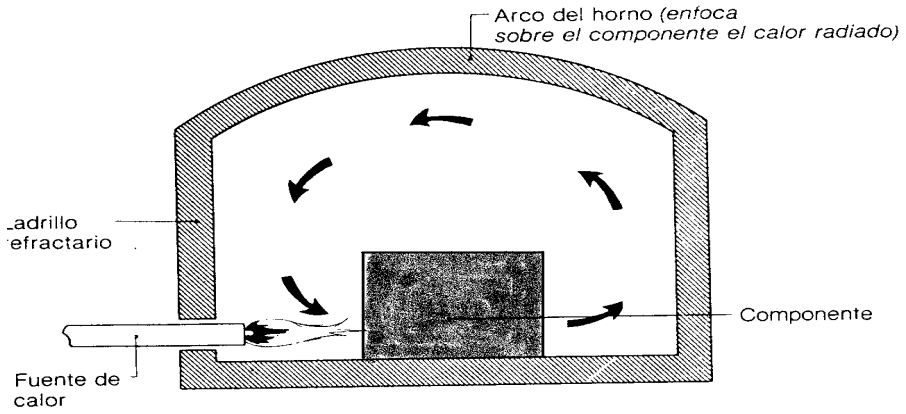


Fig.9 Horno con hogar abierto

En la (fig.9) se muestra la forma más sencilla posible de horno. Un quemador de gas funciona directamente sobre el material, la que recibe el calor reflejado por el

revestimiento del horno, en contacto directo con el material calentado, por convección y radiación directa de los gases calientes o por irradiación de las paredes caliente del horno.

3.5.1.3 Hornos de mufla (calentado con gas)

En este equipo el material se encuentra completamente separado de la cámara de combustión mediante una cámara interior denominada mufla (fig.10).

De esta forma pueden obtenerse las condiciones para una máxima economía de combustible en la cámara de combustión, en tanto que podrá introducirse en la mufla cualquier atmósfera que se desee. Evidentemente, este tipo de horno no se calentara rápidamente como los indicados anteriormente, y puede ser utilizado eficaz mente únicamente con una producción continua.

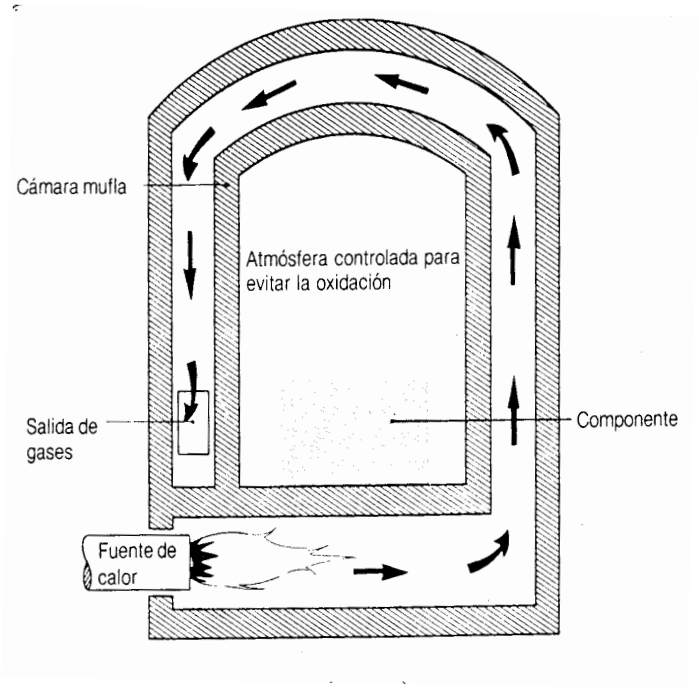


Fig.10 Horno mufla calentado a gas

3.5.1.4 Hornos de baño líquido (calentado con gas)

En este tipo de horno en la (fig.11) hay que observar los puntos siguientes:

1. *Flama tangencial.* De forma que la llama no va directamente sobre el crisol.

2. *Calor desde arriba.* Por razones de seguridad, las sales deben fundirse desde arriba hacia abajo. Si se calientan desde abajo, las sales liquidas en expansión saldrían en erupción a través de la corteza sólida, en forma de un volcán en miniatura, creando una situación muy peligrosa por razón de encontrarse al rojo vivo.

3. Para evitar una explosión que lance las sales fundidas fuera del crisol, todas las piezas de trabajo y sus recipientes deberán estar secos y precalentados.

Las sales dependen del proceso que se lleve a cabo, y todos los proveedores experimentados recomendarán las sales más adecuadas para cada situación particular.
Las sales con base de *nitrato* se utilizan para aplicaciones con bajas temperaturas, tales como el temple de las aleaciones de hierro y el tratamiento por solución de las aleaciones ligeras. Al sobrecalentarse, pueden dar lugar a una explosión, por lo que queda cubierta por previsiones especiales de la ley de fábricas.

Las sales con base de *cloruro* se utilizan para el endurecimiento rápido a temperaturas de 800°C o superiores.

Las sales de *cianuro* se utilizan para el endurecimiento de componentes de acero bajo en carbono. Como estas sales son venenosas hasta un extremo mortal, deberá tenerse el mayor cuidado en su empleo y eliminación.

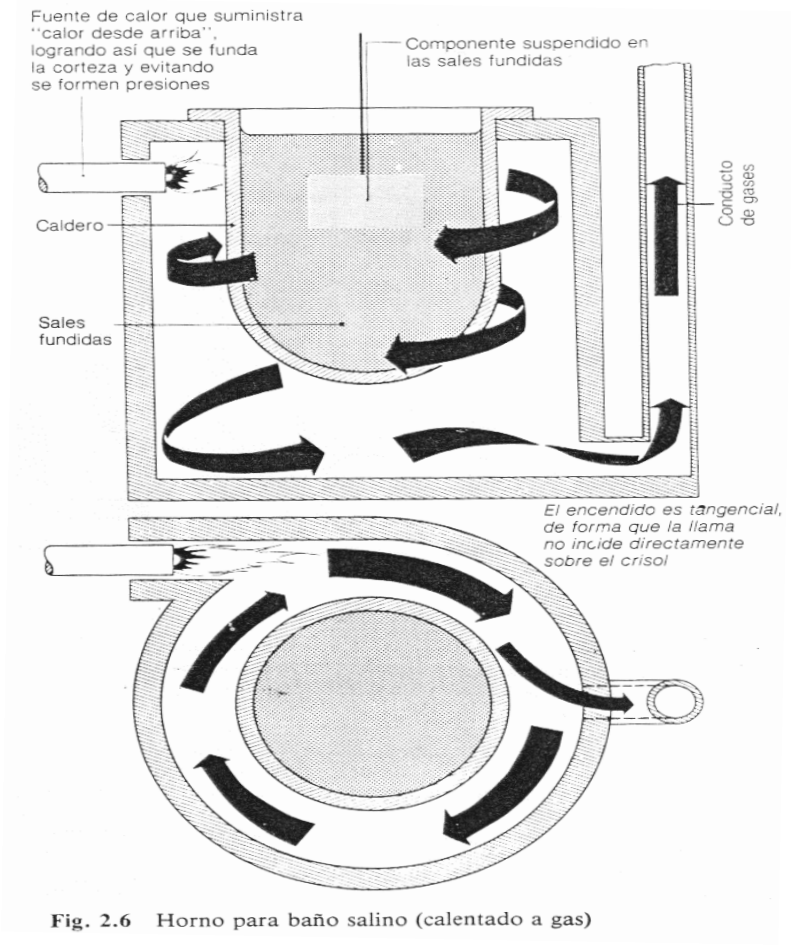


Fig.11 Horno para baño salino (calentado a gas)

Nota: Es habitual utilizar un "economizador" que adopta la forma de escamas de mica que flotan sobre la superficie de las sales para evitar pérdidas por oxidación y humos.

3.5.2 Método de inyección del combustible

Esta clasificación se aplica principalmente al horno tipo estufa e indica si es:

De inyección directa,

- De combustión arriba
- De combustión por debajo
- Calentado por tubos radiantes

3.5.2.1 Inyección directa

Se usa cada vez mas debido a la mejora constante en el diseño y control de los quemadores de gas, en especial para temperaturas superior a 1200°F (650^{0}C).

3.5.2.2 Combustión arriba

En los hornos de combustión arriba, quemadores radiantes queman combustible a través del techo y están dispuestos en patrones para obtener la mejor distribución de la temperatura.

3.5.2.3 Combustión por debajo

Este horno es excelente para temperaturas de 800 a 1800°F (aproximadamente 400 a 100°C), ya que el producto que se calienta ésta protegido del combustible que se quema. La temperatura y la atmósfera pueden controlarse con precisión, pero la duración de los refractarios impone un límite a la temperatura de alrededor de 1800°F como máximo. En la actualidad muchos hornos se diseñan para usar atmósferas protectoras especiales y comprenden el uso de tubos radiantes, para evitar cualquier contacto con los gases de la combustión. Estos tubos en los que se quema el combustible, de una aleación resistente al calor, pueden estar horizontales a través del horno, arriba y debajo del material que se calienta, o pueden estar verticales sobre las paredes laterales del horno.

3.5.3 Métodos para economizar calor

Los métodos para conservar el calor incluyen el uso de recuperadores o regeneradores, calderas de calor de desecho, aislamiento de los refractarios, control automático de la temperaturas y de la atmósfera y atención especial a la construcción y operación del horno.

Los recuperadores y regeneradores extraen parte del calor de los gases de la combustión que escapan y lo devuelven al horno mediante el precalentamiento del aire de combustión o el combustible que no entra.

3.5.3.1 En los recuperadores

Se mantiene el flujo continuo de los gases calientes y el aire o gas fríos que entran a través de ductos metálicos o refractarios que mantiene separadas las dos corrientes de gas, pero que conducen el calor de la corriente más calienta a la más fría. Los recuperadores se construyen en la forma de unidades autocontenidas que se colocan por encima del piso o en fosos por debajo del nivel del piso y están construidos con loseta de arcilla refractaria, carburo de silicio o metal resistente al calor. Los coeficientes globales de transferencia de calor en los recuperadores metálicos se encuentran entre 2.5

y 6.0 Btu/ (pie^{2}h^{o}F) (14 y 34 W/m^2 ^{0}C), y en los recuperadores de carburo de cilicio son casi lo mismo; el coeficiente para los recuperadores de arcilla refractaria es considerablemente menor que estos valores. Las velocidades usuales del aire caliente en los recuperadores no debe ser mayor que 12 pie/s (3.6 m/s), para que la caída de presión se mantenga en un valor razonable.

3.5.3.2 En los regeneradores

Se emplean cuando es preciso precalentar el aire a una alta temperatura para mantener a alta temperatura del horno. Suelen construirse de ladrillo refractario y constan de dos cámaras totalmente llenas con una obra de jaquelado. Periódicamente se invierte el flujo de los gases de la combustión y el del aire o gas que se va a calentar, de manera que los gases calientes y fríos fluyan en forma alterna a través de los dos conjuntos de cámaras. La obra de jaquelado retiene el calor de los gases calientes y lo cede a los gases fríos en cada inversión. En otro diseño de regeneradores se emplean placas de calor en los regeneradores; el coeficiente de transferencia de calor es de 1.5 a 2.5Btu/pie^2 de su superficie de la obra de jaquelado por h por ^{0}F de diferencia de temperatura (8.5 a 14 W/m^{2o}C) y la velocidad usual de la masa de gas caliente a través de las aberturas del jaquelado es aproximadamente de 0.065lb/pie^{2}s (0.32kg/m^{2}s).

El ahorro que se logra mediante los recuperadores o regeneradores depende de la temperatura a la cual se precalienta el aire o gas de entrada. Con la temperatura de los gases de la combustión de 1600°F el ahorro teórico de combustible, con el precalentamiento de 200° del aire de combustión, es alrededor del 4%, 11% con 400°C; 15% con 600°, y 19 con 800°. Para que la instalación de un recuperador o regenerador sea una buena inversión, debe mostrar un ahorro neto satisfactorio después de restar los costos de todas la reparaciones y del tiempo de paro perdido para estas reparaciones, de los ahorros en el combustible usado.

3.5.4 El control automático

Evita el desperdicio de calor por temperaturas innecesarias elevadas, los periodos fríos evitables y el aire excesivo o el combustible no quemado por mala combustión. De importancia aún mayor es la prevención del daño al producto calentado debido al sobrecalentamiento, oxidación excesiva y reacción química objetable entre la atmósfera

del horno y el producto (principalmente descarburización y recarburización). Los controladores automáticos de temperatura son los actuados por termo polares emplazados dentro del horno. El termo polar no debe estar ubicado en la trayectoria directa de las flamas, ya que éstas no sólo están varios cientos de grados más calientes que la temperatura del horno, sino que también son de temperatura en extremo variable y no constituyen una indicación de la temperatura promedio. El control automático de la atmósfera para el mantenimiento consecuente de una buena combustión, se logra mediante la dosificación adecuada del combustible y el aire de combustión conforme entran al horno. Esto se realiza mediante la aplicación de alguna característica del flujo de uno de los fluidos para regular el flujo del otro. El control automático de la presión hace funcionar los reguladores de tiro del horno para mantener una presión constante predeterminada por lo general de cerca de 0.01 a 0.05pul (0.25 a 1.25mm) de agua en la cámara de calentamiento, la que excluye el oxígeno libre de la atmósfera circundante.

El método más sencillo para economizar calor, pero al que con mayor frecuencia se le concede menor atención, es el cuidado en la construcción y operación del horno.
Puede economizarse gran cantidad de combustible si se construye cuidadosamente los refractarios del horno para que e conserven herméticos, si se vigila que las puertas sellen bien y si se cuida que las puertas y otras coberturas permanezcan cerradas cuando no se estén empleando.

3.5.5 Atmósferas especiales

En un número cada vez mas mayor de operaciones de tratamiento térmico, la necesidad de mejorar la calidad ha provocado la demanda de hornos para calentamiento limpio o brillante, en los cuales el material de calentamiento quede rodeado por un gas protector adecuado mientras se calienta por radiación de resistores eléctricos, tubos radiantes o las paredes de una mufla.

TABLA 2. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS GASES PROTECTORES

TIPO	Análisis típico					Puntos de rocío
	CO_2	CO	CH_4	H_2	N_2	^oC
I. Hidrogeno, purificado				100		Menos -51
II. Amoniaco, disociado				75.5 - 5	25 - 95	
III. Gas rico en hidrocarburos no acondicionado	5.5	9	0.8	15	69.7	Más 10
IV. Gas pobre en hidrocarburos No acondicionado.	11.5	0.7	-	0.7	87	Más 10
V. Gas rico en hidrocarburos Completamente acondicionado	0.1	9.5	0.8	15.8	73.8	Menos -51
VI. Gas pobre en hidrocarburos Completamente acondicionado	0.1	2.8	-	3.9	93.2	Menos -51
VII. Gas de generador endotérmico	0.5	20	1.0	38	40.5	Más 10
VIII. Gas de carbón vegetal	0.5	30	-	2.02	67.5	Más 10

Tipo I El hidrógeno purificado se emplea para el recosido, soldadura fuerte y otros tratamientos del acero de bajo carbono, para el sinterizado de polvos ferrosos de bajo carbono; para el tratamiento del hierro al silicio (láminas y cintas eléctricas); para el recosido brillante de aceros inoxidables y para el sinterizado del molibdeno, tungsteno y otros metales.

Tipo II El amoniaco se disocia por medio de vapor de agua o calentamiento eléctrico y se seca en secadores químicos. Mediante combustión parcial es posible hacer variar los porcentajes relativos de hidrogeno y nitrógeno, como se indica en la tabla anterior. Los gases resultantes de este tratamiento son más económicos y se emplean para la soldadura fuerte y el sinterizado de aleaciones de cobre y para el recosido de aceros de bajo carbono. El amoniaco disociado sin combustión se usa para el recosido de aceros inoxidables que contiene níquel, el calentamiento de ciclo corto de todos los aceros al carbono y de aleación, el tratamiento del hierro al silicio y el tratamiento de productos cuprosos.

Tipo III El gas rico en hidrocarburos se produce por combustión, con aproximadamente, el 60% del aire teórico (relación aire/gas de 6:1 cuando se emplea gas natural), en presencia de un catalizador de níquel, seguida por un enfriamiento para reducir el contenido de humedad. Este gas se emplea para el recosido de aceros de bajo carbono, para el endurecimiento de ciclo corto de los aceros de bajo carbono; para el recosido limpio de los aceros inoxidables del tipo de cromo, para el tratamiento del hierro al silicio y para la soldadura fuerte de aleaciones de cobre.

Tipo IV Este gas es similar al tipo III, excepto por que se emplea el 90% del aire teórico para la combustión. Se emplea para el recosido brillante del cobre (también puede emplearse con este fin N_2 y CO_2 puros) y para el calentamiento limpio de latón y bronce.

Tipo V Este gas es igual al tipo III, pero se acondiciona por eliminación química del bióxido de carbono con monoetanolina y por secado en secadores químicos. Se utiliza para el tratamiento de ciclo corto de todos los aceros al carbono, de aleación y de alta velocidad; para el sinterizado de todos los polvos ferrosos, y como gas portador para carburización y restauración del carbono, con la adición de gas natural o propano.

Tipo VI Este gas es similar al V, excepto porque se emplea aproximadamente el 90% del aire teórico par la combustión. El gas resultante se usa para el tratamiento de ciclo prolongado de todos los materiales ferrosos, con excepción de los aceros inoxidables que contiene níquel, y es eficaz para controlar la descarburización en todos los aceros al carbono y de aleación. También se aplica en el recosido del latón y el bronce.

Tipo VII Este gas endotérmico se produce en un generador de calentamiento externo, con solo el 25% del aire teórico y se enfría para reducir la humedad. Se emplea para el tratamiento térmico de ciclo corto (de menos de 2 h) y soldadura fuerte por lo general con instalaciones de horno pequeño. También se usa para cianuración en seco y como gas portador para carburización y restauración del carbono.

Tipo VIII Al hacer pasar aire sobre carbón vegetal calentado, se produce un gas que también puede emplearse para tratamiento térmico de ciclo corto con hornos pequeños.

3.5.6 Medición de la temperatura

Las aleaciones y entre ellas los aceros, no forman una masa homogénea, sino que están constituidos por granos o cristales de distintos tamaños, distinta composición y por consiguiente de distintas propiedades.

La importancia de la observación y el control en cuanto a la medición durante los procesos de tratamiento térmico, radica que unos errores tan bajos como supone una diferencia de 20°C pueden dar lugar a defectos graves en un componente térmicamente tratado, resulta esencial contar con equipo de precisión para medir la temperatura.

Para procesos con temperaturas elevadas se utiliza el instrumento denominado *pirómetro*, para medir la temperatura del horno y de su carga. Los tipos más familiares de estos instrumentos son los siguientes:

a) El pirómetro de par termoeléctrico
b) El pirómetro de radiación
c) El pirómetro óptico

3.5.6.1 Pirómetro con par termoeléctrico

Este es el aparato para medición de temperatura que se utiliza más ampliamente en las aplicaciones de tratamientos térmicos. El principio del pirómetro con par termoeléctrico es el siguiente: si la unión de dos alambres de metales distintos (tales como el cobre y el hierro) que forman parte de un circuito cerrado se calienta, se generara en el circuito una corriente eléctrica; la presencia de esta corriente vendrá indicada por el galvanómetro. Para un circuito de una resistencia dada, la magnitud de la corriente que circule dependerá de la diferencia de potencial entre los contactos caliente y frío. La magnitud de esta diferencia de potencial dependerá a su vez de lo siguiente:

a) Los metales utilizados para el contacto caliente
b) La diferencia de temperatura entre los contactos caliente y frío

En la siguiente figura se muestra un circuito práctico de pirómetro con par termoeléctrico. Las partes que componen dicho circuito son las siguientes:

1. La sonda con par termoeléctrico (unión caliente)
2. El instrumento indicador (mili voltímetro)

A continuación se indica la grafica:

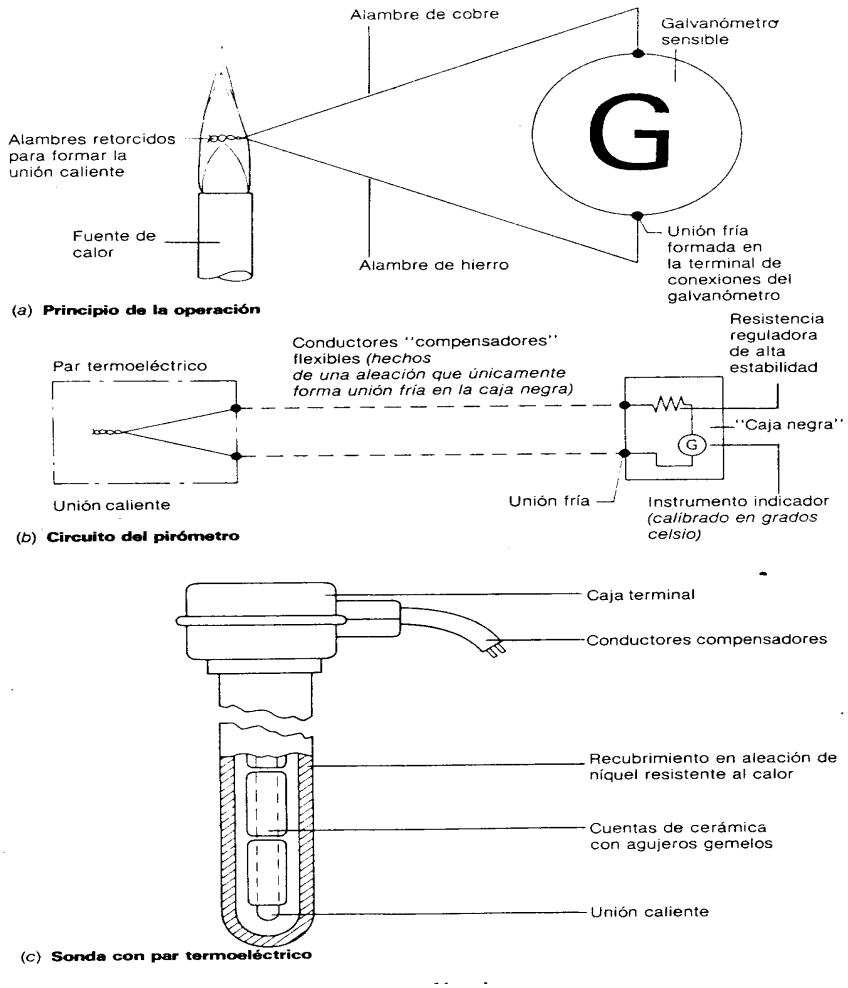


Fig.12 Pirómetro con par termoeléctrico

1. *Sonda con par termoeléctrico.* Está formada por la unión de dos alambres de metales distintos, contenidos en un tubo de metal o porcelana refractaria. Las cuentas de porcelana se utilizan para aislar los alambres y situarlos en una funda.
2. *Instrumento indicador.* Se trata de un **milivoltímetro** sensible, calibrado en grados Celsius, de forma que puedan obtenerse lecturas directas. Un error común consiste en poner a *cero* este instrumento cuando se instala en el sistema. En realidad debe situar a la *temperatura atmosférica* en el punto de instalación, este instrumento constituye la unión fría, y deberá colocársele en un lugar tan separado del horno y tan fresco como sea posible.

3. *El resistor de regulación o de absorción.* Está contenido en el gabinete del instrumento indicador, y su objeto es el de dar estabilidad al sistema.

La resistencia de los conductores eléctricos aumenta a medida que aumenta la temperatura, y los conductores utilizados en el pirómetro con par termoeléctrico no constituyen una excepción de dicha regla. Esta variación en resistencia podría afectar seriamente la precisión de la calibración del instrumento, si no se encontrase presente al resistor regulador, está hecho con alambre de manganina, que es una relación cuya resistencia no se altera con los cambios de temperatura.

4. *Conductores compensadores.* Estos se utilizan para conectar la sonda con el par termoeléctrico al instrumento indicador. Se les hace de una aleación especial, de forma que integran una unión fría en el instrumento indicador, pero carecen de efecto al conectarse a los terminales de la sonda con par termoeléctrico. Para evitar cambios en la calibración, los conductores compensadores no deben cambiar de longitud ni deben ser alterados cambiándolos por otros. El par termoeléctrico, los conductores de compensación y los instrumentos indicadores, deben conservarse siempre juntos, formando un sistema

3.5.6.2 Pirómetro de radiación

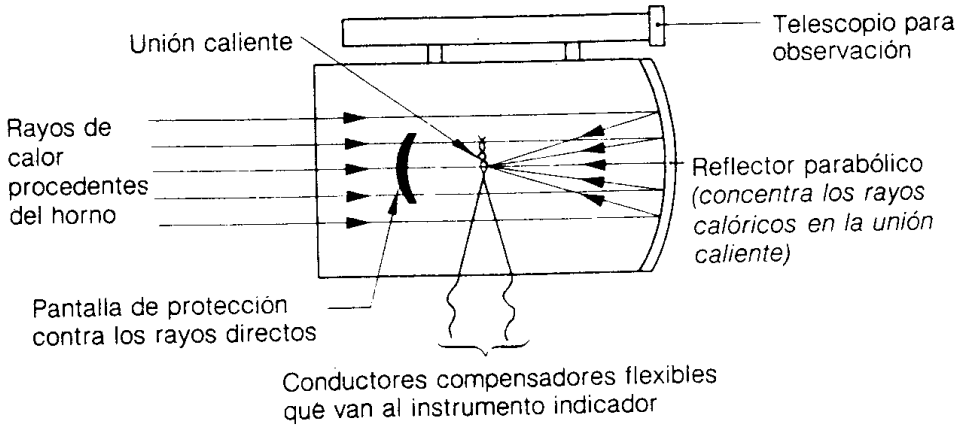


Fig.13 Pirómetro de Radiación

El principio de este pirómetro es idéntico al que se describió anteriormente. La única diferencia en que la sonda con el par termoeléctrico se insertaba en la atmósfera del horno, en tanto que el pirómetro de radiación se concentran el calor radiante del horno o

del componente, reflejándolo sobre el par termoeléctrico mediante un espejo parabólico como se indica en la (fig.13).

Este tipo de pirómetro se utiliza en los casos siguientes.

1. Cuando deba ser medida la temperatura de un componente grande después de ser sacado éste del horno.
2. Cuando la temperatura del horno esta tan elevada que pudiera resultar dañado el par termoeléctrico.
3. Cuando el componente caliente es inaccesible.
4. Cuando la temperatura del componente deba medirse en el horno, en lugar de medir la atmósfera del propio horno.

Deberá observarse que a medida que la temperatura del componente va alcanzando la del horno, la rapidez del descenso de la temperatura del componente es más lenta y es difícil, o imposible determinar el momento en que el componente llegara a tener la temperatura del horno. Es cierto que el tiempo de absorción implícito daría lugar a un crecimiento granular excesivo. Los hornos se operan frecuentemente por encima de la temperatura requerida, y se saca el componente cuando ha llegado a la temperatura adecuada medida por el pirómetro de radiación.

3.5.6.3 Pirómetro óptico

El principio de este tipo de instrumento se muestra en la (fig.14). El brillo del filamento de una lámpara eléctrica que figura en el instrumento se ajusta hasta que sea igual al brillo del horno, mientras éste se observa a través del visor, en cuyo momento el filamento deja de ser visible.

La temperatura se mide en un *amperímetro* (pre calibrado en grados Celsius) midiendo la magnitud de la corriente que circula a través de la lámpara. La desventaja principal del instrumento es que únicamente puede medir temperaturas en las cuales el cuerpo caliente comienza a dar brillo (aproximadamente 650°C en un lugar oscurecido). La precisión de la lectura depende en muy buena medida de la habilidad del operador para juzgar el momento preciso en que el filamento se confunde con el fondo sobre el que se proyecta.

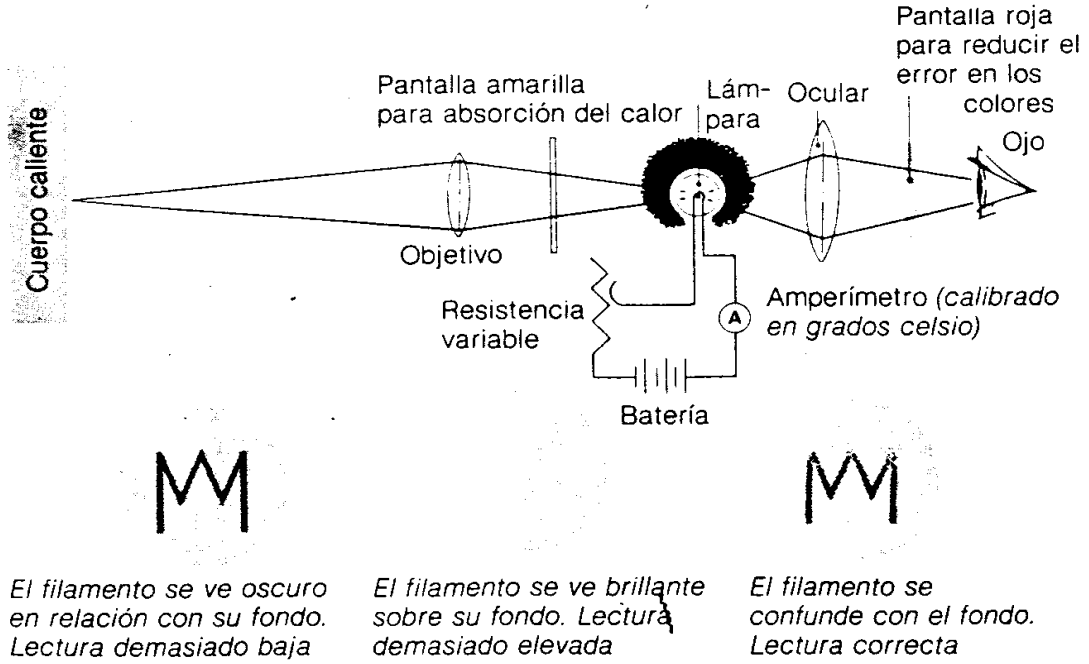


Fig.14 Pirómetro Óptico

3.5.7 Medios enfriadores

Los medios enfriadores que se utilizan más, en orden de eficacia son los siguientes:

a) Chorro de aire comprimido (el menos eficaz)

b) Petróleo

c) Agua

d) Salmuera (solución al 10 %) - (el más eficaz)

La elección de baño enfriador depende del tipo de acero de que se trate y de las propiedades que se requieren. La salmuera (sal y agua) se utiliza en ocasiones par lograr un enfriamiento muy rápido en el caso de aceros de herramienta al carbono simple, para realizar, y para el endurecimiento superficial de aceros en que se requiere la dureza máxima. Sin embargo, tal enfriamiento rápido puede dar lugar a resquebrajamiento de cualquier componente, salvo los más simples, y por tal razón se utilizan más habitualmente los enfriadores de agua o de petróleo, tanto en los casos de los aceros simples al carbono como en el de las aleaciones de acero.

Para evitar resquebrajamiento y la distorsión, el ritmo de enfriamiento no debe ser mayor que el que se requiera para dar las propiedades requeridas a la pieza en que se trabaja.

El agua suministra un ritmo de enfriamiento que es aproximadamente tres veces mayor que el del petróleo y habitualmente se le utiliza con los aceros simples al carbono. El enfriamiento con petróleo se utiliza habitualmente con las aleaciones de acero, ya que éstas tienen una capacidad de endurecimiento mucho más elevada.

El enfriamiento por chorro de aire se reserva habitualmente para aplicarlo a secciones pequeñas de acero rápido, en las que el contenido de la aleación es lo bastante elevado como parea reducir los ritmos de transformación a un nivel muy bajo. En ocasiones se utiliza un chorro de un gas protector para dar un acabado con *enfriamiento brillante* al componente.

Tan pronto como la pieza caliente se hunde en el agua o en el petróleo, se ve rodeada de una capa vaporizada del medio enfriador, y el enfriamiento sólo puede tener lugar por conducción o radiación a través de dicha capa de vapor. Como los vapores tienen conductividad térmica baja en comparación con los líquidos, es necesario mover las piezas en el baño enfriador para dispersar el vapor a medida que éste se forma, manteniendo así la pieza en contacto con el líquido. La agitación del baño enfriador ayuda también a mantener constante la temperatura, y minimiza su elevación.

Debe tenerse cuidado para lograr que la distorsión se mantenga al mínimo durante el enfriamiento, y por esta razón es habitual hundir los componentes largos y delgados en forma vertical en el baño enfriador.

3.5.8 Aislamientos térmicos

Los aislamientos térmicos consistentes en un solo material, una mezcla de materiales o una estructura compuesta, seleccionada para reducir el flujo de calor. La eficacia aislante se juzga sobre la base de conductividad térmica y depende de la estructura física y química del material.

El calor transferido a través de un aislamiento ocurre por conducción en sólidos, conducción en gases y por radiación.

La conducción en sólidos se reduce mediante partículas o fibras de tamaño pequeño en paredes de aislamiento de relleno suelto y mediante paredes de celdas delgadas en espumas.

La conducción en gases se reduce al proveer numerosos poros pequeños (interconectados entre sí) del orden de los caminos libres medios de las moléculas del gas, con empleo de gases sustitutos de baja conductividad térmica o con la evacuación de los poros hasta lograr una baja presión.

La radiación se reduce al agregar materiales que absorban, reflejen o dispersen la energía radiante.

3.5.8.1 El rendimiento

El rendimiento de los aislamientos térmicos depende de la temperatura de las superficies que los limitan y de su admitancia, la densidad del aislamiento, el tipo de presión de gas dentro de los poros, el contenido de humedad, la resistencia a los choques térmicos y la acción de las cargas y vibraciones mecánicas. En aplicaciones transitorias hay que considerar la capacidad calorífica del aislamiento (que afecta el régimen de calentamiento o enfriamiento).

La forma de los aislamientos puede ser de relleno suelto (burbujas, escamas, gránulos, polvos), flexible (manta, fieltro, hojas de capas múltiples y tubular), rígida (bloque, tablero, ladrillo, moldeado especial cubierta de lamina y tubos), pegado con adhesivo o cemento, espumado en el sitio o rociado.

La selección de los aislamientos la dictan los limites (rango) de las temperaturas de servicio, así como los criterios de diseño y las consideraciones económicas.

3.5.8.2 Altas temperaturas [más de 830 ^{o}C (1500°F)]

Para las altas temperaturas en aplicaciones de hornos y procesos, se puede requerir la estabilidad física y química del aislante en una atmósfera oxidante, reductora o neutra, o al vació.

3.5.8.2.1 Aislamientos de relleno suelto

Incluyen fibras de vidrio con límite útil de temperatura de 538°C (1000°F); fibras de asbesto de 650°C (1200°F); titanio fibroso de potasio 1040°C (1900°F); fibras de alúmina-sílice 1260°C (2300°F); micras microscópicas de cuarzo 1370°C (2500°F); la

alúmina coloidal opacada 1310°C (2400°F en el vació); fibras de zirconio 1640°C (3000°F); burbujas de alúmina 1810°C (3300°F); burbujas de zirconio 2360°C (4300°F); fibras de grafito y carbono 2480 °C (4500°F); en el vació o en atmósfera inerte.

3.5.8.2.2 Aislamientos rígidos

Incluyen sílice coloidal reforzada y aglutinada para 1090°C (2000°F); ladrillos de tierra de diatomáceas aglutinada para 1370°C (2500°F); ladrillo refractario aislante y grafito pirolítico anisotrópico.

3.5.8.2.3 Aislantes reflejantes

Forman un espacio de aire o una cámara al vacío entre superficies espaciadas, incluyen hojas o láminas de acero inoxidable, molibdeno, tantalio o tungsteno.

3.5.8.2.4 Cementos aislantes

Están basados en fibras de asbesto, minerales o refractarias aglutinadas con mezclas de arcilla o silicato de sodio. Los materiales aislantes, que se pueden colocar, ligeros de peso, consistentes en fibras minerales o refractarias en un cemento de aluminato de calcio, son útiles hasta 2500°F. Los ablatores son minerales compuestos capases de soportar altas temperaturas y altas velocidades de gases durante periodos limitados con erosión mínima, por una sublimación y carbonización a una velocidad controlada. Los materiales incluyen asbesto, carbono, grafito, sílice, fibras de nylon o vidrio en una matriz de resina para alta temperatura (resina epoxi y fenólica) y composición de corcho.

3.5.9 Refractarios

Constituyen el recubrimiento interno del horno teniendo en cuenta su elevada resistencia al calor.

3.5.9.1 Tipos de refractarios

Los refractarios pueden ser de diversos tipos: refractarios de arcilla, ladrillos de sílice, ladrillos de magnesita, ladrillos de cromo y ladrillos refractarios aislantes.

3.5.9.1.1 Refractarios de arcilla

El ladrillo de arcilla refractaria se fabrica, como dice su nombre, de arcillas especiales que comprenden todas las arcillas refractarias que resisten el rojo blanco. Las arcillas refractarias pueden ser divididas en arcillas plásticas y arcillas de pedernal duro; también pueden clasificarse con respecto a su contenido de alúmina.

Los ladrillos refractarios se fabrican ordinariamente de una mezcla de las dos arcillas mencionadas, a la cual se le da forma, después de mezclada con agua, según se desee. Se puede reemplazar algo o toda la arcilla de pedernal por arcillas con alto grado de cocción o calcinadas, llamadas grog. Una gran proporción de los ladrillos modernos se moldean por proceso de prensado en seco o prensado mecánico en el que la formación se efectúa bajo presión elevada y con un contenido bajo de agua. Aún se fabrican ladrillos por extracción y moldeado a mano.

Los ladrillos de arcilla refractaria se usan en montaduras de calderas, hornos de secar y para hierro maleable, incineradores y muchas porciones de hornos para acero y metales no ferrosos. Son resistentes al descascaramiento y se conservan bien en muchas condiciones de escoria, pero no son, en general, apropiados para ser usados con escoria de alto contenido de cal, escorias fluidas de cenizas de carbón mineral o en condiciones severas de carga.

Los ladrillos de alto contenido de alúmina se fabrican de materias ricas en alúmina, como la diáspora y la bauxita. Se clasifican en grupo con:

- 50% de alúmina
- 60% de alúmina
- 70% de alúmina
- 80% de alúmina
- 90% de alúmina

Se emplean también mucho en hornos para cal y en hornos rotatorios par cemento, en las lumbreras y los regeneradores de tanques para vidrio y para resistir las escorias en algunos hornos metalúrgicos; su precio es más elevado que el ladrillo refractario común.

3.5.9.1.2 Los ladrillos de sílice

Se fabrican de roca ganister triturada, que contienen poco más o menos (97 - 98) % de sílice. Se emplea un aglutinante con un 2% de cal, los ladrillos de sílice son muy usados en hornos de coque, en los techos y paredes de los hornos de hogar abierto, en los techos y muros laterales de los tanques para vidrio y como revestimiento interiores de los hornos eléctricos ácidos de acero.

3.5.9.1.3 Ladrillos de magnesita

Se fabrican de óxido de magnesio triturado, el cual se produce a temperaturas elevadas. Es preferible una roca que contenga algún porcentaje de óxido de hierro, ya que esto permite que la roca sea cosida a una temperatura inferior a la que se necesitaría con materiales puros. Los ladrillos de magiecita son básicos y se emplean siempre que es necesario resistir escorias de alto contenido de cal, como en el horno básico de hogar abierto. También encuentran aplicación en los hornos para la industria de refinación del plomo y del cobre.

3.5.9.1.4 Ladrillos de cromo

Se fabrican casi de la misma manera que lo de magnesita, pero con el mineral natural cromita. Los minerales comerciales contienen siempre magnesita y alúmina. Los ladrillos de cromo se emplean en hornos para recuperación de sulfito y, en cierto grado, en la refinación de metal no ferrosos.

3.5.9.1.5 Ladrillos refractarios aislantes

Son de una clase que contiene arcilla refractaria o caolín altamente porosos. Son ligeros, de baja conductividad térmica y, no obstante, suficiente resistencia a la temperatura para ser usados con éxito en el lado caliente de la pared de un horno, permitiendo así muros delgados de baja conductividad térmica y bajo contenido calorífico. El bajo contenido de calor es en particular valioso para el ahorro de combustible y tiempo al elevar la temperatura del horno y permiten que se hagan cambios rápidos de temperatura así como un enfriamiento rápido.

Los ladrillos refractarios aislantes se clasifican en varios grupos, según el límite máximo de aplicaciones; estos límites son hasta 872 ^{o}C, 1090 ^{o}C, 1260 ^{o}C, 1420 ^{o}C y por encima de 1540°C.

Los refractarios aislantes se emplean principalmente en la industria del tratamiento térmico para hornos de tipo periódico; el bajo contenido calorífico permite notable ahorro de combustible, en comparación con el ladrillo refractario. Se usan mucho para procesos químicos, calentadores destiladores de aceite y en las cámaras de combustión de hornos domésticos de quemador de aceite.

Hay gran número de tipos de ladrillos especiales, que se pueden obtener de fabricantes particulares, los que son valiosos en particulares condiciones de trabajo.

3.5.9.2 Selección de refractarios

La selección de refractarios más adecuada para un fin dado demanda experiencia en la construcción de hornos. Una calidad de ladrillo que cueste el doble y dure el doble que otra es preferible por que en el coste total hay que comprender los costos de colocación. Además, un ladrillo que dé un servicio más largo reduce el periodo de paro del horno. En aquellos casos en los que el efecto de la escoria o de la abrasión sea severo, es conveniente un ladrillo de estructura densa. Si las condicione que producen descarcaramiento son importantes, es mejor un ladrillo de estructura más flexible, aunque hay casos en los que la estructura más flexible, aunque hay casos en los que una estructura muy densa de mejor resistencia a ese descascaramiento que una más abierta.

3.5.9.3 Morteros

Prácticamente toda la obra de ladrillo se coloca con algún tipo de materia de unión para producir una estructura más estable y para sellar las juntas. Este material puede ser de arcilla refractaria molida o un mortero preparado especialmente que contenga *crown* para reducir la contracción.

Los morteros de adhesión pueden dividirse en tres grandes clases generales:

1. Morteros que se fraguan al *aire*, los cuales contienen con frecuencia un aglutinante químico u orgánico para producir una fuerte adherencia al secarse o coserse a temperaturas relativamente bajas. Muchos morteros que se fraguan al aire no deben ser usados a la temperatura en extremo elevadas a causa de la acción fundente del ingrediente para fraguado al aire que reduce el punto de fusión.
2. Morteros que fraguan con *calor*, y requieren temperaturas de 1090°C para producir una buena adhesión. Estos morteros varían en el punto de verificación, produciéndose en algunos una fuerte adherencia dentro de los límites más bajos de temperaturas, y los otros requiriendo temperaturas muy altas para dar una buena resistencia mecánica.
3. Los morteros de *base especial*, como los de sílice, magnetita, carburo de silicio o cromo, los cuales se mezclan especialmente para usarse con sus ladrillos respectivos.

3.6 LOS GASES

Los gases industriales son cuerpos gaseosos combustibles con un alto poder calórico y amplias aplicaciones en los sectores domésticos, comercial, industrial, agrícola y automotriz.

3.6.1 Familias de gases

El gran número de cuerpos gaseosos combustibles de diversos orígenes y de distintas características ha hecho que, tradicionalmente, se clasifiquen y agrupen en tres grandes grupos, en los que quedan enmarcados según sus características comunes. Así, las tres grandes familias que podemos formar, son:

Primera familia: constituida por los *gases manufacturados*, cuyo principal exponente es el gas comúnmente llamado gas de ciudad, que es el que se distribuye en las grandes ciudades procedentes de una fabrica de gas, por medio de canalizaciones, enterradas en parte y en partes aéreas, y el aire butanado o propano de bajo contenido en butano o propano que puede equivaler o suplementar a dicho gas de ciudad.

Segunda familia: la formada por los *gases naturales*, son una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso; el metano suele ser el principal componente del gas natural, están presentes también el etano, propano, butano y otros gases existentes en menor proporción

Tercera familia: la forma por el *butano y el propano*, como productos derivados de la destilación del petróleo y que se conservan el forma líquida en depósitos (aparte de una pequeña fracción en forma gaseosa) y de lo cual se deducen las siglas que los identifican: GLP (gases licuados de petróleo).

3.6.2 Los GLP (gases licuados de petróleo: Propano y Butano)

La denominación de "gases licuados del petróleo" se aplica a un reducido número de hidrocarburos que a la temperatura ordinaria y a la presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso y que tienen la propiedad de pasar al estado líquido al someterlos a una presión relativamente baja. Tales son: el propano y el butano. Esta propiedad les confiere la ventaja de poder ser almacenados en estado líquido ocupando un volumen muy reducido. "Dichos gases forman parte de los hidrocarburos saturados, cuya fórmula general es $C_n H_{2n+2}$, y cuyos primeros términos son el metano (CH_4), el etano ($D_2 H_6$), el propano ($C_3 H_8$), los butanos (butano normal e izó butano ($C_4 H_{10}$) y a continuación los pentanos, hexanos, etc. Que son líquidos a la temperatura ordinaria."[1]

En su estado natural, son inodoros, incoloros, por ello, en una eventual fuga no podría ser detectada, se les agregan unas sales de azufre llamadas mercaptanos que les confiere ese olor característico.

3.6.2.1 Obtención

Algunos hidrocarburos pueden obtenerse de yacimientos de gas natural o de las destilerías del petróleo. Bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, estos gases pueden ser licuados y en tales condiciones envasados.

[1] **PRO COBRE** Manual de Instalaciones de GLP en Baja Presión. Santiago-Chile. Año 2001. 88pág

Por tal razón reciben la denominación de gases licuados. El petróleo se somete a una operación, denominada destilación, mediante la cual se separan en forma ordenada, por densidades y puntos de ebullición, los diversos componentes: gasolinas ligeras, kerosenes, serbutano, propano, gas-oil, fuel-oil y aceites pesados.

Debido a que el butano y el propano son hidrocarburos, éstos están conformados por Hidrógeno y Carbono. Son compuestos que responden a la fórmula general de hidrocarburos Cn H (2n+2).

3.6.2.2 Propiedades y características.

3.6.2.2.1 Peso

Peso de un cuerpo es la resultante de la acción de la gravedad sobre él o la fuerza con que la tierra lo atrae, y se mide en kilogramos.

TABLA 3. PESO DE COMPONENTES DEL GLP

COMPONENTE	PESO POR LITRO
PROPANO (Líquido)	0.508 Kg
BUTANO(Liquido)	0,584Kg
AGUA	1,000 Kg
MEZCLA: PROPANO70% - BUTANO 30%	0,531 Kg

3.6.2.2.2 Peso especifico, gravedad especifica

3.6.2.2.2.1 En relación al agua

El peso específico relativo del gas licuado de petróleo es la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua.

TABLA 3.1. PESO DE COMPONENTES DEL GLP (AGUA)

MATERIAL	PESO ESPECIFICO RELATIVO
PROPANO	0.508
BUTANO	0,584
AGUA	1,000
MEZCLA: PROPANO70% - BUTANO 30%	0,531

3.6.2.2.2.2 En relación al aire

El peso específico relativo del gas licuado de petróleo que esta en estado de vapor es la relación entre el peso de un litro de vapor y el peso de un litro de aire

TABLA 3.2. PESO DE COMPONENTES DEL GLP(AIRE)

MATERIAL	PESO ESPECIFICO RELATIVO
PROPANO VAPOR	1,522
BUTANO VAPOR	2,006
AIRE	1,000
MEZCLA: PROPANO70% - BUTANO 30%	1,667

3.6.2.2.3 Punto de ebullición.

El punto de ebullición de una sustancia es la temperatura a la cual cambiara del estado líquido al de vapor.

SUSTANCIA	PUNTO DE EBULLICIÓN	
	ºF	ºC
✓ PROPANO	-43,7	-42,1
✓ BUTANO	+31,1	-0,5
✓ AGUA	+212,0	+100,0

3.6.2.2.4 Capacidad de vaporización.

Generalmente el GLP se extrae de los tanques para ser utilizado en estado de vapor. Cada litro de liquido (mezcla 70-30) del recipiente es capaz de producir 262 litros de vapor. Esta propiedad permite disponer de recipientes relativamente pequeños para almacenar GLP y obtener grandes cantidades de gas-vapor.

Para hacer una comparación práctica de esta propiedad se puede observar que el líquido contenido en dos (2) cilindros de 45 Kilogramos de GLP equivale en estado de vapor a 44.407 litros, volumen aproximado de 12.000 galones.

3.6.2.2.5 Poder calorífico.

Es la cantidad de energía liberada por una sustancia cuando alcanza su completa combustión es medido en Kilocalorías por cada kilogramo o litro o también en BTU por libra como indica la siguiente tabla.[2]

TABLA 4

PODER CALORÍFICO			
UNIDAD	PROPANO	BUTANO	MEZCLA P.70-B-30
Kcal/kg (líquido)	13.005	11.780	11.938
BTU/kg (líquido)	47.659	46.768	47.392
Kcal/litro (líquido)	6.105	6.910	6.347
BTU/litro (líquido)	25.238	27.432	25.196
Kcal/litro (vapor)	23	30	25
BTU/litro (vapor)	91	119	99
Kcal/galón (líquido)	23.108	26.153	24.022
BTU/galón (líquido)	91.740	103.830	95.367

3.6.2.3 Usos y aplicaciones.

El GLP posee una gran cantidad de ventajas en comparación a otros combustibles, entre las cuales hay que mencionar: limpieza, economía, gran poder calorífico, fácil manejo: ubicación, transporte y seguridad en su uso, razones por las cuales se lo utiliza.

Sector Doméstico: En este aspecto tenemos varios funciones entre las cuales: cocinar, calentar agua, calefacción, refrigeración, secadores, alumbrado, máquinas, etc. *Sector Comercial:* Los mismos usos anteriores pero en mayor escala. *Sector Industrial:* En aquellos procesos que requieran un combustible limpio y controlable, tratamientos térmicos, entre otros etc. *Sector Agrícola:* Como combustible en bombas de riego, tractores, etc. Además, se utiliza para secar semillas, granos, alfalfa entre otros usos.

Sector Automotriz: Como combustible alterno.

[2] **VENTANE S.A** Manual de Instalaciones de GLP. Primera Edición. Caracas - Venezuela. Año 1982. 22 pág

3.6.3 Puntos de rocío

Bajo determinadas condiciones de presión y temperatura los gases se condensan, es decir, pasan al estado líquido.

El punto de roció es la temperatura a la cual, para una determinada presión, se produce la condensación de ese gas.

No todos los gases se licuan a las mismas presiones y temperaturas, si no que cada una presenta unos valores característicos. A nosotros nos interesa estudiar los GLP más importante: el propano. (fig.15)

Ante todo, hay que recordar una ley, llamada de DALTON, que dice que en una ***mezcla de dos gases, cada una de ellos tiene una presión proporcional a la dosificación o tanto por ciento en que está en aquélla.***

Así, sí mezclamos propano y aire en la proporción 40/60, es decir, un 40% de propano con un 60% de aire, el propano tendrá el 40% de presión que tenga la mezcla.

Dicho de otra forma, mientras mayor sea la proporción de propano en la mezcla con el aire, más fácil se producirá la condensación de aquéllos a una determinada presión.

Este fenómeno de condensación, que se debe evitar a toda costa en las instalaciones, es más fácil de producir en el caso del butano que en el del propano.

Lo observamos este fenómeno del punto de Roció en la siguiente grafica:

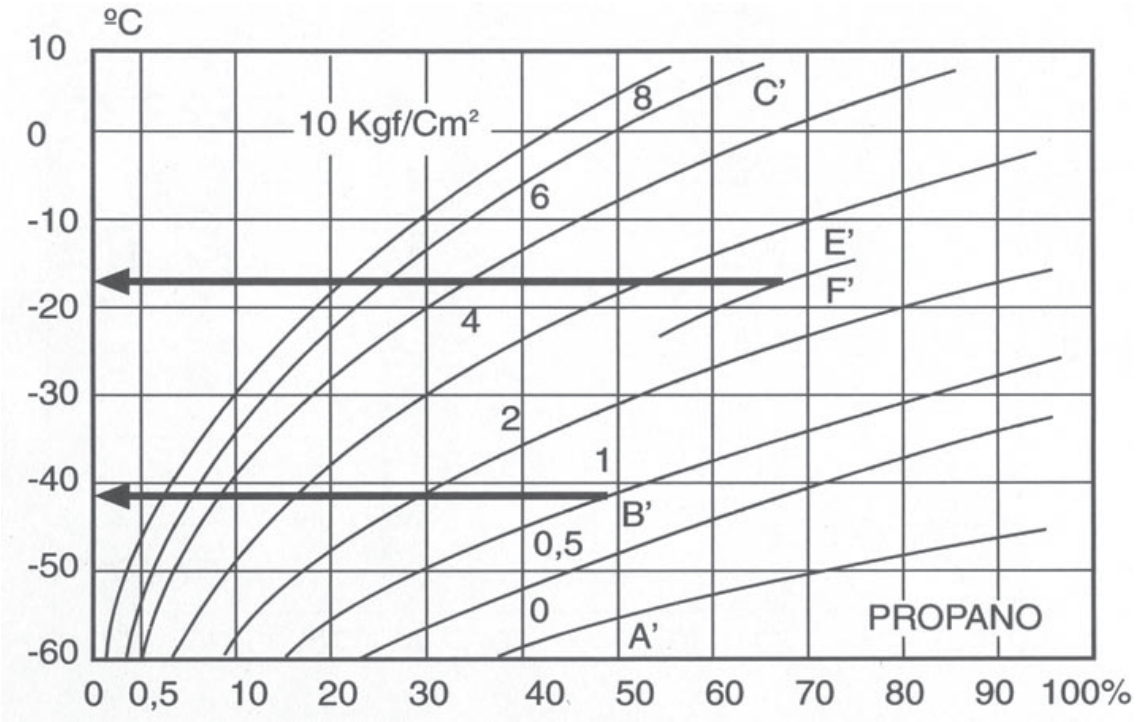


Fig.15 Punto de rocío del Propano

Las curvas del gráfico representan las diversas presiones relativas o manométricas a que se encuentran las mezclas de propano - aire y propano - aire.

En el eje de las ordenadas, se ubican las temperatura desde -60ºC hasta +10ºC.

En el eje de las abscisas se ubican los porcentajes de propano, en una mezcla imaginaria con aire.

El cero por ciento expresa ausencia absoluta de propano y la presencia total de aire. El cien por ciento expresa presencia total de propano y ausencia absoluta de aire.

Por ejemplo, en el gráfico inferior se ilustran las curvas de las mezclas de propano y aire, las que determinan a qué temperaturas normales o relativamente altas se pueden producir las condensaciones de este gas licuado del petróleo (GLP).

3.6.4 Índice de Wobbe

El quemador es un dispositivo donde se lleva a cabo la reacción de combustión de un gas combustible.

El objetivo del quemador es graduar convenientemente el caudal tanto del gas como del aire para que exista una buena combustión correcta entre los dos componentes.

La necesidad de utilizar un gas diferente del que se ha empleado en el quemador implica, muchas veces, realizar ajustes en algunos elementos del quemador.

Para determinar si es posible intercambiar un gas por otro, se utilizan índices empíricos, denominados ÍNDICE DE WOBBE - POTENCIAL DE COMBUSTIÓN.

El Índice de Wobbe y el potencial de combustión se aplican a gases de la primera y la segunda familia, como también a las mezclas de aire butanado y aire propanado.

El Índice de Wobbe se representa por la letra W y se define a partir de la siguiente expresión:

$$W = \frac{P.C.S.}{\sqrt{d}}$$

Donde:

PCS =Poder calorífico superior del gas

d= Densidad relativa respecto al aire

Para que dos gases sean libremente intercambiables deben tener el mismo valor del Índice de Wobbe, lo cual indica que darán la misma potencia calorífica en el quemador. La siguiente Tabla entrega los valores del Índice de Wobbe para los gases combustibles más habituales.

TABLA 5. VALORES DEL ÍNDICE DE WOBBE

Combustible	Índice de Wobbe (Kcal / Nm^3)
Gas manufacturado	6000 - 8000
Gas natural	13400
Butano comercial	21900
Propano comercial	19800

La Tabla que se presenta a continuación, entrega el valor del poder calorífico de algunos Hidrocarburos combustibles.

TABLA 6. PODER CALORÍFICO (HIDROCARBUROS)

HIDROCARBUROS	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kg / Nm^3)	PODER CALORÍFICO INFERIOR (Kg / Nm^3)
Metano CH_4	39776.5	35736
Etano C_2H_6	70383,5	64333
Propano C_3H_8	101744	93663
Butano C_4H_{10}	132351	122260
Acetileno C_2H_2	58869	56859,5
Benceno C_6H_6	147341	141269,5

- APARATOS MEZCLADORES

Son los encargados de proporcionar una mezcla adecuada de gas y aire, para las mezclas de butano y propano con aire.

En el siguiente (fig.16a) esquema vemos, un inyector o mezclador atmosférico. Por *1* se inyecta el gas cuya mezcla con el aire se desea obtener. Por *2* entra el aire, absorbido por efecto de vació originado en el inyector por el chorro de gas al llegar al estrangulamiento de sección que se encuentra en el mezclador *3*. Por *4* sale la mezcla gas/aire a utilización.

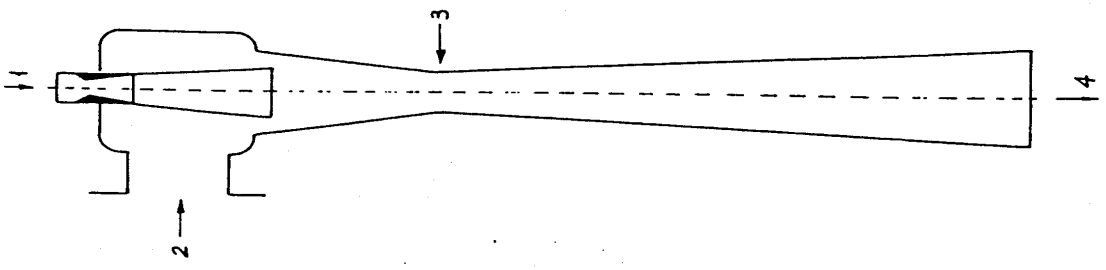


Fig.16a Inyector Atmosférico

Otro aparato utilizado (fig.16b) es el llamado válvulas proporcionales. Por *1* entra el gas, cuya presión se regula mediante el reductor *4*. Por medio de soplante o comprensor

2 se envía el aire, y ambos fluidos, gas y aire, se regulan por medio de válvulas *3* que aseguran, al trabajar acopladas mutuamente, que a un variando la demanda de mezcla, que sale por *6*, se conserva la proporción necesaria constantemente. El *5* es un controlador automático, bien del P.C.S, bien de la densidad de la mezcla que envía una señal a las válvulas proporcionales *3* para corregir, si es preciso, la riqueza de la mezcla.

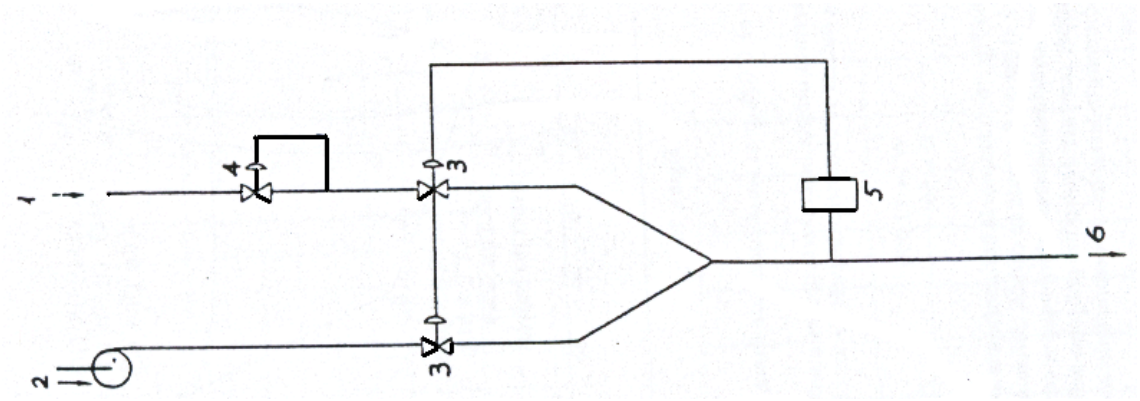


Fig.16b Válvulas Proporcionales

- PRINCIPALES TIPOS DE MEZCLAS.

En líneas generales, las mezclas de GLP. y aire más utilizadas, y sin entrar en detalles acerca de otros índices que son convenientes comprobar, como el de las puntas amarillas, que nos da una idea del peligro de una mala combustión por el exceso de combustible en la mezcla, etc., pueden ser entre otras las siguientes:

- *Aire butanado de:*

  21 % de butano comercial

  79 % de aire

  P.C.S: 6.300 Kcal/Nm^3

  Densidad: 1,2 (aire=1)

  Índice de Wobbe corregido: W= 4.929

  Potencia de combustión: C= 45,8

- *Aire propanado de:*

  27 % de propano comercial

  72,9 % de aire

  P.C.S.: 6.500 Kcal/Nm^3

Densidad: 1,142 (aire=1)

Índice de Wobbe corregido: W= 6.0949

Potencia de combustión: C= 46,6

3.6.5 Limites de inflamabilidad

Un gas es capaz de arder cuando se le aplica una temperatura igual o superior a la temperatura de inflamación.

Pero al arder ese gas precisa, además de estar mezclado con el oxigeno contenido en el aire en una determinada proporción. La cantidad de aire más precisa para esa combustión (que si es rápida o instantánea es una deflagración o explosión) es más o menos variable, teniendo unos límites: el mínimo o inferior y el máximo o superior, dentro de los cuales se produce la combustión, más o menos perfecta.

Esos límites que marcan o delimitan el campo o margen de gas, expresados en tanto por ciento de la mezcla gas/aire, son los llamados límites de inflamabilidad.

TABLA 7. LIMITE DE INFLAMABILIDAD DE LOS GASES

	Gas	**Limites de inflamabilidad (%)**	
N	*Nombre*	*inferior*	*superior*
1	Metano	5	15
2	Etano	3,22	12,45
3	Propano	2,37	9,5
4	Butano	1,8	8,44
5	Propano-Butano	2,2	9,2

Obsérvese que se indican los tantos por cientos de cada gas existentes en una mezcla con aire.

Pero si mezclamos el aire y el propano debidamente, como en la proporción (5 %) de este último está comprendida entre los limites inferior (2,37 %) y superior (9,50 %) de las mezclas inflamables, se producirá inevitablemente la inflamación.

3.6.6 Aire requerido para la combustión completa.

Por cada litro de GLP en estado de vapor se necesita 26 litros de aire para lograr una combustión completa. Se puede hacer gráficamente esta relación con el ejemplo siguiente:

1Kg de GLP en estado líquido con una gravedad especifica de 0,531 Kg/lt, necesita 51.090 litros de aire para producir una combustión completa.

4Kg: 0,531 Kg/lt = 7,5lts de GLP. Liquido.

7,5lts. De liq. x 262 lts. De vapor/lt. De líq. = 1.965 lts de vapor.

1.965 lts de vapor x 26 lts. De aire/lt. De vapor = 51.090

3.6.7 Combustión del GLP

La combustión se produce al reaccionar químicamente dos cuerpos: el combustible, que puede ser un sólido, un liquido, o un gas y el comburente el oxigeno del aire.

El resultado de esta reacción entre combustible y comburente es, por una parte, y en la mayoría de los casos, la formación de la llama, a mayor o menor temperatura, con el consiguiente desprendimiento de calor, y de otra, la emisión de determinados productos de esa combustión: cenizas, en los combustibles sólidos, y humos, más o menos limpios.

No obstante lo dicho, hay que resaltar que para la combustión es preciso que el combustible y el comburente entre en contacto con dos condiciones:

- Una proporción determinada entre ambos.
- Que se produzca un foco calorífico (chispa o llama) a una determinada temperatura mínima.

La mayoría de los combustibles son cuerpos que llevan como componentes principales el carbono (C) y el hidrogeno (H).

Los productos de la combustión o cuerpos que se desprenden al arder aquéllos son un gas, el anhídrido carbónico (CO_2), y el vapor de agua (H_20).

El aire preciso para la combustión ha de estar presente en un volumen determinado para cada gas. Se expresa diciendo que se precisa tantos m^3 de aire por cada m^3 de ese gas.

Si este aire entra en la combustión en cantidad diferente a la teórica o justa, será en mayor o menor cantidad. Si es mayor, se dice que hay combustión con exceso de aire; si es menor, combustión con defecto de aire.

Los tipos de combustión que se pueden dar, según la cantidad de aire, lo podemos dividir en cuatro grandes grupos:

- *Combustión exacta, justa o estequiometria*: Cuando se utiliza el aire teórico exactamente, con lo que consume todo el carbono y el hidrógeno del combustible y se utiliza todo el oxigeno del aire. Los productos de la combustión serán, en este caso: anhídrido carbónico, vapor de agua y el nitrógeno que entró con el aire.

- *Combustión completa con aire en exceso:* Es el tipo más general de combustión. Similar a la anterior se diferencia sólo en que entre los productos de la combustión estará también el oxigeno sobrante del aire en exceso.

- *Combustión incompleta por falta de defecto de aire:* Al no oxidarse o combinarse totalmente todo el carbono y el hidrógeno del combustible, se producirá óxido de carbono (CO), aparte el anhídrido carbónico (CO_2), el vapor de agua, el nitrógeno y el hidrógeno no quemado, etc.

- *Combustión incompleta por exceso de aire:* Igual que el anterior, si no se produce una buena mezcla, aunque haya exceso de aire, se producirán los mismos gases, y además, el oxigeno procedente de ese exceso de aire.

3.6.8 Reacciones de la combustión

Los datos presentados en la siguiente Tabla 8, salen basándose en que la naturaleza nada se crea ni se destruyen totalmente, si no que sólo se transforma, se puede escribir una igualdad en la que se comprueba la permanencia de los elementos más simples del combustible (carbono e hidrógeno) y del comburente (oxigeno y nitrógeno) a pesar de su transformación en otros compuestos (anhídrido carbónico y agua). Para ello, nos valemos primero de la igualdad:

Combustible + comburente = productos de la combustión

TABLA 8. CONSTANTES DE LA COMBUSTIÓN DE ALGUNOS GASES EN N /m^3 (3)

N	*Gas*	*Formula*	*Aire para la combustión*			*Productos de la misma*		
			0_2	N_2	TOTAL	$C0_2$	H_2O	N_2
1	**Aire**	N_2O_2	-	-	-	-	-	-
2	**Hidrogeno**	H_2	0,50	1,90	2,40	-	1,0	1,90
3	**Metano**	CH_4	2,00	7,62	9,62	1,0	2,0	7,62
4	**Etano**	C_2H_6	3,50	13,33	16,83	2,0	3,0	13,33
5	**Propano**	C_3H_8	5,00	19,05	24,05	3,0	4,0	19,05
6	**Etileno**	C_2H_4	3,00	11,43	14,43	2,0	2,0	11,43
7	**Propileno**	C_3H_6	4,50	17,14	21,64	3,0	3,0	17,14
8	**n-Butileno**	C_4H_8	6,00	22,86	28,86	4,0	4,0	22,86
9	**Butadieno**	C_4H_6	5,50	20,95	26,45	4,0	3,0	20,95
10	**Acetileno**	C_2H_2	2,50	9,25	12,02	2,0	1,0	9,52
11	**Benceno**	C_6H_6	7,50	28,57	36,07	6,0	3,0	28,57

3.6.9 La llama

La llama se puede definir como la manifestación visible y calorífica de esa reacción. Para que se produzca la llama, es preciso que se cumplan dos circunstancias:

[3] **REPSOL-BUTANO S.A** Los GLP. Madrid-España. Año 1989. 77pág

1.- Contacto entre el combustible y el comburente. Este se puede hacer:

1.1 Sin mezcla previa de ambos, dando lugar a las llamas de difusión.

Ventajas: puede alcanzarse una gran longitud de llama, a veces exacta

Inconvenientes: al alcanzar menores temperaturas, puede producir hollín o depósitos de carbón.

1.2 Con la mezcla previa de combustible y comburente, dando lugar a las llamas aireadas.

Ventajas: alcanzan mayores temperaturas, evitan la formación de hollín. Pueden concentrar la fuente de calor, tiene mejor rendimiento térmico.

Inconvenientes: pueden producir retroceso o soplado de la llama.

2.- Llevar la mezcla a una temperatura mínima de inflamación.

3.6.9.1 Temperatura de la llama

Esta temperatura varía con:

- La posición que consideremos dentro de la llama, según unas líneas llamadas isotérmicas en las que podemos ver que la máxima es para la zona situada un poco por encima del cono azul.

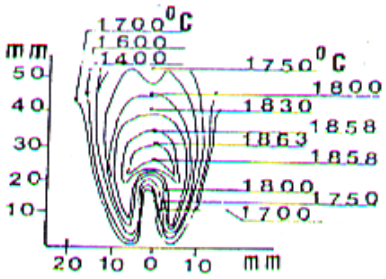


Fig.17 Temperatura de la llama de Propano

En la figura17. Vemos la representación grafica de la temperatura de la llama de propano según la altura o distancia al quemador.

- Según la proporción entre combustible y comburente, alcanzándose la máxima temperatura para una mezcla ligeramente superior a la estequiometria o teórica par la combustión perfecta.
- Con la temperatura de la mezcla. Por ejemplo. Calentando dicha mezcla unos 100°C se consigue aumentar la llama de 30 a 40 °C si el comburente es aire y de 10 a 25 °C si éste es oxigeno.

3.6.9.2 Velocidad de propagación de la llama

Conforme va saliendo mezcla inflamable por la cabeza del quemador, el frente de llama va avanzando y quemando aquella. La velocidad con que se propaga esta llama depende de:

- ✓ La proporción entre el combustible y el comburente. Cuando este es el aire (caso normal) se puede estudiar la variación de la velocidad de propagación de la llama según varia un valor que se llama (tasa de aireación primaria) que es el cociente:

$$n = \frac{volumen - de - aire - primario}{volumen - de - aire - teórico}$$

- ✓ En aire primario es el que se mezcla con el combustible antes de llegar a la cabeza del quemador, formando una mezcla. El aire teórico es el que precisa cada combustible para arder correcta y completamente
- ✓ La naturaleza del combustible. Efectivamente, es típico y característico de cada uno de ellos, como vemos.
- ✓ La naturaleza del comburente. Los gases inertes, como el Nitrógeno, disminuyen la velocidad. El Oxigeno, aumenta ésta.
- ✓ La temperatura de la mezcla: aumenta la velocidad de propagación al aumentar aquélla.

3.6.9.3 Los humos. Su calor y su rendimiento térmico

El calor producido en la combustión variara según su calidad y, por tanto, el calor que lleva o transporta los humos (o su calor sensible) variara según las condiciones de la combustión y en definitiva de su rendimiento térmico.

Se comprende que el calor aprovechado en el proceso, sea éste el que sea, será mayor cuando menor sea la temperatura de los humos producidos. Nos interesa, pues conseguir unos humos, producto de la combustión a temperaturas relativamente bajas para aprovechar razonablemente el calor producido en la combustión. Esta temperatura inferior de los humos tiene un límite, ya que al llevar los humos a unas temperaturas por debajo de cierto límite puede producir condensación del vapor de agua que resulta de la combustión, pasándola al estado liquido. Es el llamado (punto de roció) de los humos,

con el riesgo que esta condensación supone. Además, el enfriar demasiado los humos puede dificultar el tiro o poder ascensional de los mismos.

En la gráfica (fig.18) que se muestra a continuación podemos ver la temperatura teórica de condensación del vapor de agua o puntos de roció de algunos gases, calculando en función del tanto por ciento de oxigeno existente en los humos. Cabe recordar que el Oxigeno representa, muy aproximadamente, el 21 % del volumen del aire.

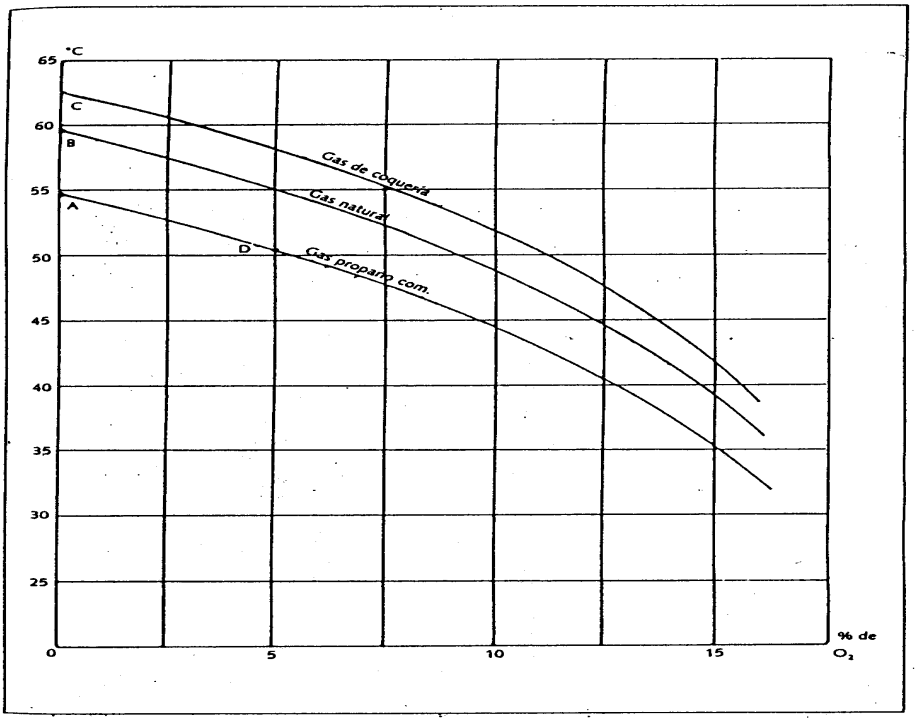


Fig.18 Temperatura de condensación de algunos gases

Este grafico informa que por encima de estas temperaturas, estos gases tiene el vapor de agua de la combustión en estado, precisamente de vapor y por debajo de estas temperaturas los humos tendrán el agua en estado liquido, es decir, se producirá la condensación del vapor (este grafico ha sido trazado para un aire a 20^0C y con una humedad relativa del 50 %).

El rendimiento térmico obtenido será, indudablemente, el cociente:

$$\eta t = \frac{Calor(aprovechado)}{Calor(producido)}$$

Que es lo mismo que:

$$\eta t = \frac{Calorproducido - CalordelosHumos}{Calorproducido}$$

Por calor producido tomaremos el poder calorífico inferior (P.C.I.) del combustible. Cabe indicar que para cada gas conforme aumente la temperatura de los humos, baja el calor útil o aprovechado. Para ver directamente el tanto por ciento de calor que aprovechamos, nos valdremos del grafico donde se pueden ver estos rendimientos en función de la tasa de aireación y de las temperaturas de los humos para un propano comercial.

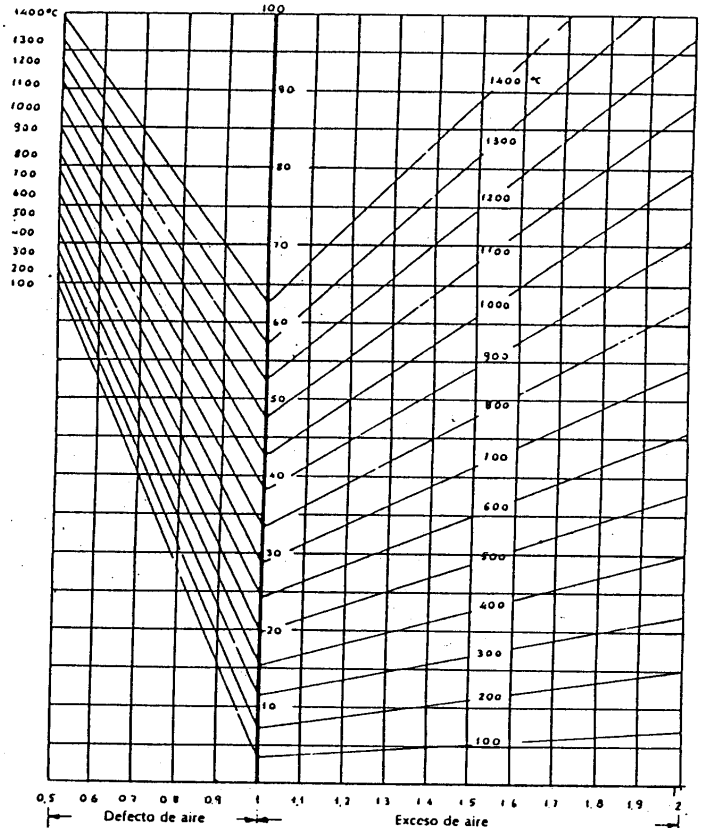


Fig.19 Contenido de calor de los gases

Fijando el valor de *n* (tasa de aireación), subiremos por una vertical hasta la línea inclinada que nos marca la temperatura y esta línea nos indica en la vertical más gruesa del centro, el tanto por ciento del P.C.I. contenido en los humos.

3.6.10 Evacuación de los productos de la combustión

Conductos de evacuación

Los conductos de evacuación de los productos de la combustión y chimeneas en general tendrán las dimensiones, trazados adecuados, debiendo ser resistentes a la corrosión y a la temperatura, así como afecta en la naturaleza de los materiales que los constituyan como por el tipo y modo de realizar las uniones que procedan.

Si dichos conductos, han de atravesar paredes o techos de madera o de otro material combustible, el diámetro del orificio de paso será de 10 cm. mayor que el del tubo, y éste irá protegido con material incombustible.

El conducto de evacuación de humos producidos por la utilización de combustibles gaseosos no se podrá empalmar a chimeneas destinadas a evacuar los productos de combustión de combustibles sólidos o líquidos.

Los conductos de evacuación de humos cumplirán los siguientes requisitos:

- Ser rectos y verticales, por encima del corta tiro, en una longitud de 20 cm, como mínimo.
- El tramo inclinado de éstos tendrá como punto más bajo el de unión con el tramo vertical mencionado anteriormente.
- Si no va unido a una chimenea, se prolongará verticalmente, en el exterior del local, a un tramo de al menos 50 cm protegiendo su extremo superior contra la lluvia y el viento.
- En los casos de conductos de evacuación de humos, correspondientes a calentadores de agua u otros aparatos domésticos que salgan al exterior no por el techo sino a través de muros o paredes y no vayan unidos a chimeneas, podrá sustituirse la prolongación vertical de 50 centímetros al exterior del local por un deflector adecuado.
- No podrá disponer de elementos móviles de regulación del tiro, tales como compuertas y llaves (mariposa).
- Si coincidieran en el mismo local aparatos alimentados por combustibles gaseosos que precisen conducto de evacuación de humos, se unirán por separado a la chimenea principal, guardando una distancia de 25 cm. entre los ejes de las

uniones, o bien se enlazarán a un conducto único de conexión con la chimenea formando ángulo agudo con éste.

3.6.11 Toxicidad

Toxicología

La inhalación de GLP, puede producir una ligera acción anestésica. El riesgo de asfixia sólo sobreviene cuando existe falta de oxígeno.

La combustión directa de los GLP, cuando se realiza de forma incompleta, al igual que sucede con otros combustibles, puede producir monóxido de carbono.

La combustión del propano con falta de oxígeno se realiza de la forma siguiente:

$$C_3 H_8 + 7/2\ O_2 = 3CO + 4H_2O$$

No existirá peligro si la combustión se realiza con abundancia de oxígeno, puesto que en vez de monóxido de carbono se produce anhídrido carbónico, según la siguiente reacción:

$$C_3 H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$$

En el caso de que los quemadores de los aparatos de consumo estén en correctas condiciones de construcción y mantenimiento la buena combustión del gas depende sólo de la necesaria aportación del aire, resultando que los productos de la combustión son vapor de agua y anhídrido carbónico (CO_2).

Por tal razón las practicas de funcionamiento de aparatos alimentados con GLP, se las debe realizar en locales abiertos o con una eficiente expulsión al exterior de los humos producto de su combustión.

Si en la atmósfera que respira un hombre hay solamente un 0,1 por 100 de oxido de carbono, ya se dificulta gravemente la respiración, pudiendo fallecer en dos horas si esta trabajando, en tres horas si esta andando, y llegando a 5 horas si esta inmóvil.

3.7 Quemadores de gas

El quemador es el dispositivo destinado a proporcionar la llama producida en la combustión del gas en las debidas condiciones de estabilidad, potencia y temperatura.

Por ello, ha de facilitar la mezcla de combustible-comburente en la debida proporción, (velocidad y caudal); para conseguir el tipo de combustión deseado:

- Estequimetrica o con proporción exacta de comburente.
- Oxidante o con exceso de comburente.
- Reductora o con falta de comburente.

El quemador debe proveer además la adecuada velocidad para que la mezcla gas/aire primaria que sale del quemador quede en equilibrio con la velocidad de propagación de la llama y ésta sea estable, y con el caudal adecuado para conseguir la potencia calorífica buscada.

En cuanto a los tipos de quemadores, más que a la forma exterior de éstos, estimaremos para su clasificación la relación entre el gas combustible y el fluido comburente que, generalmente, será el aire aunque, a veces, será el oxigeno para alcanzar temperaturas más altas.

3.7.1 Quemadores con aire previo a la combustión

Si se mezcla, total o parcialmente, el aire con el gas (fig.20), la llama presenta un aspecto más acortado y pierde su luminosidad. Es la llamada llama azul, de mayor temperatura, por concentrarse el calor en un menor volumen.

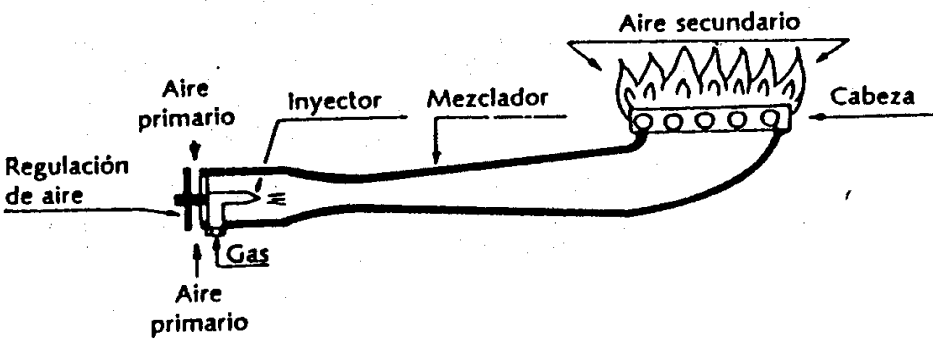


Fig.20 Quemador con aire previo a la combustión

3.7.2 Quemador atmosférico

Parte del aire preciso para la combustión se hace mezclar primero con el gas, constituyendo el llamado aire primario. El resto o aire secundario lo toma la llama directamente de la atmósfera.

En esencia y variando poco de una marca a otra se basa en un inyector o agujero calibrado (de sección fija o graduable) por el que sale el gas a presión con un caudal y velocidad previamente calculados.

Este gas es el llamado fluido inductor que al pasar por el inyector crea, por efecto de la velocidad, un vació, depresión dentro del cuerpo del quemador que produce la entrada, por aspiración, del aire primario o fluido inducido.

Un dispositivo adecuado regula el paso del aire primario. Puede ser un disco que al girar se acerca o se aleja del quemador obstruyendo, más o menos, el fluido de aire como el quemador de la figura anterior o un sistema de corredera que produce el mismo efecto.

En el mezclador del quemador se produce la turbulencia que asegura una mejor mezcla del gas y el aire. En la cabeza se produce la salida de la mezcla a la atmósfera y es en ella donde tiene origen a la o las llamas según el número de orificios de salida de mezcla.

3.7.3 Quemadores de mezclado en cabeza

Estos y los del grupo siguiente se utilizan, preferentemente, en operaciones industriales donde sea preciso un quemador potente sin dimensiones excesivas y donde puedan existir contrapresiones, como hornos de forja, fusión calentamiento de aire, hornos de cocción, etc.

El gas y el aire se conducen separadamente mezclándose ya en el bloque de combustión. Para que exista la debida proporción entre ambos a fin de conservar las características deseadas de la combustión se pueden utilizar dos sistemas:

- Con una válvula proporcional (V), intercalada en la línea de gas que controla el paso de éste, dejando pasar por un caudal proporcional al

caudal de aire. Para ello, se hace una toma (t) en la línea de este ultimo fluido, conectándola a la válvula proporcional de construcción similar a la de un regulador de presión.(fig.21)

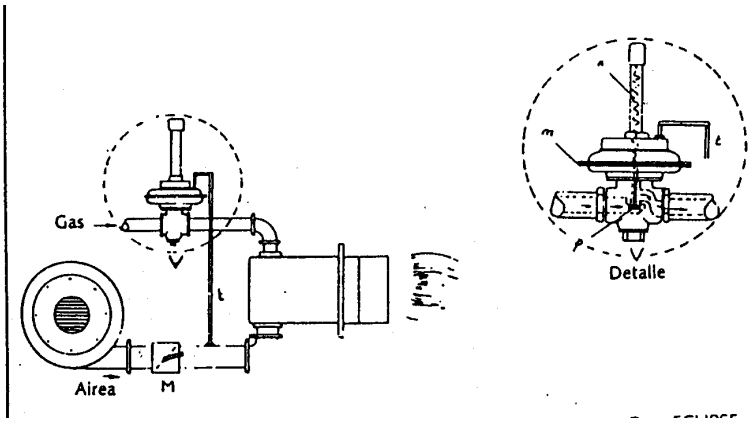


Fig.21 Sistema 1

- Mediante dos válvulas de mariposa (M) intercaladas una en la línea de aire y la otra en la línea de gas. El sistema articulado ya esta dispuesto para dar las válvulas de mariposa las aperturas precisas para proporcionar los caudales de aire y gas en cantidades precisas y en su debida proporción.(fig22)

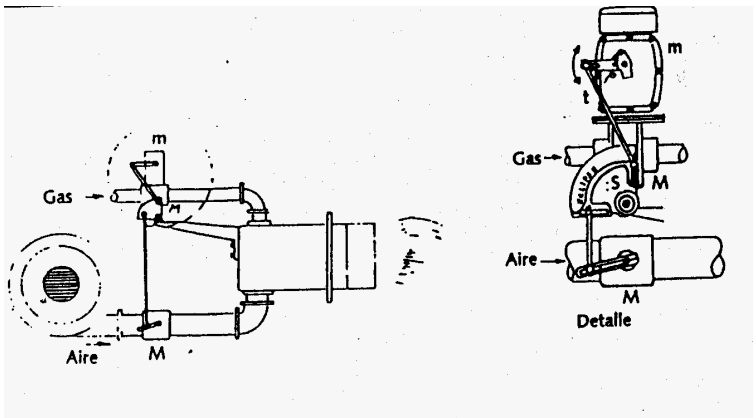


Fig.22 Sistema 2

3.7.3.1 Quemadores con mezcla preformada

Se utiliza tanto en recintos abiertos como en los hornos cerrados donde exista contra presión o la presión sea negativa (fig.23)

Aplicaciones típicas son las calderas, hornos, calentadores de aire, máquinas industriales de lavado, etc.

La instalación simplificada consta de:

⇒ El quemador (Q).

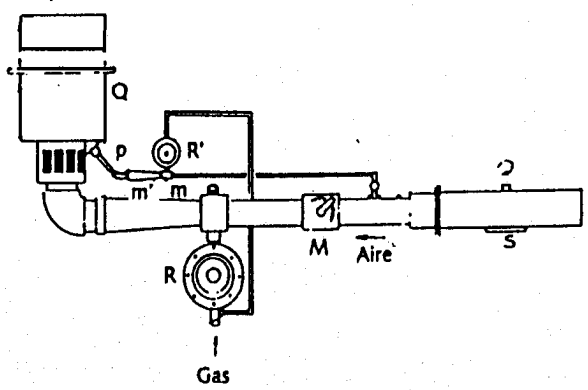
⇒ La soplante encargada de dar el caudal de aire preciso (S).

⇒ Un control de este aire, que puede ser una simple válvula de mariposa (M), manual o motorizada, una válvula de control de la temperatura.

⇒ Un mezclador proporcional de aire y gas (m), electo preciso y robusto, totalmente estático, es decir, sin piezas en movimiento, que se encarga de mezclar de una forma exacta y graduable, a voluntad ambos fluidos y cuya mezcla se envía al quemador.

⇒ Un regulador de cero (R) para suministrar el gas a presión nula o atmosférica.

⇒ Sendas líneas independientes de aire y gas para alimentar al quemador piloto (p) provisto también de un mezclador (m') y regulador de cero (R').



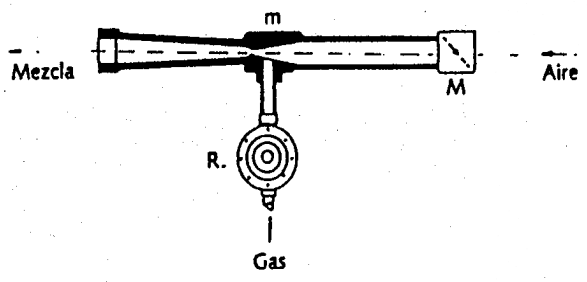


Fig.23 Instalación Simplificada

3.7.3.2 Quemadores especiales

Indicaremos aquí aquellos quemadores que, por su misión específica, muy concreta, están dotados de elementos muy característicos, que los distinguen plenamente de los descritos.

3.7.3.2.1 Quemadores de tubos radiantes

Son quemadores en los que la llama y gases calientes se desarrollan dentro de un tubo de tal forma que los productos de la combustión no entran en contacto con las piezas a tratar.(fig.24)

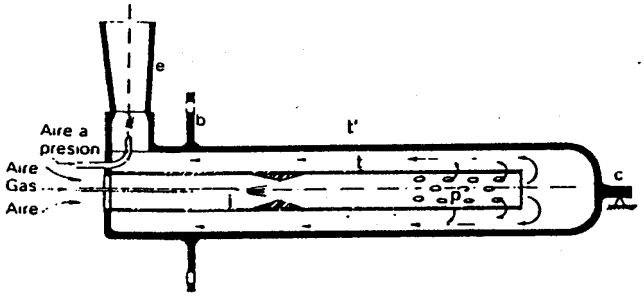


Fig.24 Tubos radiantes

Los tubos han de construirse con aceros del tipo austenítico a base de aleaciones de cromo y níquel para temperaturas de hasta 1200°C y aceros al cromo y cobalto para llegar a los 1300 ^{o}C; no obstante, también se fabrican para bajas temperaturas, por ejemplo, para gas manufacturado y en los cuales aquellas oscilan a lo largo de un tubo entre 230 y 360 ^{o}C.

A título indicativo un quemador de tubo radiante, con recuperador, tiene un rendimiento: potencia radiada/caudal térmico, en orden del 75 % con una emisión o flujo térmico de 20 a 25 termias por hora y m^2 y su vida se puede calcular entre dos y diez años, según el tipo.

3.7.3.2.2 Quemadores de llama en espiral

Gracias al especial diseño del bloque de combustión, los gases y la llama adoptan un movimiento en espiral que los hace adherirse a dicho bloque y a las paredes del horno, sin sobresalir prácticamente del quemador entre (2 y 10) cm con lo que las piezas a

tratarse se pueda acercar más a aquel reduciendo las dimensiones del conjunto. Es un quemador que pude funcionar, bien con el sistema de mezclado en cabeza, es decir, con dos líneas independientes: aire y gas regulando su potencia mediante la clásica válvula proporcional que permite el paso del gas según sea la presión del aire, bien mediante una doble válvula de mariposa que gobierna simultáneamente a ambos fluidos.

3.7.3.3 Dispositivos de seguridad

Excepto en los hornillos y en los fuegos superiores de las cocinas, cuyo uso presupone la vigilancia continua, todos los demás aparatos alimentados por combustibles gaseosos deberán llevar, obligatoriamente, pilotos automáticos que garanticen la seguridad del encendido y estar provistos de un mecanismo de seguridad que impida la salida de gas sin quemar cuando, por causas accidentales, se apague la llama del quemador correspondiente.

Ventilación:

La entrada de aire puede ser directa del exterior o indirecta, es decir a través de otros locales.

Entrada directa:

Puede ser realizada por medio de un orificio practicado en un punto bajo de un muro, puerta o ventana, el cual se protegerá con una rejilla. También puede hacerse por un conducto que comunique con el exterior, cuya sección será de 150 cm^2 siempre que tenga como máximo dos cambios de dirección, y de 300 cm^2 si los cambios de dirección son más de dos.

Entrada indirecta:

Las secciones libres de los orificios de entrada de aire serán las dadas para la entrada directa. Se podrá realizar:

- A través de un local al que tiene acceso los aparatos de consumo, siempre que no sea retrete.
- A través de dos locales cuando éstos se encuentren separados por pasillos, vestíbulos.

3.8 Instalaciones para el consumo de los GLP

Es el conjunto de tuberías, equipos (tanques, reguladores, contadores, etc.) y accesorios requeridos. Las mismas que se realizan cumpliendo la norma 2-260.[4]

Los sistemas que suministran GLP se pueden clasificar según la presión del gas en**:**

- ✓ **Presión alta B:** mayores a 16 bar
- ✓ **Presión alta A:** entre 4 y 16 bar
- ✓ **Presión media B:** entre 0.4 y 4 bar
- ✓ **Presión media A:** entre 0.05 y 0.4 bar
- ✓ **Presión baja:** menor de 0.05 bar

Según las instrucciones técnicas vigentes se puede utilizar: acero, cobre y polietileno de alta densidad.

3.8.1 Recipientes

El GLP, contrariamente a otros combustibles gaseosos o líquidos, llega a los usuarios donde quiera se hallen, mediante una variedad de envases manuales, livianos y prácticos Son envases especialmente diseñados, construidos y autorizados para contener gases licuados de petróleo.

La capacidad de un recipiente cuando no se especifique de otra manera, se referirá al volumen de agua que pueda contener. Los recipientes más comúnmente usados son: tanques y cilindros.

3.8.1.1 Tanques

Son recipientes fijos o móviles cuya capacidad es superior a la de los cilindros y se diferencian de estos por sus accesorios. Debido a que los tanques son de mayor capacidad que los cilindros y están generalmente fijos en un lugar, son llenados en el sitio donde están instalados y por tal causa están provistos de una serie de accesorios de protección, seguridad y servicio.

---

[4] **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 260:2008** Sistemas de fluidos y componentes para uso general, componentes de tuberías y tuberías para productos del Petróleo y gas natural, sistemas de distribución. Primera edición. Quito-Ecuador. 562pag.

3.8.1.1.1 Vaporización de tanques.

TABLA 9. **VAPORIZACIÓN DE TANQUES**

CAPACIDAD DEL TANQUE EN GALONES DE AGUA	VAPORIZACIÓN DEL TANQUE A 25ºC CON LIQUIDO HASTA EL 80%	
	Kcal/h	BTU/h
120 (254Kg/ lts)	245.000	980.000
250 (530Kg/lts)	425.000	1.700.000
500(1060Kg/lts)	706.000	2.824.000
900(1900Kg/lts)	906.000	3.624.000
1700(3600Kg/lts)	1.700.000	6.800.000
4295(9105Kg/lts)	2.7000.000	10.800.000

3.8.1.2 Cilindros

Son recipientes herméticos, transportables, de capacidad no mayor de 120 litros de agua y de una altura máxima de 1.5 metros.

En el mercado se encuentran cilindros de distintos tamaños, tales como de 15kg, 45Kg, de GLP entre otros y el uso más común es el de 15 Kg.

3.8.1.2.1 Vaporización de un cilindro de 45 kilogramos.

La Tabla 10 que sigue permite comprender que si se quiere servir con un cilindro de 45 kg a una instalación comercial, como por ejemplo una cocina industrial, cuyo consumo es de 200.000BUT/h, se observa que la capacidad de vaporización del cilindro cuando está lleno permite servir eficientemente al artefacto hasta un nivel cercano a los 31 kg de GLP ; pero cuando el contenido continua bajando su capacidad de vaporización es menor que la demanda de la cocina: el artefacto funcionara deficientemente.

Será necesario entonces elegir los cilindros de 2 tipos:

- ✓ Serie
- ✓ Baterías

TABLA 10. VAPORIZACIÓN DE UN CILINDRO DE 45 KGS (según su contenido)								
KG DE GAS EN EL INTERIOR DEL CILINDRO DE 45 KILOS	CAPACIDAD DE VAPORIZACIÓN							
	A 15 ºC				A 20ºC			
	Kcal/h	BTU/h	Lts/h	Kg/h	Kcal/h	BTU/h	Lts/h	Kg/h
45	68.000	270.000	11	5.7	75.000	300.000	12	6.3
21	37.000	150.000	6	3.1	40.000	160.000	7	3.4
10	22.000	90.000	3.5	1.8	25.000	100.000	4	2.1
5	15.000	60.000	2.5	1.3	17.000	70.000	3	1.4

3.8.2 Tuberías, acoplamiento y conexiones.

3.8.2.1 Tuberías

Para utilizar el GLP en usos industriales, comerciales o domésticos se dispone de una gran variedad de tuberías entre las cuales cabe mencionar las de cobre, de acero galvanizado y hierro negro.

3.8.2.1.1 Tubería de cobre.

El cobre posee propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, las cuales lo han hecho ideal para la manufactura de conductos tubulares. Entre las principales ventajas del tubo de cobre se puede citar:

- ✓ Facilidad y rapidez de preparación e instalación, gracias a la ductilidad o flexibilidad del metal.
- ✓ Ejecución de uniones en tiempo mínimo.
- ✓ Presenta facilidades para hacer pre-ensamblajes.
- ✓ Pequeñas pérdidas de presión debido a la superficie lisa de las paredes.
- ✓ Gran resistencia a la corrosión.
- ✓ Excelente comportamiento frente a la casi totalidad de los materiales de construcción y de los fluidos a transportar.
- ✓ Resistencia a presiones interiores considerables, lo cual permite el empleo de tubos de paredes delgadas.

TABLA 11. ELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

LARGO DE TUBERÍA (m)	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA mm/pulg								
	12,7 / 1/2	19,0 / ¾	25,4 / 1	12,7 / $1^{1/4}$	12,7 / $1^{1/2}$	12,7 / 2	12,7 / $2^{1/2}$	12,7 / 3	12,7 / 4
5	-	103.200	192.700	426.700	674.500	1252.000	2750.000	3785.000	9634.900
10	36.000	76.000	134.200	295.930	476.000	894.700	1620.000	2650.000	5712.160
15	28.000	57.000	103.230	234.000	364.800	688.200	1290.000	2065.000	4473.300
20	23.000	50.000	98.000	203.000	323.460	619.400	1160.000	1858.000	3992.000
25	21.400	44.000	83.000	172.000	271.800	516.160	964.000	1548.000	3372.200
30	19.000	39.000	76.000	165.000	264.960	481.700	894.700	1445.200	3200.000
40	15.000	33.000	67.000	137.600	213.300	412.930	757.000	1239.000	2752.800
50	14.000	30.000	54.000	120.500	185.800	350.988	654.000	1066.700	2202.300
75		24.000	47.000	96.350	151.400	295.900	550.600	894.700	1927.000
100		20.000	39.000	88.900	127.756	247.756	447.300	750.200	1582.900
125			33.000	72.000	110.113	206.463	385.400	640.000	1376.400
150			31.000	66.000	103.200	199.600	364.800	598.700	1307.600
200			25.500	56.000	86.000	172.000	303.000	489.000	1070.000
250				50.000	76.000	143.000	262.000	427.000	950.000
300				44.000	69.000	131.000	241.000	396.000	867.000
350					62.000	118.000	217.000	358.000	775.000
400					60.000	114.000	206.000	337.000	743.000

3.8.2.1.2 Tubería de acero.

Son aquellos tubos de acero con bajo contenido de carbono, con o sin costura, desnudos o galvanizados, destinados a la conducción de gas y que se definen por su diámetro y espesor.

- ✓ Livianas
- ✓ Pesadas (célula 40)
- ✓ Reforzadas (célula 80)
- ✓ Extrareforsadas (célula 160)

3.8.2.2. Acoplamientos y conexiones.

Se emplean diferentes métodos para efectuar el acoplamiento de los tubos y conexiones usados en GLP.

La conexión del aparato a la instalación de gas se hará con tubería rígida o con tubería flexible, según sea el tipo de aparato de que se trate.

Con tubería rígida:

- Aparatos fijos de calefacción
- Calentadores
- Bloques de cocina
- Otros tipos de aparatos fijos

En estos casos los aparatos de consumo deben estar inmovilizados.

Con tubería flexible:

Cuando se trate de aparatos móviles, desplazables o accionados por motor y de forma concreta donde tenemos los siguientes:

- Cocinas
- Estufas
- Lavadoras y secadoras
- Lavaplatos
- Frigoríficos

La longitud de la tubería flexible no será mayor de 1,50 m excepto en el caso de aparatos móviles de calefacción, en que no será mayor de 0,60 m. En el caso de que se

conecten dos aparatos de consumo a una misma botella por medio de tubería flexible, su longitud desde el manó reductor hasta el aparato no podrá ser mayor de 1,50 m.

No se permite la conexión directa de más de dos aparatos a una botella de uso doméstico a través de tuberías flexibles. Cuando se conecten más de dos aparatos a una botella o grupo de botellas, la tubería principal deberá ser rígida. La longitud de la tubería flexible para la conexión del regulador con la tubería rígida no será mayor de 0,40 m.

La longitud de la tubería flexible para la conexión de la tubería rígida con cada aparato de consumo (los móviles, desplazables o accionados por motor) no es mayor de 0,60 m.

3.8.2.2. 1 Uniones por compresión o autosellantes

Los acoples entre tubos de cobre y las conexiones logran la hermeticidad mediante el apriete ejercido con la rosca, aprovechando la maleabilidad y ductibilidad del cobre. No es necesario el empleo de aditamentos para sellado tales como teflón, pinturas, empacaduras, selladores y otros.

3.8.2.2.2 Uniones por conexiones roscadas

Las tuberías de hierro negro y acero galvanizado se acoplan mediante conexiones roscadas, pero la hermeticidad se garantiza mediante el uso de los aditamentos para sellado señalados anteriormente.

3.8.3 Reguladores

El regulador es un aparato destinado a entregar a su salida una presión constante y uniforme del gas, no importa cuáles sean los requerimientos de flujo dentro de su rango de trabajo.

Esta característica de su funcionamiento es la que le da el nombre de regulador a este elemento vital del sistema.

La correcta elección del regulador es fundamental para el buen funcionamiento de un sistema.

Características de Instrumentos de control y medición de acuerdo a la norma INEN2- 260.

- ✓ Regulación de única etapa — Hace referencia a las instalaciones en las cuales se regula directamente la presión de la línea matriz a la presión de la línea individual.

- ✓ Regulación en dos etapas — Primera etapa. Se reduce la presión de salida del tanque a la línea matriz Segunda etapa. Se reduce la presión de la línea matriz hasta la presión de las líneas servicio.

- ✓ Regulación en tres etapas — Reduce la presión de salida del tanque a la línea matriz , a un sistema de regulación de línea y este hasta la presión de las líneas de consumo.

Para los sistemas de alto consumo (HORNOS) utilizaremos reguladores Reca 738 de fabricación Italiana que nos proporcionan un caudal constante de 10Kg/h y una presión constante de 50 mbar (0,725 PSI).

Fig.25 Regulador Tipo RECA 738

3.8.3.1 Partes Fundamentales del Regulador

Carcasa.- Es la parte del regulador formado por la base y la tapa, la cual contiene el mecanismo de regulación.

Mecanismo de Regulación.- Es todo el sistema que controla el flujo de gas y consta de las siguientes partes.

- ✓ Diafragma
- ✓ Plato del diafragma
- ✓ Orificio
- ✓ Resorte para ajuste de la presión de salida
- ✓ Válvula abre – cierra
- ✓ Tornillo de ajuste de la presión
- ✓ Entrada del gas
- ✓ Salida del gas.

Todas las partes deben del material que resistan la acción de los hidrocarburos y la corrosividad del ambiente.

Las instalaciones de GLP deben realizarse con materiales autorizados y manipularse con las herramientas adecuadas.
Los GLP se almacenan licuados a presión por la gran economía de espacio que ello supone. Un volumen en fase líquida se transforma en aproximadamente 262 volúmenes en fase gaseosa. Una pequeña fuga en fase líquida se convierte en grandes volúmenes en fase gas.

Aunque el límite de inflamabilidad es muy bajo, se requiere revisar periódicamente la instalación en previsión de pequeñas fugas y así garantizar su estanqueidad.
El líquido que sale de un recipiente se evapora rápidamente en la atmósfera libre. Como consecuencia de esta evaporación rápida, produce frío en su entorno, siendo peligroso el contacto personal con el líquido fugado. La propagación del gas en la atmósfera es en general lenta, excepto en presencia de viento.

El gas posibilita disponer de aparatos de alta potencia, los que permite un rápido calentamiento. La producción de calor es inmediata en todos los aparatos que lo consumen. La temperatura deseada en cualquier aplicación se alcanza muy rápidamente, con inercia muy pequeña y en algunos servicios de forma instantánea.

El GLP supone una amplia oferta de energía, importante en la economía popular. Los GLP tienen un alto Poder calorífico.

Cualquier llama o punto caliente puede iniciar la combustión de una mezcla de GLP y aire, siempre que se encuentren en la proporción adecuada.

Al igual que ocurre con otros combustibles, una combustión incompleta produce monóxido de carbono cuya inhalación llega a ser mortal por asfixia química (intoxicación).

El GLP permite la utilización de modernos aparatos que se encienden y regulan de forma segura y automática. Es posible el control a distancia del funcionamiento de los aparatos. La energía gas es la más adecuada para suministrar los modernos aparatos de condensación en los que se obtienen rendimientos muy cercanos al 100 %.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los principales parámetros de diseño del horno quedan establecidos en dependencia del tipo de horno que será seleccionado para su construcción.

Luego de un profundo análisis de las características de los diferentes tipos de hornos, y teniendo en cuenta que la finalidad es utilizar como combustible el GLP, se llegó a la conclusión de que los dos tipos de hornos a evaluar son los de cámara abierta y los de mufla con atmósfera controlada para evitar la oxidación.

A continuación se ofrece un análisis comparativo de ambas variantes:

Tipo de Horno	Ventajas	Desventajas
Horno de Cámara Abierta	1. Sencillez en la construcción	1. El quemador de gas funciona directamente sobre el material
	2. La cámara de calor es de gran capacidad y posibilita el tratamiento de piezas de gran volumen	2. Los productos de la combustión reaccionan con el metal que está siendo tratado térmicamente formando óxidos y escamas
	3. Requiere de menores dimensiones exteriores	3. Se produce alteración superficial del material que modifican su temple y rigidez
	4. Se produce una mayor concentración de calor en la cámara, por convección y radiación directa de los gases calientes y por radiación de las paredes calientes del horno	4. Imposibilidad de desarrollar tratamientos termoquímicos .
	5. Requiere de menor tiempo para alcanzar la temperatura de temple y su mantenimiento	5. Incremento del contenido de sulfuros en la cámara, lo que ocasiona fragilización del metal

Horno de Mufla con atmósfera controlada	1. El material se encuentra completamente separado de la cámara de combustión	1. Requiere de mayor tiempo para alcanzar la temperatura de calentamiento necesaria para el tratamiento térmico
	2. Máxima economía de combustible en la cámara de combustión	2. Complejidad en su diseño y construcción
	3. Mínimo daño superficial evitando la formación de óxidos y escamas	3. Reducido tamaño relativo de la cámara de calor
	4. Utilización eficaz para producciones continuas	
	5. Ideal para tratamientos termoquímicos en atmósferas controladas	

Como se puede apreciar, el horno de mufla con atmósfera controlada para evitar la oxidación ofrece mayores ventajas cuando se desea emplear el GLP como combustible, por lo cual se decide utilizar esta variante para el diseño que se realiza.

Los parámetros de diseño del horno se establecerán para la variante que se propone. Estos son:

- ✓ Horno del tipo mufla con atmósfera controlada para evitar oxidación
- ✓ Sistema integrado para el control de la temperatura
- ✓ Empleo de termocupla tipo K para la medición de temperatura
- ✓ Empleo de refractario del tipo U-33 y lana mineral y/o manta cerámica
- ✓ Empleo de quemador automático del tipo WAYNE, modelo HSG 400
- ✓ Empleo de tubo célula 40 para el trasriego del GLP
- ✓ Empleo de chimenea para la evacuación de los productos de la combustión

4.2 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL HORNO

Los elementos constructivos del horno se establecen a partir del dimensionado de la cámara de trabajo; lo cual a su vez depende, entre otros factores, de las dimensiones de las piezas que serán objeto de tratamiento térmico en el horno que se diseña.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la cámara de trabajo, se procede al cálculo térmico verificativo así como a los cálculos mecánicos de diseño y/o comprobación de la estructura del horno.

4.2.1 Dimensiones de la cámara

Para el cálculo de las dimensiones de la cámara de trabajo se tienen en cuenta algunos aspectos:

- *Designación tecnológica*:

El horno está destinado para dar distintos tipos de tratamientos térmicos, como son: temple, revenido y recocido.

- *Dimensiones de las piezas:*

Serán piezas elaboradas de acero-carbono, las cuales tendrán una longitud de hasta 200 mm, y diámetro hasta 250 mm si es una sola pieza, o dos piezas de hasta 75 mm de diámetro cada una. La altura de las piezas se considera igual a su diámetro.

Las dimensiones de las piezas también determinan el tiempo de tratamiento térmico, que se constituye en un parámetro importante a los efectos del cálculo térmico verificativo.

El tiempo de tratamiento térmico se establece de forma práctica mediante la utilización de fórmulas empíricas. Estas fórmulas se basan en un factor que multiplica una de las dimensiones de la pieza, que siempre será la dimensión mínima a través de la cual hay transferencia de calor.

Para piezas de formas simples hechas de acero al carbono, calentadas a una temperatura constante sin calentamiento previo, como es el caso que nos ocupa; el tiempo total de tratamiento térmico será determinado por la fórmula:

$$T\ (min) = 1{,}0\ D\ (mm)$$

Siendo D, la dimensión mínima a través de la cual hay transferencia de calor. En nuestro caso: D = 200 mm.

De esta forma el tiempo total de tratamiento térmico será de 200 min.

El tiempo total que dura el tratamiento térmico, se compone del tiempo de calentamiento (T_c) de la pieza hasta la temperatura de tratamiento térmico, y del tiempo de permanencia a esta temperatura (T_p). La magnitud del tiempo de calentamiento que es el principal a los efectos del cálculo, depende de muchos factores entre ellos: *aptitud del medio para calentar, dimensiones y forma de las piezas, colocación de la pieza en el horno, etc;* el tiempo de permanencia dependerá de la velocidad de los cambios de fase, la cual estará determinada a su vez por el grado de recalentamiento por encima del punto crítico y por la dispersión de la estructura inicial.

En la práctica es posible establecer de forma empírica que el tiempo de calentamiento representa un 80 % del tiempo total de tratamiento térmico, por lo que el tiempo de permanencia será solo el 20 % del total. De esta manera determinamos como tiempo de calentamiento 160 min (2,666 h), el cual es el tiempo que se debe entregar calor de forma continua para garantizar la calidad del tratamiento térmico deseado.

- *Longitud de la cámara:*

A partir de consideraciones empíricas se establece que la longitud de la cámara de trabajo, tiene que ser al menos de entre (0,2 – 0,3) metros mayor que la longitud de las piezas. De ahí que:

$$L_c = (0{,}2 - 0{,}3)m + L_p$$

- *Ancho de la cámara:*

Teniendo en cuenta similares criterios a los considerados para la determinación de la longitud de la cámara, se debe prever que las piezas más cercanas a los calentadores o a las superficies emisoras de calor, estén a una distancia mínima de 0.1 m.

$$A_c = 0{,}20m + A_p$$

$$A_c = 0{,}20m + 0{,}25m$$

$$A_c = 0{,}45m = 45cm = 450mm$$

- *Alto de la cámara:*

Puede ser calculada por la expresión empírica:

$$H_c = (B - 0{,}05 * A_c)T_{\max} * 10^{-3}$$

Dónde:

T_{max}: Temperatura máxima de trabajo (1200 ^{0}C)

B: Coeficiente que depende de la temperatura de tratamiento (se escoge igual a 0,52 porque en nuestro caso la temperatura máxima a que serán tratadas las piezas es de 1200 ^{0}C)

A_c: Ancho de la cámara (en nuestro caso es de 0,45m)

$$H_c = (0{,}52 - 0{,}05 \times 0{,}45)1200 \times 10^{-3}$$

$$H_c = 0{,}597m \approx 0{,}60m = 60cm = 600mm$$

En resumen, las dimensiones de la cámara de trabajo serán:

Largo: **450 mm**

Ancho: **450 mm**

Alto: **600 mm**

4.2.2 Cálculo térmico

Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica se realiza el balance térmico verificativo del horno.

El calor generado por los quemadores, debe ser igual o mayor que el calor que se pierde por diferentes causas en el funcionamiento del horno.

4.2.2.1 Calor generado por los quemadores

El diseño del horno prevé la utilización de quemadores capaces de entregar de forma continua una cantidad de calor estimada en 50.000 a 160.000 Kcal /h

El calor que se pierde durante el funcionamiento del horno, puede obedecer a diferentes causas. Consideraremos en los cálculos las siguientes: *calor necesario para calentar las piezas*, *calor cedido en la bandeja*, *calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno*, *calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando el horno se carga y se descarga*, *calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno*, *calor que sale para el calentamiento de las paredes.*

A continuación se plantea el cálculo de las diferentes formas que se pierde calor en el horno.

4.2.2.2 Calor necesario para calentar las piezas

Para calcular el calor necesario para calentar las piezas, se parte de la suposición de que la cantidad de calor que llega a un cuerpo en un período de tiempo dado, es igual a la cantidad de calor acumulada por el cuerpo.

$$P_p = M_p \times C_p (T_2 - T_1) \qquad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

M_p: Masa de las piezas que se van a tratar

γ_p = Densidad del acero al carbono es de 0,0078 Kg/cm^3

C_p: Calor Específico de la pieza que será tratada; en nuestro caso:

C_p = 0,11 Kcal/Kgk

T_1: Temperatura inicial (a la que se introducen las piezas en el horno); T_1= 18 ^{0}C

T_2: Temperatura final (la que alcanzan las piezas en el horno); T_2= 1200 ^{0}C

Esta temperatura se utiliza en todos los cálculos ya que es la misma en la cámara interna del horno de Tratamientos Térmicos.

$$\Delta_t = T_i - T_e$$

$$\Delta_t = 1200°C - 18°C$$

$$\Delta_t = 1200°K - 18°K$$

4.2.2.3 Calor cedido para calentar la bandeja

Las piezas se introducen en el horno en una bandeja, la cual absorbe parte del calor que se genera para dar tratamiento térmico a las piezas.

$$P_b = M_b \times C_b (T_2 - T_1) \qquad \text{Ecuación 2}$$

Para el cálculo del volumen de la bandeja se considera una área de la misma de (210 x 260) mm; esto es teniendo en cuenta una sobre medida de 5 mm por cada lado, a partir de la dimensión de la pieza.

4.2.2.4 Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno

El aire que pueda eventualmente penetrar en la cámara del horno, consume parte del calor generado para proporcionar el tratamiento térmico de las piezas; este se calcula por la siguiente expresión:

$$Q_a = 60 \times 10^3 \times B \times H \times \sqrt{H} \times \Delta f \qquad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

B: Ancho de la ventana.

H: Altura de la ventana.

Δf : Tiempo de entrada de aire.

4.2.2.5 Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando el horno se carga y se descarga.

Durante el tiempo que la ventana del horno permanece abierta en los procesos de carga y descarga, se produce pérdida de calor por irradiación; esta se calcula de la siguiente forma:

$$Q_i = 4{,}9\left[\left(\frac{T_i}{100}\right)^4\right] A \times \theta \times \Delta f \qquad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

T_i: Temperatura interior del horno.

A: Área de la ventana abierta.

θ: Coeficiente de diafragma.

Δf: Tiempo de entrada de aire.

4.2.2.6 Calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno

El tipo de horno seleccionado para trabajar con GLP es un ***horno de mufla con atmósfera controlada***, lo cual se logra aislando la cámara de trabajo de la cámara de combustión con una plancha metálica de acero refractario SAE 308 cuyas características son:

γ_c: 0,0079 Kg/cm^3

C_c: 0,12 Kcal/Kgk

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno, se calcula por la expresión siguiente:

$$Ppc = Mpc \times Cpc(T_2 - T_1) \qquad \text{Ecuación 5}$$

4.2.2.7 Calor que sale para el calentamiento de las paredes.

Durante el proceso de tratamiento térmico se produce el calentamiento de las paredes; entre los cuales tenemos:

TABLA 12. Características de los aislantes

Material	***Conductividad Térmica (K) W/mk***	***Espesor(L) m***
Ladrillo refractario	1.5	0.115
Plancha metálica	63.9	0.004
Lana mineral	0.087	0.254
Acero inoxidable	14.9	0.001

4.2.2.7.1 Calor que sale para el calentamiento de la base

$$q' = \frac{\Delta t}{R} \qquad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

q: Flujo Térmico en *W*

Δt: Variación de Temperatura

R: Resistencia Térmica *R=L/kA* Ecuación 6.1

Donde tenemos la ecuación:

$$q' = \frac{\Delta t}{\frac{L}{kA}}$$ Ecuación 6.2

<u>Área de la base:</u>

$$A_b = \frac{b \times h}{2}$$ Ecuación 7

4.2.2.7.2 Calor que sale para el calentamiento de la pared lateral

$$q = \frac{\Delta t}{R}$$ Ecuación 6

<u>Área de la pared lateral:</u>

$$A_p = b \times h$$ Ecuación 8

r = 0.60 m dada la configuración del horno

4.2.2.7.2 Calor que sale para el calentamiento de la cúpula

$$q = \frac{\Delta t}{R}$$ Ecuación 6

Para el cálculo del área de la copa será la ecuación 6.1.4

$$A_c = \frac{b \times h}{2}$$ Ecuación 7

4.2.2.7.3 Calor Total de las paredes

Finalmente se procede al cálculo del calor que sale para el calentamiento de la base, pared lateral y de la cúpula ósea en todo el revestimiento que conforma el horno. La expresión a utilizar es la siguiente:

$$Q_T = q_1 + q_2 + q_3 \qquad \text{Ecuación 9}$$

4.2.2.8 Balance Térmico

Quemador WAYNE HSG-400

Aplicando con la ***primera ley de la termodinámica***, el calor generado por los quemadores *50000 a 110000 Kcal/h* verificaremos si garantiza la cantidad de calor necesaria para el funcionamiento correcto del horno.

Cantidad de calor Quemador = Calor cedido en la cámara + Flujo térmico revestimiento

Con lo cual tenemos que calcular en el calor cedido lo que se encuentra dentro de la cámara del horno mas el cálculo de cada material que compone el horno que seria todo el recubrimiento externo del horno y así obtener un cálculo exacto de todo el horno en cuanto a la cantidad de calor que necesita el horno.

4.2.2.9 Selección del regulador de primera y segunda etapa

4.2.2.9.1 Reguladores de primera etapa (alta presión)

La elección se hace en base al consumo probable. Se debe tener cuidado de seleccionar aquel que tenga una capacidad de entrega aproximado o superior a la del consumo requerido por el sistema.

TABLA 13. Reguladores de Primera Etapa de ALTA PRESIÓN

Numero de parte	Método de ajuste	Conexión de entrada	Conexión de salida	Rango recomendado de presión de descarga (PSIG)	Capacidad determinada a la presión fijada de PSIG	Capacidad propano Btu/hora.
597FA	MANGO DE T	NPT F ¼”	NPT F ¼”	1-15	10	1750000
597FB				10-30	20	3000000
597FC				20-45	30	3500000
597FD				40-100	60	4500000

4.2.2.9.2 Reguladores de segunda etapa (baja presión)

La elección de los reguladores de baja presión se da en referencia del consumo del horno.

TABLA 14. Reguladores de Segunda Etapa de BAJA PRESIÓN

Número de parte	Conexión de entrada	Conexión de salida	Tamaño de orificio	Presión de descarga de fabrica	Rango de ajuste	Posición de venteo	Capacidad de vapor de propano BTU/hora
LV 4403B4	NPT H DE ½”	NPT H DE ½”	BROCA Nº 28	11” C.A. a una Entrada de 10 PSIG	9” 13” C.A.	Sobre la entrada	935000
LV4403B46							
LV4403B46R							
LV4403B66	NPT H DE ¾”	NPT H DE ¾”	3/16”				
LV4403B66R							
LV4403B66RA							
LV4403B66RAB							1000000

4.2.3 Calculo de la estructura del Horno

El cálculo de la estructura del horno se le realiza a compresión y estabilidad, sobre las columnas que soportan la estructura. Debe cumplirse la siguiente condición de resistencia:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_{st} \qquad \text{Ecuación 10}$$

$$\frac{P_{\max}}{A} \leq \varphi[\sigma]_c \qquad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

P_{max}: Máximo valor de carga a la cual se someten las columnas que soportan la estructura

A: Área de las columnas

φ: Coeficiente de reducción de las tensiones admisibles. Se establece en función del material y de la esbeltez de las columnas (λ)

$[\sigma]_c$: Tensión admisible a comprensión del material de las columnas

La carga máxima se establece en función del peso de cada uno de los componentes de la estructura, además del peso de la pieza a tratar térmicamente.

$$W_{\max} = (W_P + W_b + W_{p_c} + W_r + W_{pm} + W_{mc} + W_{ai}) \qquad \text{Ecuación 12}$$

La esbeltez de las columnas (λ); depende de las condiciones de apoyo (ν), de la longitud (l) de las columnas y de la forma y dimensiones de la sección transversal de las columnas, con lo cual se determina el radio giro mínimo de las mismas (i_{min}). La expresión a emplear es la siguiente:

$$\lambda = \frac{\nu \times l}{i_{\min}} \qquad \text{Ecuación 13}$$

Para el cálculo del radio de giro se procede de la siguiente forma:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} \qquad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

I_{min}: Momento de inercia mínimo de la sección transversal

A: Área de la sección transversal

Aplicando el ***teorema de Steiner o de los ejes paralelos*** se tiene:

$$I_{min} = 2\left[I_x + A\left(d^2\right)\right] \qquad \text{Ecuación 14.1}$$

$$I_{x_1} = \frac{H^4 - h^4}{24} \qquad \text{Ecuación 14.2}$$

$$I_{x_2} = \frac{b^3}{12}(H - h) \qquad \text{Ecuación 14.3}$$

$$I_{y_2} = \frac{b}{12}(H^3 - h^3) \qquad \text{Ecuación 14.4}$$

Donde:

b: Ancho de la plancha

h: Espesor de la plancha

A: Área de la columna

d: Distancia desde la sección media de la plancha hasta el centro de gravedad del conjunto d = 60 cm.

Conociendo que para el ***material SAE 1010***, la tensión limite de fluencia se considera:

$$[\sigma]_{lim} = 2600\ kgf/cm^2$$

4.3 MATERIALES.

La selección de los materiales se realiza considerando el uso que se les dará a los mismos en la estructura del horno, teniendo en cuenta sus propiedades físico-mecánicas.

En este acápite también se procede a la selección de los materiales refractarios y aislantes que forman parte del revestimiento del horno.

4.3.1 Selección de los materiales de la estructura

En el caso de la estructura del horno se seleccionan planchas metálicas de acero SAE 1010, las cuales se escogen por poseer buena resistencia mecánica. Sus principales propiedades son:

- γ_p: 0,00795 Kg/cm^3
- C_p: 0,13 Kcal/Kgk
- $[\sigma]_p$: 1200 Kgf/cm^2

Para el material de la bandeja en la que serán situadas las piezas que recibirán el tratamiento térmico, se selecciona acero refractario del tipo SAE 308, considerando sus propiedades físicas y buen comportamiento al calor. Las características de este tipo de acero son:

- γ_b: 0,0079 Kg/cm^3
- C_b: 0,12 Kcal/Kgk

Para el recubrimiento exterior del horno se utiliza acero inoxidable del tipo SAE 304 de 1 mm de espesor, el cual es ideal para la cubierta y le proporciona un excelente acabado y buena presencia a la terminación del horno. Las características de este acero son:

- γ_{ai}: 0,0079 Kg/cm^3
- C_{ai}: 0,12 Kcal/Kgk

4.3.2 Selección del refractario

El tipo de ladrillo refractario utilizado es del tipo Silico-Aluminoso U-33, cuyas dimensiones son: 9x4.5x2.

El U-33 es un ladrillo refractario denso y duro, que reúne todas las propiedades convenientes para ser utilizado en la mayor parte de las instalaciones industriales, calderas, hornos, etc.; tiene un cono pirometrico equivalente (PCE) 34 correspondiente a la temperatura de 1763°C y cumple con las normas técnicas colombianas y ASTM. Este material cuenta con prestigio en el mercado nacional, siendo muy resistente al ataque de escorias, a la abrasión y a la corrosión química, muy denso, compacto, y de alta calidad uniforme.

En nuestro caso debido a la configuración del horno, el cual es de forma octogonal con una copa que se eleva en forma de triángulos concéntricos. Nos lleva a utilizar este ladrillo refractario con un destaje de 45° en un extremo que le sirve para que se estructure y trabé a la vez.

La aplicación del ladrillo U-33 se la realizo de la siguiente forma:

- Se utilizo una sierra circular con disco para materiales cerámicos, el cual nos sirvió para realizar los cortes a 45° de los ladrillos.
- Se ubico a modo de prueba todos los ladrillos cortados de modo que queden trabados para evitar en mínimo las pérdidas de calor.
- Preparación del mortero refractario Sillico-Aluminoso, cada funda de 30 kg se mezcla con 11 litros de agua limpia potable con pH 7 y temperatura ambiente de 18°C.
- Posteriormente se procede a colocar el ladrillo con el mortero y se deja fraguar al aire para su respectivo secado.

Como material aislante que también forma parte del recubrimiento, se utiliza manta cerámica del tipo Lana Mineral, la cual posee las siguientes propiedades:

- γ_{lm}: 0,000144 Kg/cm^3
- C_{lm}: 0,21 Kcal/Kgk

La manta cerámica se ubica en el espacio comprendido entre la plancha metálica de 3 mm de espesor que conforma la estructura del horno, y la plancha de acero inoxidable de 1mm utilizada para la cubierta.

4.4 CONTROL DE LA TEMPERATURA

El control de la temperatura de trabajo del horno es un aspecto de primordial importancia para funcionamiento del equipo, debido a que contribuye a mejorar el aprovechamiento integral del calor generado por el quemador manteniendo el rango de la temperatura de trabajo en los valores preestablecidos para garantizar la calidad del tratamiento térmico que se ejecute.

Para el control de la temperatura de trabajo del horno, es importante la selección correcta de todos los equipos, dispositivos, aparatos, y accesorios que intervienen en el proceso de generación, control, y mantenimiento del calor en la cámara del horno.

Para el trabajo correcto del Horno se utilizara el siguiente equipo:

- Quemador
- Termocupla u otros medios de control de la temperatura

- Dispositivos de control de la temperatura

4.4.1 Selección del Quemador

Se selecciono un quemador automático del tipo *WAYNE, modelo HSG 400*; recomendado para gas natural, gas envasado, gas oil, biodiesel o dual, y uso en calderas termo tanques, generadores de aire caliente, hornos y tubos radiantes.

El quemador *WAYNE, modelo HSG 400*; es capaz de proporcionar una cantidad de calor entre 50000 y 110000 Kcal/h; por lo cual el quemador seleccionado cumple con las especificaciones de trabajo que requiere el horno.

4.4.1.1 Disposición del quemador y elección del sistema de inyección en la cámara

El quemador seleccionado se encuentra dispuesto de forma tal y como se ilustra en la (fig.26).

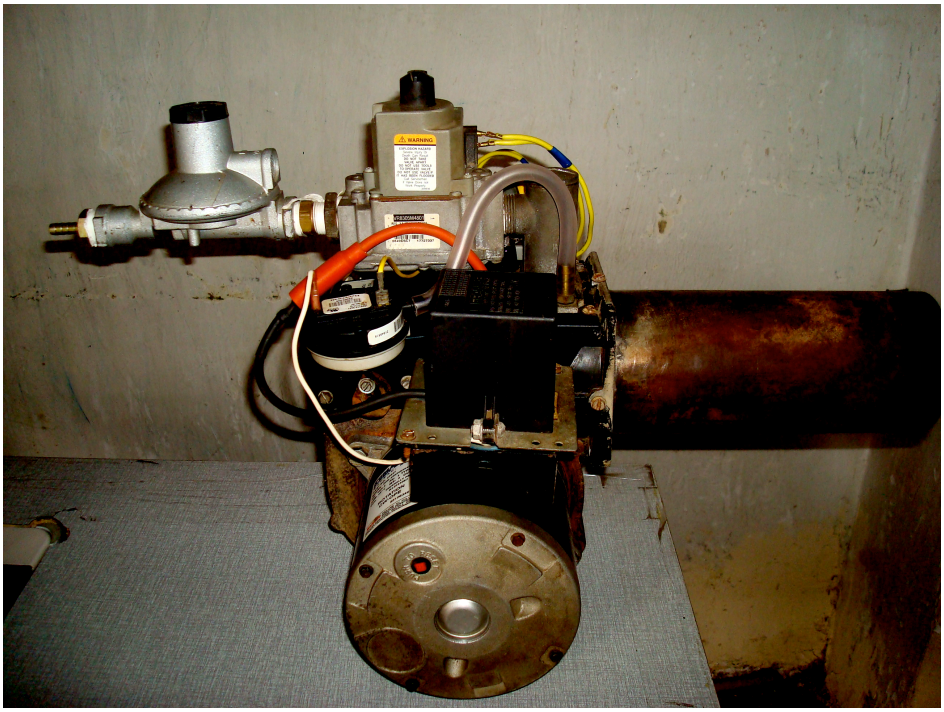


Fig. 26 Quemador *WAYNE, modelo HSG 400*

El sistema de inyección que se elige es de forma indirecta

4.4.2 Selección y ubicación de los dispositivos de control de temperatura

Para el control de la temperatura se utiliza *termocupla tipo K*, cuyas aplicaciones son utilizadas para procesos en los que se requiere medir temperaturas comprendidas entre (0-1300) ºC, como se ilustra en la (fig.27).

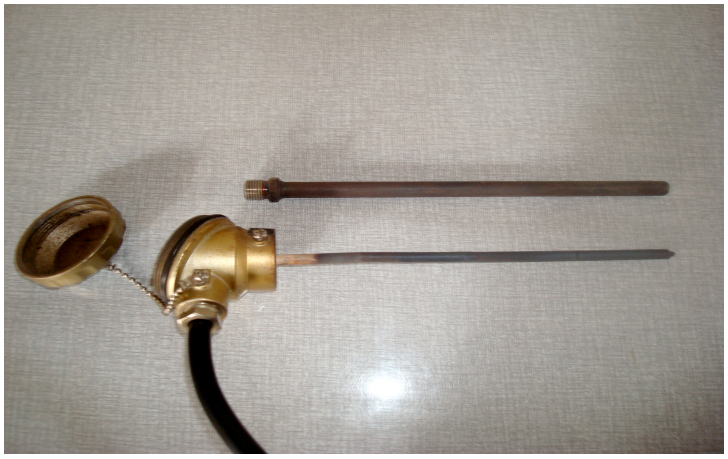


Fig. 27 Termocupla *tipo K (0-1300) °C*

4.4.3 Selección de los dispositivos de control y establecimiento de los lazos de control.

Para garantizar el mantenimiento de la temperatura de trabajo en los rangos establecidos por el proceso, y asegurar una óptima calidad del tratamiento térmico, se emplean dispositivos de control de la temperatura.

Los dispositivos de control de la temperatura seleccionados son del tipo analógico, cuyas principales parámetros de trabajo son control de (0-1200) ºC.

El lazo de control de la temperatura propuesto para el control del trabajo del horno se basa en la apertura y cierre de la de la electroválvula por medio del controlador.

Fig. 28 Controlador *de temperatura analógico (0-1200) °C*

4.5 SELECCIÓN DE LAS INSTALACIONES PARA EL CONSUMO DEL GLP

El sistema de alimentación de gas licuado de petróleo (GLP), es uno de los aspectos de primordial importancia en el diseño de un horno para tratamiento térmico.

Las instalaciones del sistema de alimentación lo componen tuberías metálicas, uniones, válvulas, reguladores y otros accesorios en un sistema integrado cuya finalidad es proporcionar el volumen requerido de gas al quemador en el instante de tiempo planificado.

Los reguladores empleados son de libra a libra de alta presión, cuyas características de trabajo son reducir la *presión de 60 PSI a 5-10 PSI*, un regulador de segunda etapa de las siguientes características; reduce la *presión de 10-5 PSI a ½ PSI.*

Para la evacuación de los productos de la combustión, son empleados *conductos metálicos de plancha negra de espesor de 2mm* y por lo que toda practica que se va a realizar con el Horno de Tratamientos Térmicos debe tener su revisión frecuente de todos los accesorios antes de realizar la prueba respectiva.

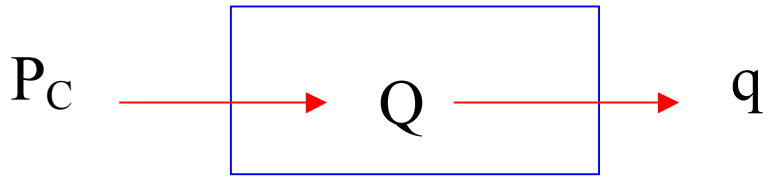
Todos los accesorios utilizados son implementados como se muestra en la siguiente (fig.29).

Fig. 29 *Accesorios para la alimentación del Horno a base del GLP*

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS PRÁCTICOS

Recopilando el principio fundamental de Transferencia de calor podemos decir que:



$$E_{entregada} + \cancelto{0}{E_{generada}} - E_{salida} = E_{almacenada}$$

Dónde:

Q: Energía almacenada

P_c: Energía entregada

q: Energía de salida

<u>Calculo Térmico</u>

Se debe calcular la energía entregada a cada uno de los componentes que se encuentran dentro de la cámara de combustión.

Utilizamos la ecuación 1

$$P_c = M \times C_p (T_2 - T_1)$$

5.1.1 Calor cedido para calentar la pieza

Para lo cual utilizamos la ecuación 1:

$$P_p = M_p \times C_p (T_2 - T_1)$$

Dónde:

M_p: Masa de las piezas que se van a tratar

γ_p = Densidad del acero al carbono es de 0,0078 Kg/cm^3

C_p: Calor Específico de la pieza que será tratada; en nuestro caso:

C_p = 0,11 Kcal/Kgk

T_1: Temperatura inicial (a la que se introducen las piezas en el horno); T_1= 18 ^{0}C

T_2: Temperatura final (la que alcanzan las piezas en el horno); T_2= 1200 ^{0}C

Esta temperatura se utiliza en todos los cálculos ya que es la misma en la cámara interna del horno de Tratamientos Térmicos.

$$\Delta_t = T_i - T_e$$

$\Delta_t = 1200°C - 18°C$

Donde sabemos que las piezas son de forma cilíndrica aplicamos la formula:

$V_p = \pi \times r^2 \times L_p$

$V_p = 3{,}14 \times (12{,}5cm)^2 \times 20cm$

$V_p = 9812{,}5\ cm^3$

- ✓ Así mismo para encontrar la masa de la pieza utilizamos:

  $M_p = V_p \times \gamma_p = 9812{,}5\ cm^3 \times 0{,}0078\ kg/cm^3 = 76{,}54\ kg$

- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:

  $Wp = Mp \times 9.8\ m/s^2$

  $Wp = 76{,}54\ Kg \times 9.8 m/s^2$

  $Wp = 750\ N$

Con lo cual el calor necesario será:

$$P_p = M_p \times C_p (T_2 - T_1)$$

$$P_p = 76{,}54 Kg \times 0{,}11 Kcal / Kgk \times 1182k$$

$$P_p = 9951.73 Kcal$$

Y si dividimos para el tiempo con lo cual estamos trabajando (t = 2,666 h)

Pp = 3732,83 Kcal/h

5.1.2 Calor cedido para calentar la bandeja

Para lo cual utilizamos la ecuación 2:

$$P_b = M_b \times C_b (T_2 - T_1)$$

El material de la bandeja es ***acero refractario 308***, para el cual se conoce:

γ_b: 0,0079 Kg/cm^3

C_b: 0,12 Kcal/Kgk

El espesor de la bandeja será de h=3 mm. El volumen de la bandeja se calcula de la siguiente forma aplicando la formula de un prisma recto (sólido):

V_b = l x a x h

V_b = 21cm x 26cm x 0.3cm

V_b = 163,8 cm^3

- ✓ La masa de la bandeja será:

$M_b = V_b \times \gamma_b$ = 163,8 cm^3 x 0,0079 kg/cm^3 = *1,294 kg*

- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:

$W_b = Mp \times 9.8\ m/s^2$

$W_b = 1{,}294\ Kg \times 9.8 m/s^2$

$W_b = 12{,}152\ N$

El calor perdido en la bandeja se calcula de la siguiente forma utilizando la ecuación 2:

$$P_b = M_b \times C_b (T_2 - T_1)$$

$$P_b = 1{,}294 Kg \times 0{,}12 Kcal / Kgk \times 1182\text{k}$$

$$Pb = 183{,}54 Kcal$$

Si dividimos por el tiempo de permanencia de la bandeja en el horno (t = 2,666 h)

P_b = 84,7 Kcal/h

5.1.3 Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno

Para lo cual nos basamos utilizando la ecuación 3:

$$P_a = 60 \times 10^3 \times B \times H \times \sqrt{H} \times \Delta f$$

Dónde:

B: Ancho de la ventana. De acuerdo al cálculo geométrico B=0,34 m

H: Altura de la ventana., En nuestro caso H=0,46 m

$\boxed{\times}$: Tiempo de entrada de aire. Consideramos $\boxed{\times}$=0,05 h

Sustituyendo:

$$_{Pa} = 60 \times 10^3 \times 0{,}34 \times 0{,}46 \times \sqrt{0{,}46} \times 0{,}05$$

P_a = 318,22 Kcal/h

5.1.4 Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando el horno se carga y se descarga

Esta se calcula de la siguiente forma con la ecuación 4:

$$P_i = 4{,}9\left[\left(\frac{T_i}{100}\right)^4\right] A \times \theta \times \Delta f$$

Dónde:

T_i: Temperatura interior del horno. En nuestro caso, $T_i = 1200\ ^0C = 1473{,}15$ K

A: Área de la ventana abierta. Conocida que las dimensiones de la ventana o puerta de carga del horno es de (34x46) cm, entonces el área será:

$$A = 0{,}34 \times 0{,}46 = 0{,}1564\ m^2$$

θ: Coeficiente de diafragma. Para ventanas comunes como es el caso: θ = 0,9

Δf: Tiempo de entrada de aire. En nuestro caso: Δf = 0,05 h

Aplicamos la ecuación4 y así obtenemos:

$$P_i = 4{,}9\left[\left(\frac{1473{,}15}{100}\right)^4\right] 0{,}1564 \times 0{,}9 \times 0{,}05$$

P_i = 1634,18 Kcal/h

5.1.5 Calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno

A este calor cedido a la plancha metálica, se la calcula con la ecuación 5

$$Ppc = Mpc \times Cpc(T_2 - T_1)$$

Con una plancha metálica de ***acero SAE 308*** cuyas características son:

γ_{pc}: 0,0079 Kg/cm^3

C_{pc}: 0,12 Kcal/Kgk

Espesor el cual es de 3 mm.

- ✓ El peso de la plancha metálica de la cámara será:

  $M_{pc} = V_{pc} \times \gamma_{pc} = 3454{,}8\ cm^3 \times 0{,}0079\ kg/cm^3 = 27{,}29\ kg$

- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:

  $W_{pc} = Mp \times 9.8\ m/s^2$

$W_{pc} = 27,29\ Kg\ x\ 9.8 m/s^2$

$W_{pc} = 267.44\ N$

El calor cedido en la plancha de la cámara del horno se calcula de la siguiente forma utilizando la ecuación 5:

$$Ppc = Mpc \times Cpc(T_2 - T_1)$$

$$P_{pc} = 27,29 Kg \times 0,12 Kcal / Kgk \times 1182 K$$

$$P_{pc} = 3870.81 Kcal$$

Si dividimos por el tiempo de permanencia de la bandeja en el horno (t = 2,666 h)

Ppc = 1451,92 Kcal/h

Finalmente se procede al cálculo del calor cedido para el calentamiento de la pieza, bandeja, por el aire que entra a la cámara, irradiación y de la plancha metálica que conforma la cámara de combustión del Horno con lo que utilizamos la ecuación.

$P_C = P_P + P_b + P_a + P_i + P_{pc}$

$P_C = (3732.83+84.7+318.22+1634.18+1451.92) Kcal/h$

$\boldsymbol{P_c = 7221.85\ Kcal/h}$

5.1.6 Calor que sale para el calentamiento de las paredes

Tomamos los datos de la Tabla 12 para realizar los cálculos respectivos:

Ladrillo refractario	*1.5*	*0.115*
Plancha metálica	*63.9*	*0.004*
Lana mineral	*0.087*	*0.254*
Acero inoxidable	*14.9*	*0.001*

La variación de la temperatura se debe aplicar a todos los componentes del horno ya que es la que se debe utilizar dentro y fuera del Horno.

$\Delta_t = T_i - T_e$

$\Delta_t = 1200°C - 18°C$

5.1.6.1 Calor que sale para el calentamiento de la base

La base es una sección triangular tenemos que utilizamos la ecuación con la cual:

$$q' = \frac{\Delta t}{R}$$

Dónde:

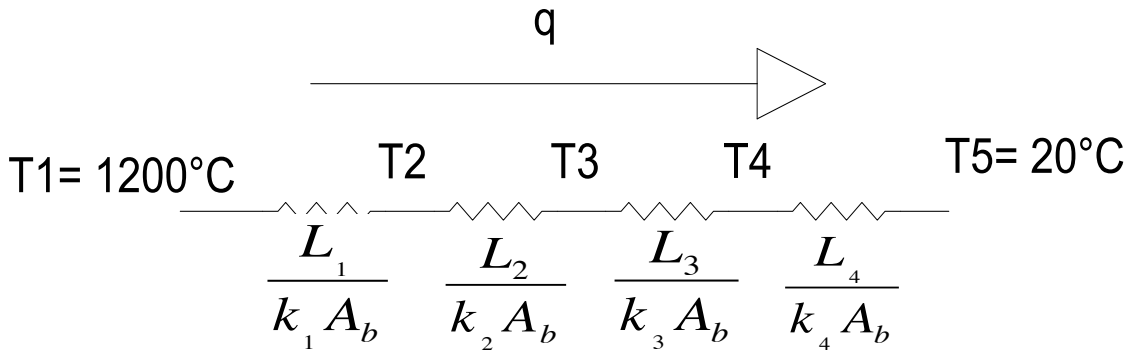
q: Flujo Térmico en *W*

Δt: Variación de Temperatura

R: Resistencia Térmica *R=L/kA*

Donde tenemos la ecuación:

$$q' = \frac{\Delta t}{\frac{L}{kA}}$$



<u>Área de la base:</u>

Para el cálculo del área de la base será la ecuación 6.1.4

$$A_b = \frac{b \times h}{2}$$

$$A_b = \frac{0.49m \times 0.60m}{2}$$

$$A_b = 0.147m^2$$

Calculamos con respecto a todos los componentes que se van a utilizar:

- ✓ Ladrillo Refractario tipo U-33
- ✓ Plancha metálica acero SAE 1010
- ✓ Lana mineral
- ✓ Plancha de acero inoxidable

$$q=\frac{T_1-T_5}{\frac{1}{A_b}\left(\frac{L_1}{K_1}+\frac{L_2}{K_2}+\frac{L_3}{K_3}+\frac{L_4}{K_4}\right)}$$

$$\left\{1.5\frac{mK}{\ }\quad 63.9\frac{mK}{\ }\quad 0.087\frac{mK}{\ }\quad 14.9\frac{mK}{\ }\right\}$$

$$q=471.29W$$

q = 471.29 W x 8

q_1 = 3770.32 W

5.1.6.2 Calor que sale para el calentamiento de la pared lateral

Cada pared que conforma el horno es una pared rectangular con lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$q=\frac{\Delta t}{R}$$

Dónde:

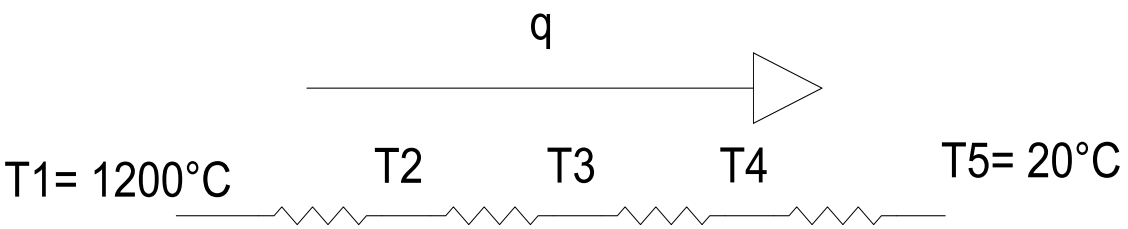
q: Flujo Térmico en *W*

Δt: Variación de Temperatura

R: Resistencia Térmica *R=L/k*

Donde tenemos la ecuación:

$$q=\frac{\Delta t}{\frac{L}{kA}}$$



$$\frac{L_1}{k_1 A_p} \quad \frac{L_2}{k_2 A_p} \quad \frac{L_3}{k_3 A_p} \quad \frac{L_4}{k_4 A_p}$$

Calculamos con respecto a todos los componentes que se van a utilizar para el revestimiento total del horno con lo que tenemos:

- ✓ Ladrillo Refractario tipo U-33
- ✓ Plancha metálica acero SAE 1010
- ✓ Lana mineral
- ✓ Plancha de acero inoxidable

Tenemos que la altura total de la cámara es de 1.10 m y la base es de 0.49m con lo que sacamos el área de la pared.

<u>Área de la pared:</u>

Para el cálculo del área de la base será la ecuación 6.1.4

$$A_p = b \times h$$

$$A_p = 0.49m \times 1.10m$$

$$A_p = 0.54m^2$$

$$q = \frac{T_1 - T_5}{\frac{1}{A_p}\left(\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{L_4}{K_4}\right)}$$

$$q = \frac{1200K - 18K}{\frac{1}{0.54m^2}\left(\frac{0.115m}{1.5\frac{W}{mK}} + \frac{0.004m}{63.9\frac{W}{mK}} + \frac{0.0254m}{0.087\frac{W}{mK}} + \frac{0.001m}{14.9\frac{W}{mK}}\right)}$$

q = 1730.93

q = 1730.93 W* 8

q_2 = 13847.4 W

5.1.6.3 Calor que sale para el calentamiento de la cúpula

Idealizando el sistema a una sección triangular tenemos que utilizamos la ecuación fundamental con la cual:

$$q = \frac{\Delta t}{R}$$

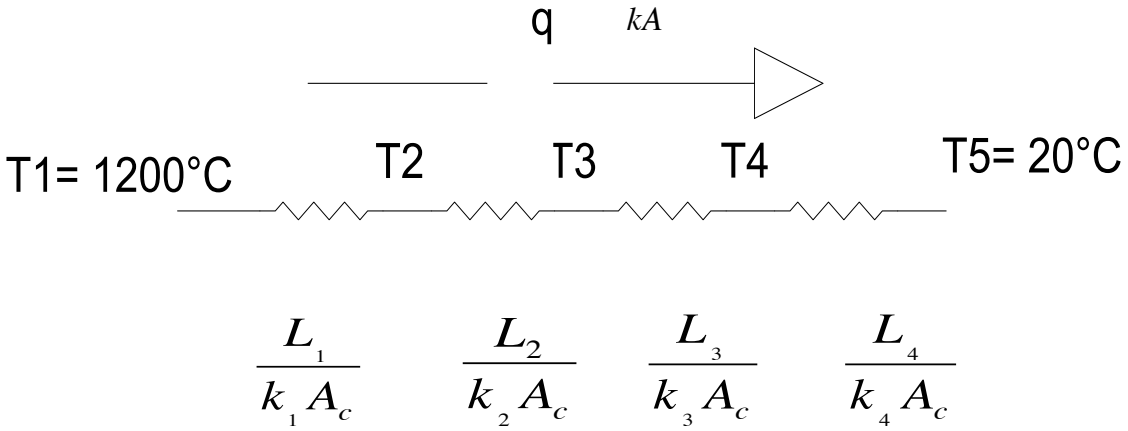
Dónde:

q: Flujo Térmico en *W*

Δt: Variación de Temperatura

R: Resistencia Térmica *R=L/kA*

Donde tenemos la siguiente ecuación: $q = \dfrac{\Delta t}{\dfrac{L}{kA}}$



<u>Área de la cúpula:</u>

Para el cálculo del área de la copa será la ecuación 6.1.4

$$A_c = \frac{b \times h}{2}$$

$$A_c = \frac{0.49m \times 0.67m}{2}$$

$$A_C = 0.164m^2$$

Calculamos con respecto a todos los componentes que se van a utilizar para el revestimiento total del horno con lo que tenemos:

- ✓ Ladrillo Refractario tipo U-33

- ✓ Plancha metálica acero SAE 1010
- ✓ Lana mineral
- ✓ Plancha de acero inoxidable

$$q=\frac{T_1-T_5}{\frac{1}{A_c}\left(\frac{L_1}{K_1}+\frac{L_2}{K_2}+\frac{L_3}{K_3}+\frac{L_4}{K_4}\right)}$$

$$q=\frac{1200K-18K}{\frac{1}{0.164m^2}\left(\frac{0.115m}{1.5\frac{W}{mK}}+\frac{0.004m}{63.9\frac{W}{mK}}+\frac{0.0254m}{0.087\frac{W}{mK}}+\frac{0.001m}{14.9\frac{W}{mK}}\right)}$$

$$q=526W$$

q = 526 W x 8

q_3 = 4228 W

5.1.6.4 Calor Total de las paredes

Finalmente se procede al cálculo del calor que sale para el calentamiento de la base, pared lateral y de la cúpula ósea en todo el revestimiento que conforma el Horno con lo que utilizamos la ecuación 9.

$$Q_T = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q_T = 3770.32W + 13847.4W + 4228W$$

$$Q_T = 21845.72W$$

Tenemos que transformar W a Kcal/h con lo que tenemos lo siguiente:

$$Q_T = 21845.72\frac{J}{s}\times\frac{1Kcal}{4186J}\times\frac{3600s}{1h}$$

Q_T = 18787.5 Kcal/h

5.1.7 Balance Térmico

Quemador WAYNE HSG-400

El quemador es capaz de proporcionar una cantidad de calor de entre los: 50000Kcal/h - 110000 Kcal/h, por lo cual el quemador seleccionado cumple con las especificaciones de trabajo que requiere el horno por lo tanto tenemos.

Cantidad de calor Quemador = Calor cedido en la cámara + Flujo térmico revestimiento

$$Q_Q = P_c + q$$

$$50000 \text{ Kcal/h} = 7221.85 \text{ Kcal/h} + 18787.5 \text{ Kcal/h}$$

$$50000 \text{ Kcal/h} = 26009.35 \text{ Kcal/h}$$

5.1.8 Selección del regulador de primera y segunda etapa

5.1.8.1 Reguladores de primera etapa (alta presión)

Según la Tabla.13 proporcionada por ECII. Engineered Internacional.Inc dirigida Reguladores de primera etapa.

A lo cual recordamos que:

Consumo= 50000 Kcal/hora ≈ *198000 BTU/h*

Con los 200000 BTU/h se encuentra en la tabla de reguladores REGO, que el regulador libra-libra de alta presión 597 FA cuya capacidad es de 1750000 BTU/h.

5.1.8.2 Reguladores de segunda etapa (baja presión)

Según la Tabla.14 proporcionada por ECII. Engineered Internacional.Inc dirigida a Reguladores de Segunda etapa.

A lo cual recordamos que:

Consumo= 50000 Kcal/h ≈ *198000 BTU/h*

Con este dato buscamos en la tabla de reguladores REGO para sistemas de baja presión, serie LV4403B4, satisface la demanda requerida.

5.1.9 Calculo de la estructura del Horno

Calculo Estructural

Recopilando las ecuaciones 10 y 11 y analizando que este cálculo se lo realiza a compresión y estabilidad podemos decir que:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_{est}$$

$$\frac{P_{\max}}{A} \leq \varphi[\sigma]_c$$

Donde:

P_{max}: Máximo valor de carga a la cual se someten las columnas que soportan la estructura

A: Área de las columnas

Φ: Coeficiente de reducción de las tensiones admisibles. Se establece en función del material y de la esbeltez de las columnas (λ)

$[\sigma]_c$: Tensión admisible a comprensión del material de las columnas

Necesitamos encontrar los pesos de cada componente para a su vez para encontrar el peso total del horno con lo cual tenemos:

- ✓ La masa del ladrillo refractario será de:
  $M_r = V_r \, x \, \gamma_r$ = 790475,5 cm^3 x 0,00223 kg/cm^3 = *1762.76 kg*
- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:
  $W_r = M_r \, x \, 9.8 \, m/s^2$
  $W_r = 1762.76 \, Kg \, x \, 9.8 m/s^2$
  $\boldsymbol{W_r = 17275.04 \, N}$

- ✓ La masa de la plancha metálica de la estructura será:
  $M_{pm} = V_{pm} \, x \, \gamma_{pm}$ = 27494,8 cm^3 x 0,00795 kg/cm^3 = *218,58 kg*
- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:
  $W_{pm} = M_{pm} \, x \, 9.8 \, m/s^2$
  $W_{pm} = 218,58 \, Kg \, x \, 9.8 m/s^2$
  $\boldsymbol{W_{pm} = 2142,1 \, N}$
- ✓ La masa de la manta cerámica de la estructura será:
  $M_{mc} = V_{mc} \, x \, \gamma_{mc}$ = 171842,5 cm^3 x 0,000144 kg/cm^3 = *24,74 kg*

- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:

  $W_{mc} = M_{mc} \times 9.8\ m/s^2$

  $W_{mc} = 24,74\ Kg \times 9.8 m/s^2$

  $\boldsymbol{W_{mc} = 242,45\ N}$

- ✓ La masa del recubrimiento en acero inoxidable será:

  $M_{ai} = V_{ai} \times \gamma_{ai} = 687,37\ cm^3 \times 0,0079\ kg/cm^3 = 5,430\ kg$

- ✓ El peso lo obtenemos de la siguiente forma:

  $W_{ai} = M_{ai} \times 9.8 m/s^2$

  $W_{ai} = 5,430 Kg \times 9.8 m/s^2$

  $\boldsymbol{Wai = 53,21\ N}$

Se calcula la carga máxima en función del peso de cada componente así como de la pieza a tratar térmicamente así utilizaremos la ecuación12:

$$W_{\max} = (W_P + W_b + W_{p_c} + W_r + W_{pm} + W_{mc} + W_{ai})$$

$W_{max} = (750+12.1+267.4+17275.04+2142.1+242.45+53.21)\ N$

$W_{max} = 20741.7\ N$

$\boldsymbol{W_{max}} = 20741.7N\ (0.1) = \boldsymbol{2074.17\ Kgf}$

La esbeltez de las columnas (λ) depende de:

- Las condiciones de apoyo (ν)
- La longitud (l) de las columnas
- La forma
- Dimensiones de la sección transversal de las columnas, con lo cual se determina el radio giro mínimo de las mismas (i_{min}) y utilizaremos la ecuación13:

$$\lambda = \frac{\nu \times l}{i_{\min}}$$

Las columnas serán consideradas empotradas en uno de los extremos, y libres en el otro extremo donde se aplica la carga. En estas condiciones □ = 2

La longitud de las columnas es de 0.60 m (60 cm)

Para el cálculo del radio de giro se procede de la siguiente forma con la ecuación 14:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$$

Donde:

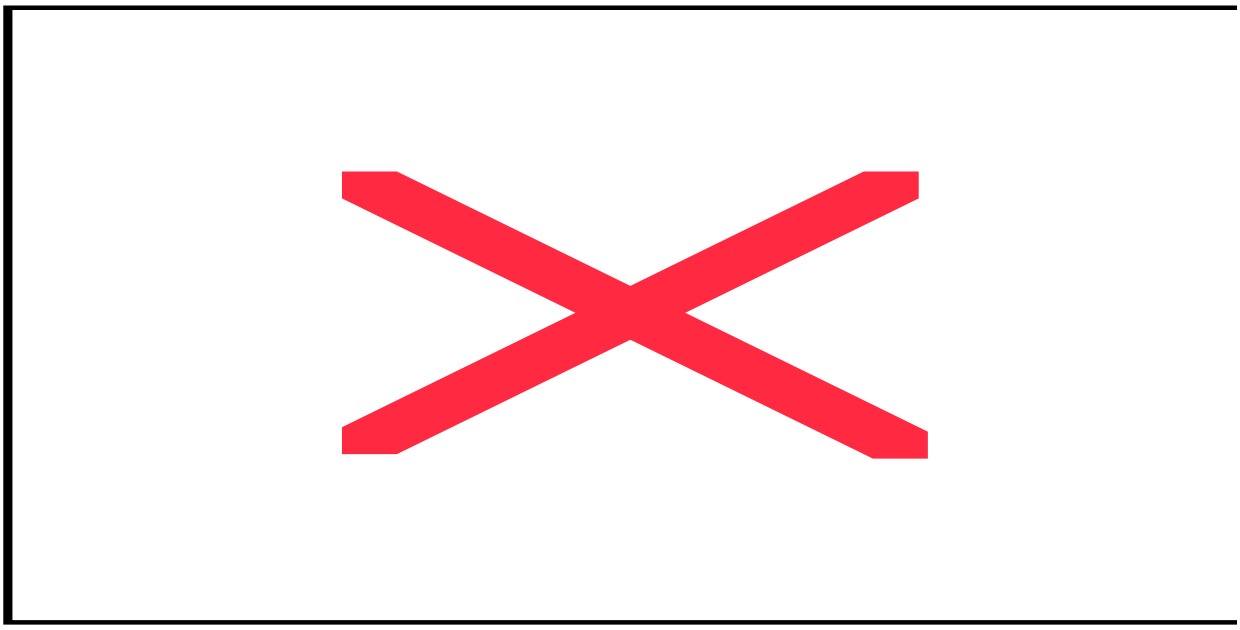
I_{min}: Momento de inercia mínimo de la sección transversal

A: Área de la sección transversal

Las cuatro columnas están conformadas por ***planchas metálicas de acero SAE 1010*** de *espesor 0,3 cm*. Las columnas se encuentran ubicadas simétricamente en ángulos opuestos del octógono, con una configuración para la cual el cálculo de sus características geométricas puede considerarse a partir de las herramientas de calculo que brinda el software Auto-CAD.

A continuación se muestra el dibujo en Auto-CAD de una de las cuatro columnas con sus respectivas dimensiones.

Como se puede apreciarse las dimensiones requeridas para los cálculos serán:



Área del Triangulo Grande	$A\Delta = 36\ cm^2$	$\vec{Y_t} = 1.28cm$
Área del Triangulo Pequeño	$A\Delta = 30\ cm^2$	$\vec{Y_t} = 1.17cm$
Área del rectángulo Grande	$A\blacksquare = 74\ cm^2$	$\vec{Y_t} = 2cm$

Área del rectángulo Pequeño $A_{■} = 72\ cm^2$ $\vec{Y_i} = 2cm$

FORMULAS APLICADAS:

Momentos de primer orden (Q)

$$Q_y = X\sum A = \sum A_1 X_1 \qquad X = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A}$$

$$Q_x = Y\sum A = \sum A_1 Y_1 \qquad Y = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A}$$

TABLA DE VALORES

COMPONENTE	Área(cm^2)	X_i (cm)	Y_i (cm)	$X_i A_i$	$Y_i A$(cm^3)
Δ Grande	36	0	1.28	-	46.08
Δ Pequeño	-30	0	1.17	-	-35.1
■ Grande	74	0	2	-	148
■ Pequeño	-72	0	2	-	-144
	$\in = 8\ cm^2$				$\in = 14.98\ cm^3$

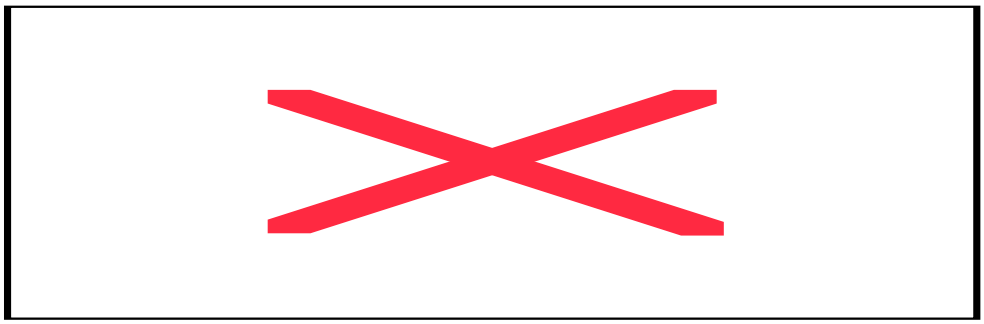
Análisis de los datos obtenidos en la Tabla:

$$Y = \frac{Y_i A_i}{Area}$$

$$Y = \frac{14.98\ cm^3}{8cm^2}$$

$$Y = 1.8725\ cm$$

El centro de gravedad se ubica sobre el eje Y, y de referencia a una distancia de 1.87 cm como se muestra.



Para la determinación del momento de inercia de la figura compuesta, considerando sus diversos componentes se utiliza el ***Teorema de los ejes paralelos***.

Para el momento de inercia con respecto al triángulo y al rectángulo utilizamos la ecuación 14.1:

$$I_{x_1} = I_{x1} + A_1(d_1)^2$$

$$I_{x_1} = \frac{H^4 - h^4}{24} + A_1(d_1)^2$$

$$I_{x_1} = \frac{3.8^4 - 3.5^4}{24} + 6cm^2(0.59\ cm)^2$$

$$I_{x_1} = 4.52\ cm^4$$

Momento de Inercia con respecto al rectángulo:

$$I_{x_2} = I_{x2} + A_2(d_2)^2$$

$$I_{x_2} = \frac{b^3}{12}(H - h) + A_2(d_2)^2$$

$$I_{x_2} = \frac{4^3}{12}(18.53cm - 17.93cm) + 2cm(3.87cm)^2$$

$$I_{x_2} = 32.078\ cm^4$$

$$I_{y_2} = \frac{b}{12}(H^3 - h^3)$$

$$I_{y_2} = \frac{4\ cm}{12}(18.53^3 - 17.93^3)$$

$$I_{y_2} = 0.33cm(6362.47cm^3 - 5764.22cm^3)$$

$$I_{y_2} = 197.42\ cm^4$$

El Momento de Inercia de la figura compuesta la obtenemos de la suma de:

$$I_{x_\Delta} + I_{x_\square} = 4.52cm^4 + 32.078cm^4 = 36.6cm^4$$

El Momento de Inercia mínimo lo calculamos:

$$I_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{36.6cm^4}{8cm^2}} = \sqrt{4.57cm^2} = 2.14cm \cong 2cm$$

Para encontrar la esbeltez de la columna calculamos con el valor de: $v = 2$

$$\lambda = \frac{vl}{I_{min}} = \frac{2(60\ cm)}{2cm} = 60\ cm$$

Con respecto al valor de λ esbeltez y teniendo en cuenta el material que estamos usando que es SAE 1010 con lo cual obtenemos mediante la tabla y encontramos el coeficiente de la tensión admisible convencional a la compresión φ.

$$\varphi = 0.75$$

Para la determinación de la tensión admisible se determina la tensión límite de fluencia y el factor de seguridad.

$$\sigma_{lim} = 2600 \frac{Kgf}{cm^2}$$

El coeficiente de seguridad se introduce para conseguir un funcionamiento fiable y seguro de las estructuras y de sus partes, a pesar de las posibles desviaciones desfavorables de las condiciones reales de trabajo, en comparación con las que se considera el cálculo.

El coeficiente de seguridad se representa en forma de producto,

$$[\eta] = [\eta_1].[\eta_2].[\eta_3] \ldots\ldots$$

Dónde:

$\eta_1 = 2.5$ Coef. Que considera el error posible al determinar las cargas y tensiones.

$\eta_2 = 1.35$ Coef. Que considera la sensibilidad a los posibles defectos en el maquinado.

$\eta_3 = 1.25$ Coef. A las condiciones de trabajo ósea al grado de responsabilidad a la pieza.

Realizando la operación tenemos que: $\eta = 4.21$

Finalmente dividiendo para el coeficiente de seguridad podemos decir que:

$$\sigma = \frac{\sigma_{lim}}{Coef.seg}$$

$$\sigma = \frac{26000\ {}^{N}/_{cm^2}}{4{,}21}$$

$$\sigma = 6341{,}4\ {}^{N}/_{cm^2}$$

Realizando el análisis bajo compresión tenemos:

$$\frac{P_{max}}{A} \leq \varphi[\sigma]$$

$$\frac{5185.4\ N}{8\ cm^2} \leq 0.75(6341{,}4\ {}^{N}/_{cm^2})$$

$$1296.35\ {}^{N}/_{cm^2} \leq 4756.05\ {}^{N}/_{cm^2}$$

Como se puede apreciar con los resultados obtenidos la estructura resiste las cargas de compresión actuantes y además se garantiza su estabilidad.

5.2 VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica del trabajo desarrollado está enfocada a la evaluación de los costos de fabricación del horno en su conjunto que influye básicamente a los resultados obtenidos tanto para su diseño como para su construcción, y los gastos incurridos en la adquisición de cada una de las partes del mismo con lo cual podemos dar referencia a todo el Instrumento, equipo y accesorios que utilizamos para la realización de dicho proyecto.

5.2.1 Costos de construcción

CÁLCULO DEL COSTO TOTAL DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

No.	Materiales	$^{u}/_{m}$	Cantidad	Precio	Total
1	Ladrillo refractario	-	600	3.80	2280
2	Cemento refractario (ERECOS) 30 Kg	Kg	3	70	210
3	Manta cerámica	m^2	2	45	90
4	Plancha Acero Inoxidable (e = 1mm)	-	3	70	210
5	Plancha negra SAE 1010 (e = 6mm)	-	1	145	145
6	Plancha negra SAE 1010 (e = 4 mm)	-	2	110	220
7	Tubería de vapor de 2 “Célula 40	m	2	24.9	49.8
8	Barra perforada 32x20mm	cm	60	0.16	9.6
9	Acero al carbono SAE 1020 ¾”	cm	65	0.04	2.6
10	Bronce 1 ¼”x $^{3}/_{4}$ ‘’	cm	7	1.149	8.04
11	Electrodo 60-11	kg	7	3.60	25.2
12	Electrodo 70-18	kg	3	8	24

13	Cargue de oxigeno	1	1	18	18
14	Plancha negra SAE 1010 (e = 1.5 mm)	-	1	30	30
15	Plancha negra SAE 1010 (e = 1.4 mm)	-	1	32	32
16	Disco de trazadora 14” para metal	-	6	2.50	15
17	Disco 14” para refractario	-	10	5	50
18	Disco de 4”para refractario	-	3	4	12
19	Guantes de algodón pvc	-	2	3	6
20	Remaches pop	-	2	3.50	7
21	Silicón	-	4	3	12
22	Tanque de oxigeno	-	3	18	54
23	Consultas, copias, dibujos e Internet	-	-	-	46
24	Viajes a tramites académicos	-	-	-	42
	Costo de materiales				**3596.24**

COSTOS DE ADQUISICIÓN DE EQUIPAMIENTO, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS

No.	**Producto**	**Cantidad**	**Precio**	**Importe**
1	Quemador de gas 200.000 Btu	1	1062.4	1062.43
2	Regulador libra-libra	1	50	50
3	Regulador de Segunda etapa Reca 738	1	35	35
4	Termocupla Tipo K	1	65	65
5	Controlador de temperatura	1	120	120
6	Válvulas esféricas de bronce para Gas	6	7.50	45
7	Válvulas de ataque rápido	6	6.50	39
8	Manguera para alta presión	6	10.50	63
9	Manguera para baja presión	2	1.20	2.40
10	Manómetro 0-100 psi	1	8	8
11	Neplos de ½ x 3” espigas	2	2.50	5
12	Abrazaderas	8	0.75	6
13	Bushing de ¾-$^{1}/_{2}$’’	1	3.80	3.80

14	Válvulas esféricas	8	3.50	28
	Costo de equipo			**1532.63**

CÁLCULO DEL COSTO DE LA MANO DE OBRA

No.	Especialidad Profesional	Horas	Valor $^{c}/_{h}$	Total
1	Corte y doblado de paredes del horno			235.04
2	Rolado de cúpula			91.95
3	Técnico de aislamiento térmico	10	20	200
4	Construcción de la puerta	5	3	15
5	Rolado de la chimenea			12
6	Soldador	14	15	210
7	Ayudante del soldador	20	6	120
8	Transporte de ladrillo			33
	Costo de Mano de Obra			**916.99**

5.2.2 Evaluación comparativa con otros medios de tratamiento térmico

Finalmente el costo total del horno, se establece como la suma del costo total de materiales, el costo de productos (equipos, instrumentos, accesorios, etc.) y los gastos del personal que laboró en la construcción y montaje del horno.

Este es de 6045.86 **USD.**

Teniendo en cuenta que actualmente en el mercado mundial, el costo de adquisición de un horno eléctrico que pueda realizar las funciones para los cuales está destinado el horno diseñado en el presente trabajo, está por encima de los 6800 USD; consideramos que es más factible la opción que presentamos en nuestro trabajo de tesis. Por otra parte, con nuestra propuesta se reducen los costos de explotación de un horno para tramiento térmico, empleando GLP en lugar de energía electrica por ser esta una fuente de energía más barata y asequible en la actual situación energéticas

5.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DEL HORNO

En la grafica muestra una representación esquemática del horno con sus principales partes. A través de la *Puerta principal del horno 3* se introduce la *Pieza a trabajar 4*. El encendido del horno se realiza luego de abrir la *Válvula de control 6* que conforma el *Sistema de alimentación de GLP 7,* puesta en marcha del *Quemador 5;* con lo cual se inicia el proceso de transferencia de calor a los diferentes elementos de la estructura interna del horno: las planchas metálicas que conforman la cámara de trabajo y con ello el anterior con la cámara donde se ubica la pieza que recibe el tratamiento térmico; y el recubrimiento del horno, conformado por el *Refractario 2* y la fina plancha de aluminio de recubrimiento.

El control del trabajo del horno de realiza mediante el sistema integrado, que incluye la medición de la temperatura interna del horno a través de la *Termocupla 11*, y con la utilización de *Dispositivos de control de temperatura 10.*

La evacuación de los gases producto de la combustión se le realiza a través de un conducto de salida llamada *Chimenea 13.*

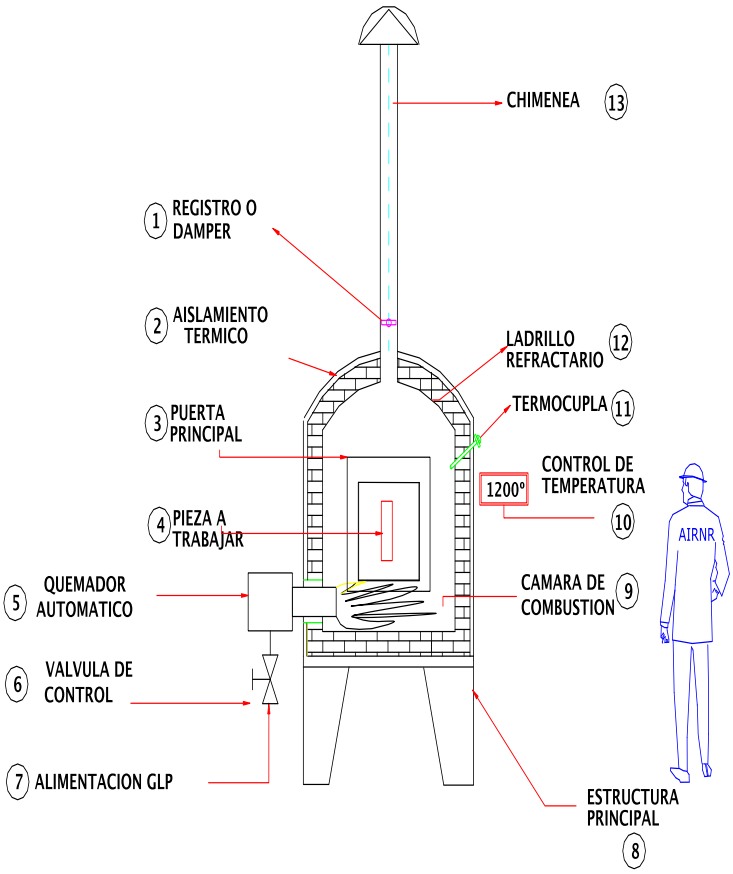


Fig.30 Representación Esquemática del Horno

5.3.1. Sistema de mantenimiento del horno

El sistema de mantenimiento se estima en función del tiempo total de explotación en horas, considerando la suma de los períodos de operación del horno. Para la determinación del sistema de mantenimiento del horno, es necesario establecer la estructura del ciclo que orientará el plan de actividades o intervenciones a ejecutar en cada momento.

En el caso del horno para tratamiento térmico de nuestro trabajo, partimos de las consideraciones siguientes:

Peso del equipo: *2074.17 kgf ≈ 2 Toneladas*

Tiempo de explotación: *0 años*

Régimen de trabajo: *Ligero*

Como el equipo es liviano (pesa alrededor de 2 toneladas), la estructura del ciclo a aplicar será la siguiente:

Es decir, se realizarán 36 Revisiones (N_r) y 8 Reparaciones Pequeñas (N_p).

La duración total del ciclo (tiempo entre las dos Reparaciones Generales) se determina por la siguiente expresión:

$$T = B_n \times A$$

Donde:

B_n: Coeficiente que contempla el régimen de trabajo. En nuestro caso para equipo ligero, $B_n = 2$

A: Duración teórica del ciclo. Como se trata de un equipo considerado en la categoría de equipos industriales livianos y medianos (hasta 10 toneladas) y hasta 10 años de explotación, A = 26 000 horas

De aquí que:

$$T = 2 \times 26000\ hr$$

$$T = 52000\ hr$$

El período de tiempo de trabajo del horno entre dos intervenciones, o sea, ente dos revisiones inmediatas o entre una reparación y una revisión inmediata, se determina por la siguiente expresión:

$$t = \frac{T}{N_p + N_r + 1}$$

$$t = \frac{52000hr}{8 + 36 + 1}$$

Es decir, el tiempo entre intervenciones será: t = 1155,55 hr

Las operaciones propuestas para realizar en cada una de las intervenciones son:

Reparación General:

- Valoración del estado del recubrimiento (refractario, manta cerámica, etc) del horno, y cambio de la parte dañada.
- Valoración del estado de la estructura metálica del horno, y cambio de la parte dañada.
- Todas operaciones contempladas en las reparaciones pequeñas y las revisiones.

Reparación Pequeña:

- Evaluación del sistema integral de control de temperatura (termocupla, dispositivos de control automático, etc.) y sustitución de los componentes dañados.
- Evaluación del estado del Quemador e inyectores y sustitución de los componentes dañados.
- Todas operaciones contempladas en las revisiones.

Revisiones:

- Revisión del estado que presenta el sistema de alimentación (tuberías, uniones, válvulas, etc) de gas licuado de petróleo (GLP), y reparación de los componentes dañados.
- Revisión y limpieza del sistema de evacuación de los productos de la combustión.

5.4 VALORACIÓN ECOLÓGICA Y AMBIENTAL

En los últimos años se ha dado gran atención a la incidencia de los procesos industriales sobre el medio ambiente, en particular el efecto puede ser muy nocivo si se trata de equipos industriales que emplean gases como combustibles (GLP).

En nuestro caso reviste particular importancia, evaluar el peligro del empleo del GLP teniendo en cuenta su toxicología, así como la emanación de los gases derivados de la combustión. De igual forma es necesario considerar los peligros para la salud en la realización de las actividades de tratamiento térmico.

5.4.1 Toxicología

La inhalación de GLP, puede producir una ligera acción anestésica. El riesgo de asfixia sobreviene cuando existe falta de oxígeno. Además, la combustión directa de los GLP, cuando se realiza de forma incompleta, al igual que sucede con otros combustibles, puede producir monóxido de carbono.
La combustión del propano con falta de oxígeno se realiza de la forma siguiente:

$$C_3 H_8 + 7/2\ O_2 = 3CO + 4H_2O$$

No existirá peligro si la combustión se realiza con abundancia de oxígeno, puesto que en vez de monóxido de carbono se produce anhídrido carbónico, según la siguiente reacción:

$$C_3 H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$$

En el caso de que los quemadores del horno para tratamiento térmico estén en correctas condiciones de construcción y mantenimiento, la buena combustión del gas depende sólo de la necesaria aportación del aire, resultando que los productos de la combustión son vapor de agua y anhídrido carbónico (CO_2). Por tal razón las prácticas de tratamiento térmico del horno alimentados con GLP, se las debe realizar en locales abiertos o con un eficiente expulsión al exterior de los humos producto de su combustión.

Si en la atmósfera que respira un hombre hay solamente un 0,1% de oxido de carbono, ya se dificulta gravemente la respiración, pudiendo fallecer en dos horas si está trabajando, en tres horas si esta andando, y llegando a 5 horas si esta inmóvil. Si el

contenido, en CO llaga a sobre pasar el 0,5%, la muerte llega en cinco o seis minutos. Puede ocurrir la muerte no por intoxicación, si no por asfixia, sencillamente por no absorber la sangre el oxigeno necesario al ser desplazado por la presencia del gas.

Como dispositivo de seguridad, se propone la vigilancia continua, y además llevar obligatoriamente, pilotos automáticos que garanticen la seguridad del encendido y estar provistos de un mecanismo de seguridad que impida la salida de gas sin quemar cuando por causas accidentales se apague la llama del quemador correspondiente. La ventilación es otro aspecto que no debe ser olvidado.

Los conductos de evacuación de los productos de la combustión y chimeneas en general tendrán las dimensiones, trazado y ubicación adecuados, debiendo también ser resistentes a la corrosión y a la temperatura. En este sentido cumpliendo con las Normas ISO 14000.

5.4.2 Seguridad durante el tratamiento térmico

En el tratamiento térmico de los metales hay dos peligros principales a considerar:

1. Las quemaduras, que pueden ser graves y dolorosas
2. El fuego

En el taller de tratamiento térmico, los operadores deben contar con la vestimenta y equipó adecuado de protección, incluyendo gafas, aún mejor visores faciales transparentes, delantales de cuero y guantes de cuero.

Las medidas de seguridad que deben emplearse son:

1. Deberá usarse la ropa suministrada.
2. Deberá suponerse que todo está caliente mientras no se pruebe lo contrario.
3. Los baños de enfriamiento por aceite deben contar con una tapa estanca. Si el aceite se enciende, el buen cierre de la tapa impide el paso del aire que alimentara las llamas, y apaga éstas. Deberá dejarse puesta la tapa hasta que el aceite se enfríe.

4. Los baños enfriadores con aceite deben contar con un sistema de circulación y enfriamiento, a fin de mantener la temperatura por debajo del punto de inflamación del aceite, especialmente cuando son grandes cantidades de trabajo a enfriar. El aceite lubricante nunca debe ser utilizado para enfriar, sino únicamente los aceites especiales creados para enfriamiento, por su seguridad y por los resultados que se desean obtener.
5. Nadie deberá encender un horno hasta no haber sido adecuadamente instruido y haber recibido permiso para hacerlo.
6. Nunca deberá utilizarse un horno para baño salino, sin secar y precalentar previamente todo lo que se vaya a poner en las sales.
7. Nunca deberá intervenirse en los dispositivos de registro de temperatura y de control de la misma.
8. Deberán conocerse los lugares en que se encuentran los extinguidores de fuego, así como la forma de utilizarlos.
9. Deberán conocerse qué debe hacer si las ropas de su compañero de trabajo se incendian.
10. Deberán conocerse cómo dar la alarma si estalla un incendio.

5.4.3 Incidencia de los gases de la combustión sobre el medio ambiente

El aire que respiramos está formado por muchos componentes químicos. Los componentes primarios del aire son el nitrógeno (N_2), oxigeno (O_2) y vapor de agua (H_2O).

En el aire también se encuentran pequeñas cantidades de muchas otras sustancias, incluidas el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrogeno y metano.
Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire.

La quema de combustibles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NOX) y partículas sólidas y liquidas conocidas como material particulado. Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las

actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que respiramos.

La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos, ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos.
Los contaminantes de aire, tanto gaseoso como particulados, pueden tener efectos negativos sobre en el medio ambiente.

La contaminación del aire también afecta la visibilidad. Esto ha dado lugar a problemas relacionados con la seguridad de operación de los aviones y la destrucción de paisajes naturales.

Existen pruebas de que la contaminación del aire contribuye al calentamiento de la atmósfera o al efecto invernadero. La quema de combustibles fósiles emite demasiado dióxido de carbono en la atmósfera.

Como se ha visto la contaminación del aire afecta nuestras vidas en muchos aspectos. Las fuentes primarias de la contaminación del aire son las fábricas y las comodidades modernas de las que dependemos para el crecimiento económico y estilo de vida.

5.5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta que en la provincia de Loja no existe una industria del gas, solo empresas que se dedican a la comercialización del combustible, no se a podido desarrollar y aplicar de forma amplia la gran cantidad de ventajas que posee el GLP como son: su limpieza, economía, gran poder calorífico, fácil manejo y transporte, y seguridad en su uso, rezagándolo en su gran mayoría al sector domestico, en poco al sector de la industria metal-mecánico.

El propósito central del proyecto de diseño y construcción de un horno para tratamiento térmico, empleando GLP como combustible; es promover y dar a conocer una fuente energía alternativa a las convencionales.

El diseño y su construcción del mismo, se lo realizo en base de los conocimientos adquiridos durante nuestro proceso de formación en la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

El diseño del sistema del GLP, se lo realizo a base de la investigación, capacitación y el asesoramiento de técnicos instaladores de sistemas de gas.

La construcción de proyecto se ejecuto en el taller mecánico **TECMESUR** propiedad del Sr. Juan Collahuazo Durazno; ubicado en la Avd. Gran Colombia y Riobamba. Los materiales y herramientas se los pudo adquirir en nuestro medio, un poco de dificultad resulta la adquisición de material y equipo para lo que se relaciona con el aislante, quemador, Instrumentos de medición y control, los mismo que se los tubo que adquirir en las ciudades de Quito (Venamet) y Guayaquil (electro comercial KVG; La Llave).

Luego del proceso constructivo se procedió a una etapa de ensayos, adquisición de datos, y posteriormente a modificar ciertos aspectos constructivos del horno con el fin de lograr controlar las propiedades, características y comportamiento del gas bajo diversas variables.
En este periodo de ensayos por causas de construcción y efectos que se producían en el proceso llegamos a obtener una cierta cantidad de falencias que poco a poco fuimos modificando para poder tener un buen funcionamiento del Horno ya que este fue diseñado para cumplir con los parámetros de eficacia y eficiencia.

La demostración de operación y funcionamiento del proyecto propuesto, se la realizo en el taller **TECMESUR**, en presencia del Ing. Gonzalo Riofrío Cruz el cual constato su buen funcionamiento y operatividad.

CONCLUSIONES

- ✓ El desarrollo del diseño y construcción del proyecto, es una oportunidad de aplicar y contrastar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos dentro de nuestro proceso de formación , y de esta manera lograr incrementar y fortalecer nuestras capacidades cognoscitivas.

- ✓ El horno a base de GLP puede funcionar en cualquier lugar geográfico; debido a la gran facilidad de manejo y transporte del combustible, lo cual no ocurre con el horno eléctrico el mismo que solo puede funcionar si existe en el medio la debida infraestructura eléctrica y la capacidad de la red para alimentar dicho equipo.

- ✓ Los costos de construcción del horno es un tanto elevado con respecto al horno eléctrico, su costo de operación es bajo debido a la facilidad y rapidez para obtener temperaturas estables y uniformes, logrando productos económicos y de alta calidad con referencia al eléctrico.

- ✓ Contrariamente a otras fuentes de energía el GLP llega a los usuarios donde quiera que estos se hallen, mediante una variedad de envases manuales, livianos y prácticos, teniendo así autonomía que no le ofrecen otras fuentes de energía dependientes de tuberías, surtidores, o redes.

RECOMENDACIONES

- ✓ Nadie debe operar el horno hasta no haber sido adecuadamente instruido sobre su funcionamiento y los parámetros de operación normales para su correcta operación; y haber recibido la autorización para hacerlo.

- ✓ El personal encargado de la operación y mantenimiento debe ser capacitado, debido a que el combustible es inflamable, y su manejo debe estar sujeto a controles y normas muy estrictas, y se requiere de conocimientos técnico, teóricos y prácticos para su correcto funcionamiento.

- ✓ Los operadores del horno de tratamiento térmico tiene que estar bien equipados, contar con ropa adecuada, visores faciales transparentes, delantales de cuero y guantes de cuero.

- ✓ El área donde se realicen los trabajos de tratamientos térmicos a demás de estar ordenado y limpio, debe estar alejado de líquidos inflamables, cables eléctricos, y demás obstáculos que creen condiciones inseguras para el desarrollo de los trabajos de tratamientos térmicos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- ARZAMAZOV; B. Materials Science. 2 ed. Mir Publishers. Moscow. 1989.
- ASM. ASM Handbook. Volume 11. Atlas of phase equilibria in ternary alloys microestructuras. The Materials Information Society. ASM International. United States of America. 1992
- ASTM. Atlas of microestructuras. A.S.T.M. Editions. New York. 1988
- AVNER, Sídney. Introducción a la metalurgia física. Editorial Ciencia y Técnica. Instituto del libro. La Habana. 1985. p 288 – 289
- BARINOV, N; LANDA, A. Metalurgia y metalografía. 1 ed. Editorial MIR. Moscú. 1976. p 149 – 150

- BROWN, R. S.: Derived of the petroleum. En: Advanced Materials & Processes. Vol. 145 (4). April, 1994. Págs. 20-24.
- BILMES, P.D. Microscopia óptica y electrónica de aceros al carbono. Monografía. La Habana. 2001.
- CALLISTER, W. Materials Science and Engineering. An Introduction. Fifth Edition. Department of Metallurgical Engineering. University of Utah. John Wiley & Sons, Inc., 1999. 8195 pp. ISBN 0-471-32013-7
- DIETER, G. Metallurgic Mechanical. Mac Graw-Hill Book Company, Inc. 1967
- GULIAEV, A. Metalografía. Tomo I. Moscú. Editorial Mir. 1983
- GULIAEV, A. Metalografía. Tomo II. Moscú. Editorial Mir. 1983
- JONES, D.: Distillation of the petroleum and their derived. Amsterdam: Chemistry Publishers, 1998
- JURAN, J.M; GRYNA, F.M. Manual de control de calidad. Editorial McGraw-Hill. 1993
- KAWAMA, A.; S. Kawashima y Y. Ohta: Industrial processes of the petroleum. En: Materials Transactions, JIM. Vol. 33 (12) 1992. Págs: 1171-1177.
- KOZLOV, Y. Ciencia de los Materiales. 1 ed. Editorial MIR. Moscú. 1986. Pag. 76 – 78
- KUBACHEVSKY, O.Y C. B. Alcock: Metallurgical Termochemistry, Moscow: Metallurgy, 1982.
- LAJTIN, Y. Metalografía y tratamiento térmico de los metales. 1 ed. Editorial MIR. Moscú. 1973. p 359 – 360.
- MARTÍNEZ, F. y J. Gordon: Teoría y Tecnología del Tratamiento Térmico. C. Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985.
- MILLION, B. Chemical compounds of petroleum´s derived. Amsterdam: Chemistry Publishers, 2000
- NORMA ASTM E3-95. Preparation of Metallographic Specimens.
- NORMA ASTM E92. Harness Testing.
- OHRING, M.: Engineering Materials Science, San Diego: Academic Press Inc., 1995.
- **VANDERVOORT**, G. F.Metallographic, Principles and Practice, Ohio: McGraw-Hill, 1984.

- WESS. M.: Combustion and Corrosion Processes, 2 ed. Van Nostrand. Nueva York (1971).
- WOLMER, F.: Hornos para tratamiento térmico. Montesó. Barcelona (1980).

SITIOS WEB:

- HALE, R. Behavior and manufacturing properties of materials. 2001. Disponible en la Worl Wide Web en: http://www.engr.ukans.edu/~rhale/
- KEY TO STEEL. Influence of Alloying Elements on Steel Microstructure. Key to Steel Web Site. 2002. Disponible en la World Wide Web en: http://www.key-to-steel.com/
- MAST HOME PAGE. Scientific Principles. Metals Tables Contents. 2001. Disponible en la World Wide Web en: http://matse1.mse.uiuc.edu/~tw/home.html