

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA BAÑO DE SALES PARA EL TALLER DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA

DANILO ANDRÉS ANDRADE MONTALVO

danilo_m85@hotmail.com

DIRECTOR: ING. RODRIGO RUIZ

rodrigo.ruiz@epn.edu.ec

Quito, OCTUBRE - 2010

DECLARACIÓN

Yo Danilo Andrés Andrade Montalvo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Danilo Andrés Andrade M.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Danilo Andrés Andrade Montalvo, bajo mi supervisión.

(Ing. Rodrigo Ruiz)
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

A mis padres, por el apoyo, económico, moral que me brindaron durante mis estudios, a mi hermano, novia, familia y amigos por su apoyo incondicional, y personas quienes aportaron con el presente trabajo.

RESUMEN

La falta de equipamiento de ciertos laboratorios de la EPN, hace que la mayoría de estudiantes tenga desconocimiento de cómo realizar un templeado en baños de sales fundidas. Durante un proceso de tratamientos térmicos es fundamental cuidar a las piezas a tratar contra la oxidación.

Por lo que se ha dimensionado y construido; un horno, un crisol para la fundición de sales, dimensionamiento y selección de un quemador, un control de temperaturas, y un baño de sales a fundir para templar dos probetas.

El horno para baño de sales fundidas, está construido por partes metálicas, y refractarias.

Las partes metálicas forman su estructura, soporte y protección contra el medio ambiente, un crisol de acero ASTM A-36 de 15 mm de espesor que sirve como recipiente en el cual se fundirán las sales para el tratamiento térmico, y un tanque de almacenamiento de combustible.

Las partes refractarias constituyen el cuerpo interior del horno que está protegido por la parte metálica, la parte refractaria está construida por una base de ladrillo refractario liviano, una pared exterior o aislante de diatomita y una pared interior de ladrillo refractario U-32 que forma la cámara del horno.

Se selecciono un quemador a diesel, debido a que es un combustible de fácil acceso, de fácil almacenamiento, y de bajo costo, el quemador seleccionado es un quemador modelo SF Oil Burners que consume 4gph y entregar 175000-770000 Btu/hrs, un control de temperaturas Watlow (CV-240VAC), un termocupla tipo K que soporta hasta 1372°C.

El horno está dimensionado y construido para llegar a una temperatura de 1200°C en 2.5 horas, la capacidad máxima del crisol es de 12567 cm³, el quemador seleccionado utiliza como combustible Diesel Premium N° 2.

Se realizó un temple a dos probetas de acero V945 en baños de sales fundidas con una mezcla de 50% de NaCl más 50% de KCl, y fueron enfriadas en agua y aceite, obteniendo el resultado esperado, es decir evitar la oxidación y alcanzar la dureza requerida.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial uno de los materiales mayormente usados es el acero, debido a sus propiedades, facilidad de maquinado, y otras aplicaciones debido a su variación de aleaciones, de acuerdo a especificaciones técnicas y normas que permitan la calidad, fiabilidad, vida útil de piezas mecánicas.

El acero tiene un sin número de aplicaciones, desde piezas sencillas y elementales para decoraciones, hasta piezas de gran envergadura para construcción de edificios, puentes y estructuras deportivas, partes y piezas de la industria aeronáutica y espacial.

En la actualidad la industria exige cada día piezas metálicas que posean determinadas propiedades mecánicas tales como dureza, resistencia al desgaste, tenacidad, ductilidad, etc., lo que es posible obtener mediante tratamientos térmicos como recocido, templado, revenido, normalizado entre otros.

Durante el tiempo los tratamientos térmicos se han desarrollado extensamente, y existe una variedad de procesos, los cuales permiten dar una determinada estructura molecular a una pieza o masa de acero, según su aplicación, y composición química.

El contar con equipos de tratamientos térmicos que sean didácticos y útiles para los estudiantes, hace que la parte teórica sea complementada con la parte práctica que es fundamental y primordial en la formación de un profesional.

La mayoría de los tratamientos térmicos realizados en hornos de resistencias eléctricas, presentan oxidación y descarburización en las piezas tratadas.

Una de las maneras de eliminar este tipo de problemas presentados durante un tratamiento térmico es el empleo de hornos con baños de sales fundidas.

En el presente proyecto de titulación se dimensiono y construyo un horno para baño de sales, con la finalidad de realizar procesos de tratamiento térmicos, especialmente templado de piezas metálicas en donde la oxidación y descarburización de las piezas tratadas estará controlada por la sales fundidas, obteniendo piezas de calidad, con estructuras y propiedades mecánicas deseadas.

En el capítulo I, se describe los principales fundamentos teóricos para realizar un determinado tratamientos térmicos, los tipos de baños de sales, el empleo de

materiales refractarios, los tipos de quemadores su funcionamiento y clasificación y una breve descripción de los controladores de temperatura.

El capítulo II, describe el dimensionamiento y construcción de cada uno de los elementos que conforman el horno para baño de sales, los pasos para su construcción, los planos respectivos del horno.

El capítulo III, se describe los cálculos correspondientes para la selección del quemador a diesel, los tipos de termocupla, la selección del control de temperaturas e emplear.

El capítulo IV, se indica las operaciones realizadas para el montaje de los elementos que forman el horno, como, estructura metálica, capas refractarias, montaje de quemador, instalaciones eléctricas, y pruebas de los elementos montados, tanto en vacío, como con carga.

El capítulo V, en este capítulo se estructura un manual de operaciones del horno, sus conexiones, tanto de combustible como eléctricas, y la forma de encendido y apagado del mismo, y precauciones a tener en cuenta durante un tratamiento térmico en baño de sales fundidas.

CONTENIDO

CAPITULO I: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN BAÑO DE SALES. 3

1.1. TRATAMIENTOS TÉRMICOS	3
1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS	4
1.2.1. RECOCIDO	5
1.2.2. NORMALIZADO	14
1.2.3. TEMPLADO	16
1.2.4. REVENIDO	27
1.3. BAÑO DE SALES FUNDIDAS	28
1.4. CLASIFICACIÓN DE BAÑOS DE SALES	29
1.5. HORNOS DE BAÑO DE SALES	32
1.6. MATERIALES REFRACTARIOS	34
1.7. QUEMADORES	34
1.8. CLASIFICACIÓN DE QUEMADORES	35
1.9. CONTROLADORES DE TEMPERATURAS	39

CAPÍTULO II: DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO PARA BAÑO DE SALES. 40

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL HORNO PARA BAÑO DE SALES.	40
2.1.1. SELECCIÓN DE CRISOL	40
2.1.2. SELECCIÓN DE QUEMADOR	41
2.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA	45
2.1.4. DETERMINACIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR	46
2.2. PLANOS DE CONJUNTO DE HORNO (ANEXO 1)	50
2.3. PLANOS DE TALLER DE LOS ELEMENTOS DE HORNO PARA BAÑO DE SALES (ANEXO 2)	50
2.4. HOJAS DE PROCESOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL HORNO PARA BAÑO DE SALES	50

CAPÍTULO III: DIMENSIONAMIENTO DE QUEMADOR Y CONTROL DE TEMPERATURAS.59

3.1. CONTROL DE TEMPERATURAS	59
3.1.1. CONTROL DE TEMPERATURAS WATLOW (CV-240VAC)	59
3.1.2. TERMOCUPLA TIPO K	60
3.1.3. RELÉ EN ESTADO SÓLIDO	62
3.2. DIMENSIONAMIENTO DE QUEMADOR	63
3.2.1. CALOR NECESARIO DE CALENTAMIENTO DEL BAÑO DE SALES	65
3.2.2. CALOR NECESARIO DE CALENTAMIENTO DEL CRISOL	65
3.2.3. CALOR NECESARIO DE CALENTAMIENTO DEL REFRACTARIO	65
3.2.4. CALOR NECESARIO DE CALENTAMIENTO DEL AISLANTE	65
3.2.5. CALOR NECESARIO DE CALENTAMIENTO DE CHAPA METÁLICA	65

CAPÍTULO IV: MONTAJE DE HORNO PARA BAÑO DE SALES Y DEL QUEMADOR A DIESEL. 69

4.1. MONTAJE DE HORNO PARA BAÑO DE SALES.	69
4.1.1. PARTES METÁLICAS	69
4.1.2. PAREDES DE REFRACTARIO Y AISLANTE	70
4.2. MONTAJE DE QUEMADOR A DIESEL	72
4.3. PRUEBAS EN VACIO DEL QUEMADOR A DIESEL	76
4.4. PRUEBAS DEL HORNO Y DEL QUEMADOR, CON CARGA	77

4.5. RESULTADOS.....	80
CAPÍTULO V: MANUAL DE OPERACIONES.	84
5.1. COMBUSTIBLE	84
5.2. CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	86
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90

CAPITULO I: Fundamentación teórica de los Tratamientos Térmicos en Baño de Sales.

1.1. Tratamientos Térmicos

Los tratamientos térmicos tienen una importancia primordial en las distintas fases de fabricación, operación o servicio de la industria moderna.

Se llama tratamiento térmico, al conjunto de procesos tecnológicos que se basan en la transformaciones de fase y estructuras cristalinas que se caracterizan en determinados puntos críticos que ocurren en el calentamiento a temperaturas adecuadas, su mantenimiento a dicha temperatura y enfriamiento conveniente de piezas metálicas acorde a regímenes determinados con el propósito de modificar interiormente u exteriormente la estructura, propiedades y características mecánicas de un metal o aleación en estado sólido.

El tratamiento térmico tiene como objetivo endurecer o ablandar el material, modificando la estructura cristalina ya sea total o parcialmente las características mecánicas del metal para mejorar la maquinabilidad o facultad de mecanizado o por ende eliminar las consecuencias del mecanizado.

Los tratamientos térmicos constituyen la base de utilización del acero, cualquier proceso de tratamiento térmico puede ser descrito mediante un diagrama en coordenadas temperatura-tiempo como se muestra en la fig1.

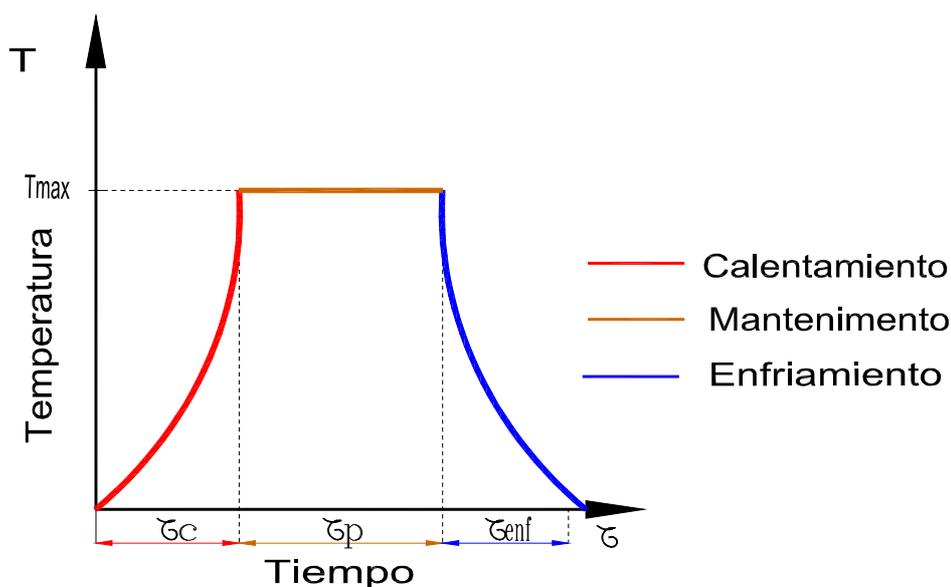


Figura1. Diagrama de Tratamiento Térmico.

Los parámetros que se deben tener en cuenta en los tratamientos térmicos son:

Temperatura máxima de calentamiento (Tmax).- es la temperatura máxima hasta la cual se calienta la pieza metálica o aleación durante el tratamiento térmico.

Tiempo de calentamiento (ζ_c).- es el tiempo que la aleación tarda hasta llegar a la temperatura de calentamiento determinada.

$$\zeta_c = \frac{T_{\max}}{V_c}$$

Tiempo de permanencia (ζ_p).- es el tiempo durante el cual la aleación permanece a la temperatura máxima de calentamiento.

Tiempo de enfriamiento (ζ_{enf}).- es el tiempo que la aleación tarda hasta llegar a la temperatura ambiente.

Velocidad de calentamiento (V_c).- la velocidad de calentamiento es igual a la temperatura máxima de calentamiento dividida para el tiempo de calentamiento.

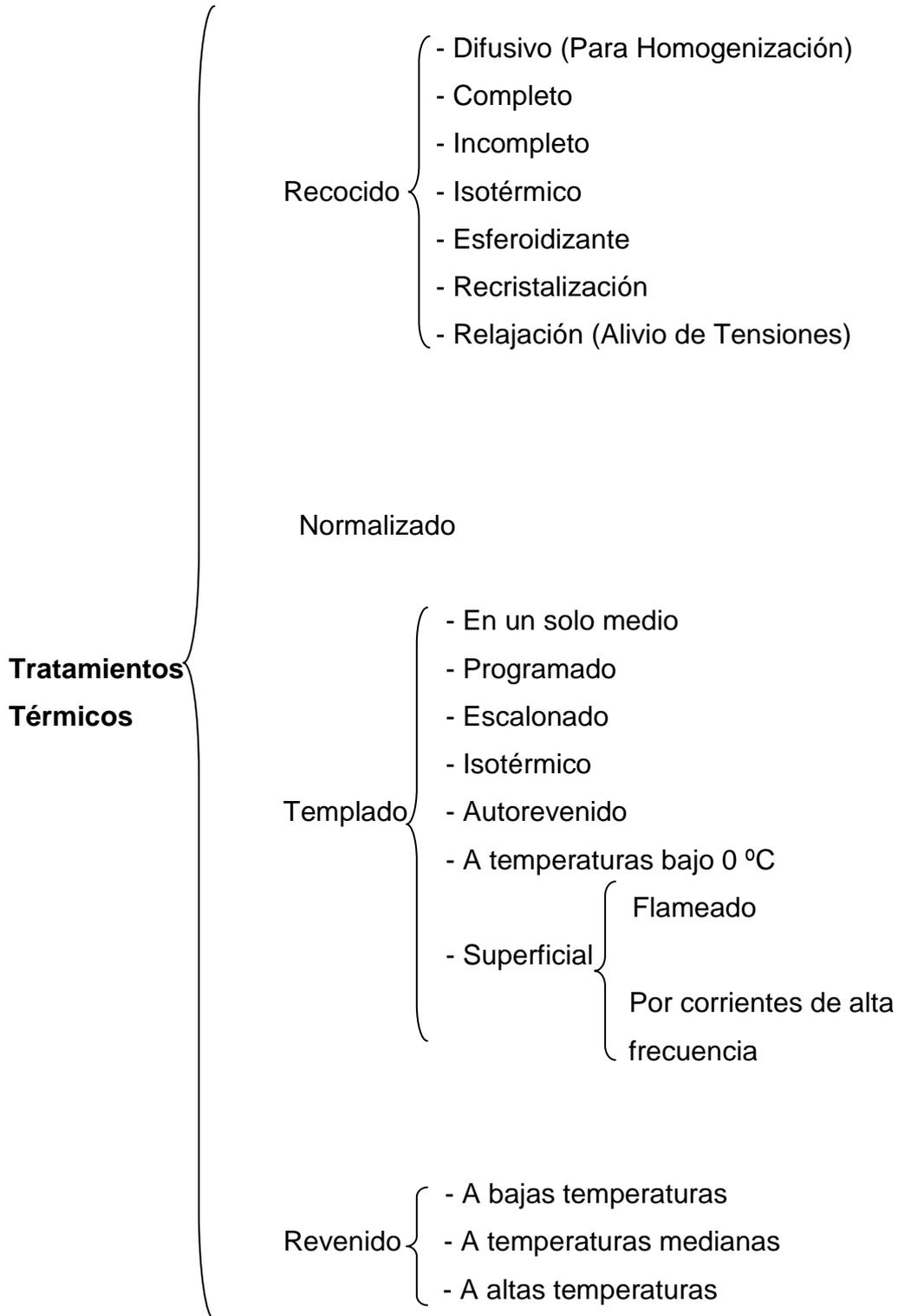
$$V_c = \frac{T_{\max}}{\zeta_c}$$

Velocidad de enfriamiento (V_f).- la velocidad de enfriamiento es igual a la temperatura máxima de calentamiento dividida para el tiempo de enfriamiento.

$$V_f = \frac{T_{\max}}{\zeta_{enf}}$$

1.2. Clasificación de los Tratamientos Térmicos

Las aleaciones y metales pueden estar constituidos por uno o más elementos, el tipo de tratamiento térmico puede variar en la dirección según la composición del material y lo que se desee obtener en el material a tratar, es por eso que los tratamientos térmicos pueden clasificarse de la siguiente manera:



1.2.1. Recocido

Es un proceso de tratamiento térmico, el que consiste en el calentamiento del acero hasta una determinada temperatura, el mantenimiento a esta temperatura y seguido de un enfriamiento lento con el fin ablandar el material, reducir su dureza,

reducir el tamaño de grano, regenerar la estructura o eliminar tensiones internas. Existe una variedad de recocidos, y son; difusivo, completo, incompleto, isotérmico, esferoidizante, recristalización, relajación o alivio de tensiones.

Recocido difusivo (Para homogenización).- este tratamiento térmico se emplea para aceros hipoeutectoides en la reducción de la heterogeneidad química de los grandes lingotes de acero, molduras perfiladas.

Como se lo realiza.- este proceso consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

T_{max} de 1000°C a 1150°C

$V_c = 100^\circ$ a 150°C/hr

$\tau_p = 8 - 15$ horas

$V_f = 100^\circ$ a 200°C/hr

El enfriamiento es lento y se debe realizar con el horno en la mayoría de casos, fig2.

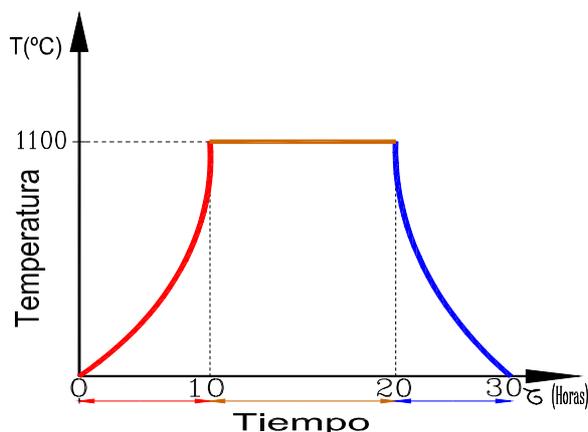


Figura.2. Recocido difusivo para acero 1% de Carbono ($V_c=110^\circ\text{C/h}$ y $V_f=110^\circ\text{C/h}$).

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

El grano del material tratado es de tamaño y forma homogénea, por las altas temperaturas que se alcanzan se obtiene un grano grueso.

La composición química del material es homogénea.

Las impurezas del material están distribuidas en forma homogénea.

Homogeneidad en sus propiedades.

Estructura de equilibrio.

Recocido completo.- este tratamiento térmico se emplea para aceros hipoeutectoides para materiales que han sido trabajados en caliente como piezas forjadas, moldeadas, estampadas, procesos de soldadura y piezas que vengan de ser trabajadas a altas temperaturas, fig3.

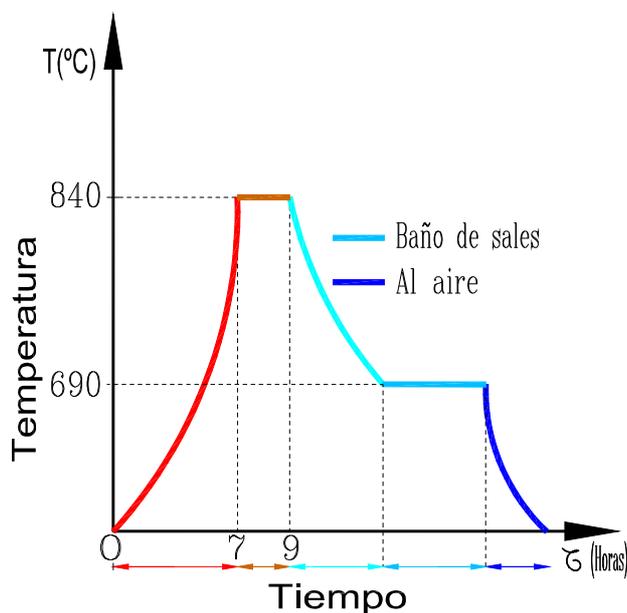


Figura 3. Para acero de 0.5% de Carbono ($V_c=120^\circ\text{C/h}$).

Como se lo realiza.- este proceso consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

Estructura de fase inicial \rightarrow Ferrita + Perlita

T_{max} de 30°C a 50°C sobre la T_{Ac3}

V_c de 100° a 150°C/hr

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

V_f de 100° a 200°C/hr

El enfriamiento es lento, algunas recomendaciones del fabricante dan algunas pautas sobre de tiempo de calentamiento.

Piezas cilíndricas.

Horno a temperatura de 600°C 100 seg. Por cada mm de diámetro.

Horno a temperatura de 800°C 50 seg. Por cada mm de diámetro.

En baño de sales a 800°C 25 seg. Por cada mm de diámetro.

En baño de plomo a 800°C 10 seg. Por cada mm de diámetro.

Si las piezas son de sección cuadrada el tiempo será 1.5 veces sin son planchas 2 veces.

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

La Ferrita + Perlita se transforma en Austerita.

El grano del material tratado es fino.

Disminución de la dureza.

Homogeneidad de la composición química de las fases existentes.

Recristalización completa.

Recocido Incompleto.- este tratamiento térmico se emplea para aceros hipereutectoides, como su nombre lo indica es incompleto debido a que no cambia en totalidad su estructura de fase inicial como se verá en los resultados después de la aplicación de este tratamiento térmico, y se lo emplea para materiales que han sido trabajados en caliente, es decir las mismas dificultades de los materiales del recocido completo, fig4.

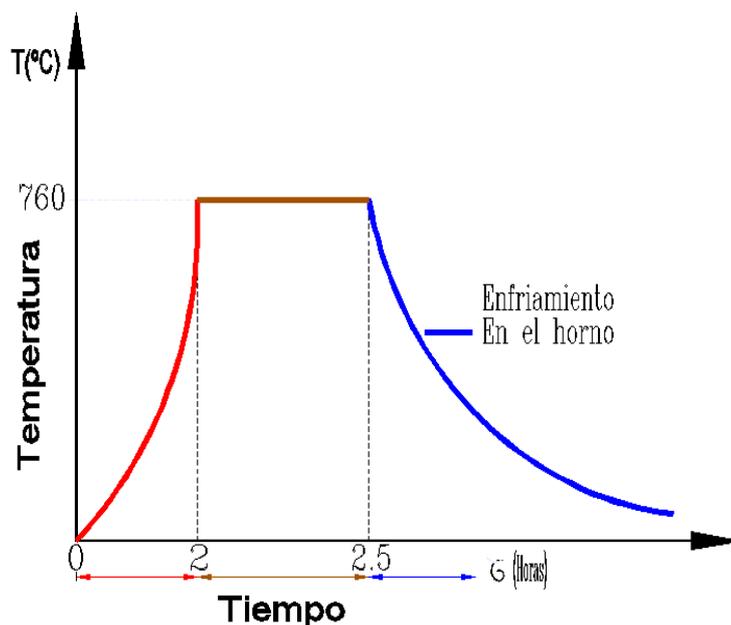


Figura 4. Para un acero de 1.5% de Carbono ($V_c=127^\circ\text{C/h}$).

Como se lo realiza.- este proceso consiste en tres operaciones la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

Estructura de fase inicial \rightarrow Perlita + Cementita

T_{max} de 30°C a 50°C sobre la T_{Ac1} , es decir de 753° a 773°C

$$V_c = 100^\circ \text{ a } 150^\circ\text{C/hr}$$

$$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$$

$$V_f = 100^\circ \text{ a } 200^\circ\text{C/hr}$$

El enfriamiento es lento, al igual que el recocido completo.

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

La Ferrita + Cementita se transforma en Austenita + Cementita.

El grano del material tratado es fino.

Disminución de la dureza.

Elimina tensiones internas.

Mejora la maquinabilidad de material tratado.

Recocido Isotérmico.- este tratamiento térmico se emplea tanto para aceros hipoeutectoides como para aceros hipereutectoides, este tipo de recocido es distinto de los anteriores debido a la desintegración de la Austenita en la Ferrita y Cementita, este tipo de recocido se lo realiza a temperatura constante. Una vez realizada la desintegración de la Austenita, la velocidad de enfriamiento no tiene mayor importancia, por ende después de la transformación isotérmica se puede enfriar al aire.

Como se lo realiza.- este proceso consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

Aceros Hipoeutectoides:

Estructura de fase inicial → Ferrita + Perlita



Austenita

$T_{max} = 30^\circ\text{C a } 50^\circ\text{C sobre la } T_{Ac3}$

$$V_c = 100^\circ \text{ a } 150^\circ\text{C/hr}$$

$$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$$

Enfriamiento: en una sal fundida a temperatura inferior a T_{Ac1} (680° a 700°C) hasta la completa transformación de la Austenita en Perlita y luego se enfría al aire.

Aceros Hipereutectoides:

Estructura de fase inicial → Perlita + Cementita



Austenita + Cementita

$T_{max} = 30^{\circ}-50^{\circ}\text{C}$ sobre la T_{Ac1} , es decir $753^{\circ}-773^{\circ}\text{C}$

$V_c = 100^{\circ}$ a 150°C/hr

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

Enfriamiento: en una sal fundida a temperatura inferior a T_{Ac1} (680° a 700°C) hasta la completa transformación de la Austenita en Perlita y luego se enfría al aire, fig5.

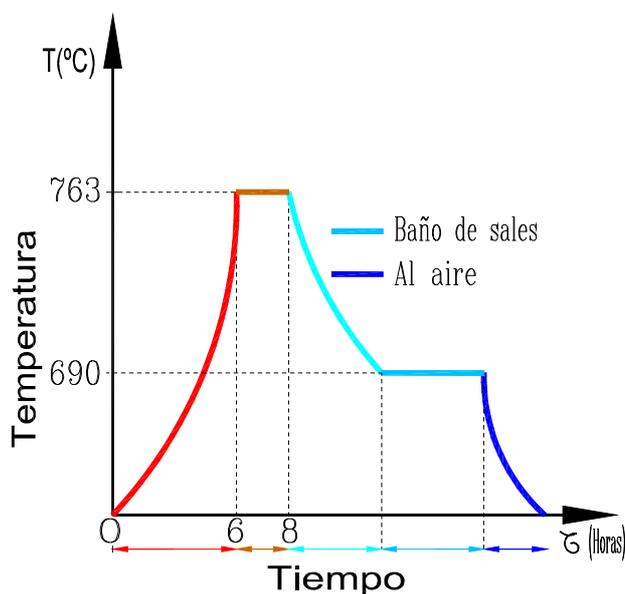


Figura 5. Para un acero de 1.5% de Carbono ($V_c=127^{\circ}\text{C/h}$).

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

- El grano del material tratado es fino.
- Disminución de la dureza.
- Elimina tensiones internas.
- Mejora la maquinabilidad de material tratado.
- Estructura homogénea.

Recocido esferoidizante.- este tratamiento térmico se emplea para aceros que van a ser sometidos a mecanizado que posean una estructura Perlitica laminar la cual a través de este tratamiento térmico se lograra transformar en Perlita

granular, esferoidizada. Este tipo de recocido se emplea para aceros con un porcentaje de carbono mayor del 0.65 % de C.

Como se lo realiza.- este proceso consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

Estructura de fase inicial → Perlita (Ferrita+Cementita) laminar

↓

Perlita (Ferrita+Cementita) globular, esferoizada.

$T_{max} = 780^{\circ}$, la temperatura de calentamiento debe ser mayor de T_{Ac1}

$V_c = 100^{\circ}$ a 150°C/hr

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

Enfriamiento: después de la permanencia a T_{maxc} de 780°C se enfría inicialmente hasta los 500°C , seguido de un tiempo de permanencia, luego se calienta hasta 600°C , seguido de un tiempo de permanencia, y en adelante al aire, fig6.

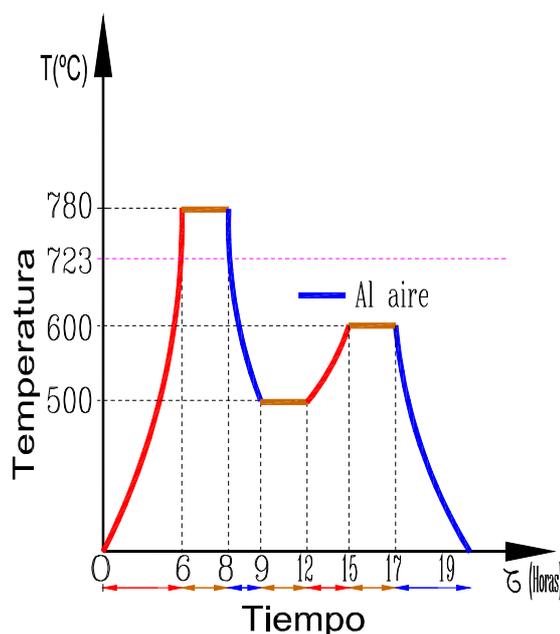


Figura 6. Para un acero de 1.5% de Carbono ($V_c=130^{\circ}\text{C/h}$)

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

Mejora la maquinabilidad del acero tratado.

Disminución de la dureza.

Recocido de recristalización.- este tratamiento térmico se emplea para aceros que han sido sometidos a procesos de deformación en frío como, laminado, estampado, embutido, trefilado, etc.

Al ser sometidos a procesos de deformación frío el acero se endurece, denomina como acritud.

Como se lo realiza.- este proceso consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

$T_{max} = (500^{\circ}-700^{\circ}C)$, la temperatura de calentamiento debe ser inferior de T_{Ac_1} .

$V_c = 100^{\circ}$ a $150^{\circ}C/hr$.

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

Enfriamiento: retardado.

El recocido de recristalización se utiliza con frecuencia como una operación intermedia de los procesos tecnológicos de deformación en frío, por ello se dan unas recomendaciones sobre las temperaturas de recristalización en las aleaciones, fig7.

Para metales y aleaciones técnicamente finas;

$$T_{recr.} = \alpha \cdot T_{fusión}$$

$\alpha =$ Coeficiente $\rightarrow 0.3$ a 0.4

Para aleaciones de soluciones sólidas;

$$T_{recr.} = \alpha \cdot T_{fusión}$$

$\alpha =$ Coeficiente $\rightarrow 0.5$ a 0.6

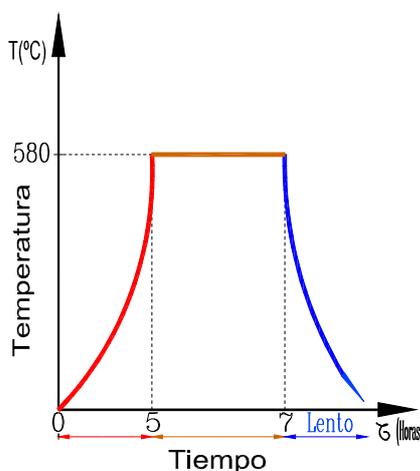


Figura 7. Acero de 0.5% de Carbono, $T_f = 1450^{\circ}C$ y $\alpha = 0.4$, $T_{recr.} = 580^{\circ}C$

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

Mejora la maquinabilidad del acero tratado.

Disminución de la dureza.

Al material se puede seguir deformando.

Recocido de relajación o alivio de tensiones.- este tratamiento térmico se emplea para aceros que provienen de procesos como la fundición, forja, soldadura, mecanizado y tiene como finalidad reducir las tensiones internas provocadas por los procesos indicados, fig8.

Como se lo realiza.- esta operación consiste en la temperatura de calentamiento, velocidad de calentamiento, tiempo de permanencia, y velocidad de enfriamiento que son:

$T_{max} = (550^{\circ}-600^{\circ}C)$, la temp. de calentamiento debe ser inferior de T_{Ac_1} .

$V_c = 100^{\circ}$ a $150^{\circ}C/hr$.

$\tau_p = 1$ a 2 horas

Enfriamiento: muy lento, puede enfriarse con el horno o en baño de sales.

Resultados.- los resultados tras la aplicación de este tratamiento térmico en el acero son los siguientes:

Mejora la maquinabilidad del acero tratado.

Disminución de la dureza.

Reduce o elimina las tensiones internas.

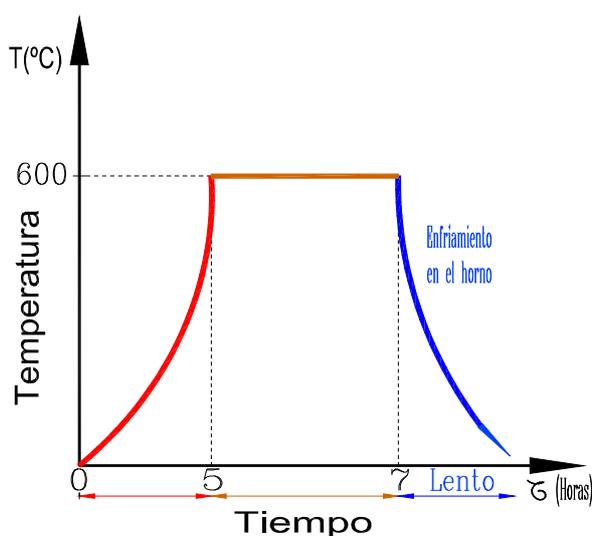


Figura 8. Para acero con 0.4% de Carbono

1.2.2. Normalizado.

Es un proceso de tratamiento térmico más corto que el recocido, y consiste en el calentamiento del acero hasta una determinada temperatura, el mantenimiento a esta temperatura y seguidos de un enfriamiento al aire.

Este tratamiento térmico se lo puede emplear tanto para aceros hipoeutectoides como para hipereutectoides, sabiendo que si aumenta el contenido de carbono en un acero, varían las propiedades según la cantidad que posean un acero en el recocido y normalizado, así para aceros con un contenido de carbono de hasta el 0.2% de C es preferible el normalizado, para aceros hasta el 0.4% de C la dureza es equivalente tanto en el recocido como en el normalizado, si poseen una contenido mayor de 0.4% de C en el normalizado se obtendrá una mayor dureza.

A que materiales se lo puede aplicar el normalizado.

Aceros que provienen de:

- Recocido de homogenización
- Piezas soldadas
- Piezas fundidas
- Piezas forjadas o mecanizadas

Como se realiza un normalizado.

Aceros Hipoeutectoides:

Estructura de fase inicial → Ferrita + Perlita

↓

Austenita

$T_{max} = 30^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$ sobre la T_{Ac3}

$V_c = 150^{\circ}C/hr$

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

Enfriamiento: al aire, fig9.

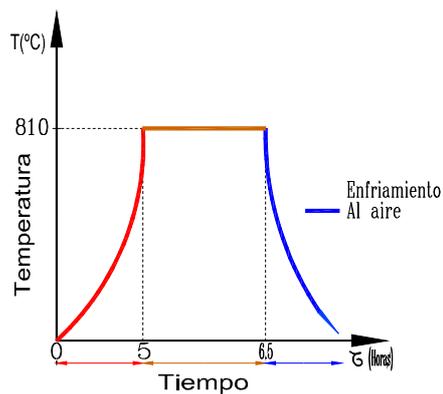


Figura 9. Para acero con 0.6% de Carbono

Aceros Hipereutectoides:

Estructura de fase inicial → Perlita + Cementita



Austenita

$T_{max} = 30^{\circ}\text{-}50^{\circ}\text{C}$ sobre la T_{Ac_m}

$V_c = 150^{\circ}\text{C/hr}$

$\tau_p = \frac{1}{4} \tau_c$

Enfriamiento: al aire, fig10.

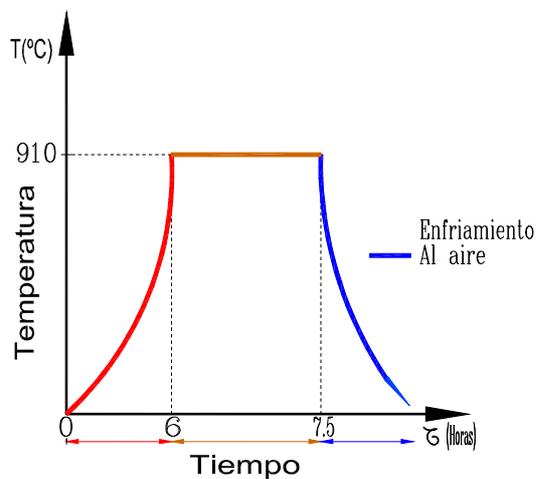


Fig.10. Para acero con 1.3% de Carbono

Resultados.

Mejora sus propiedades mecánicas

Mejora la maquinabilidad del acero tratado.

Disminución de la dureza.

Reduce o elimina los esfuerzos internos.

Afinamiento de grano.

El normalizado es un tratamiento típico de los aceros al carbono de la construcción de 0.15% a 0.40% de C, y rara vez empleados en aceros de herramientas. Las temperaturas de normalizado recomendadas para estos aceros son las que se indican en la siguiente tabla I.

Composición % de C	Temperatura °C
0.10	935°
0.20	910°
0.30	880°
0.40	860°
0.50	840°

Tabla I, temperaturas recomendadas para el normalizado de aceros según el % de C.

1.2.3. Templado.

El tratamiento térmico de templado consiste en el calentamiento del acero a tratar hasta la temperatura requerida para temple, seguido de un tiempo de manteniendo a la temperatura de calentamiento, y finalmente de un rápido enfriamiento del acero a una velocidad de enfriamiento mayor que la velocidad crítica (V_{crit} - es la mínima velocidad de enfriamiento, que garantiza que la Austenita se transforme en Martensita sin la presencia de estructura Perlitica, fig. 11). El temple tiene como objetivo aumentar la dureza y la resistencia de los aceros.

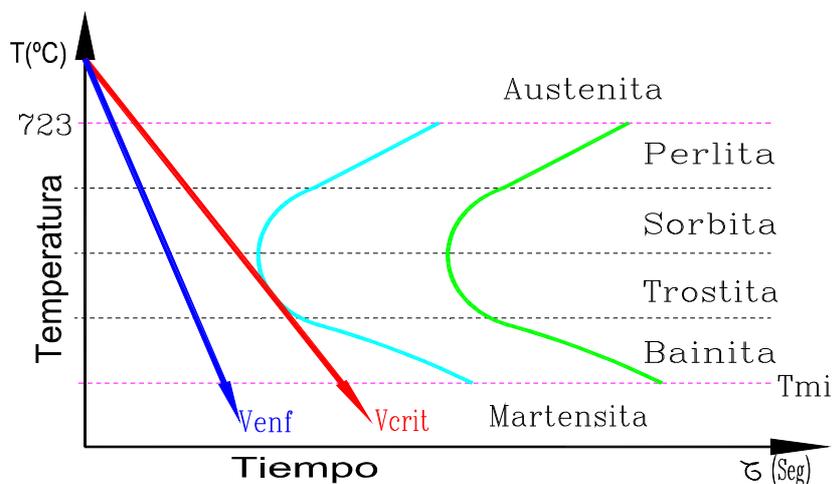


Figura 11. Velocidad de enfriamiento y velocidad crítica.

Parámetros fundamentales de temple (fig12).

Temperatura de calentamiento

Tiempo de permanencia

Velocidad de enfriamiento

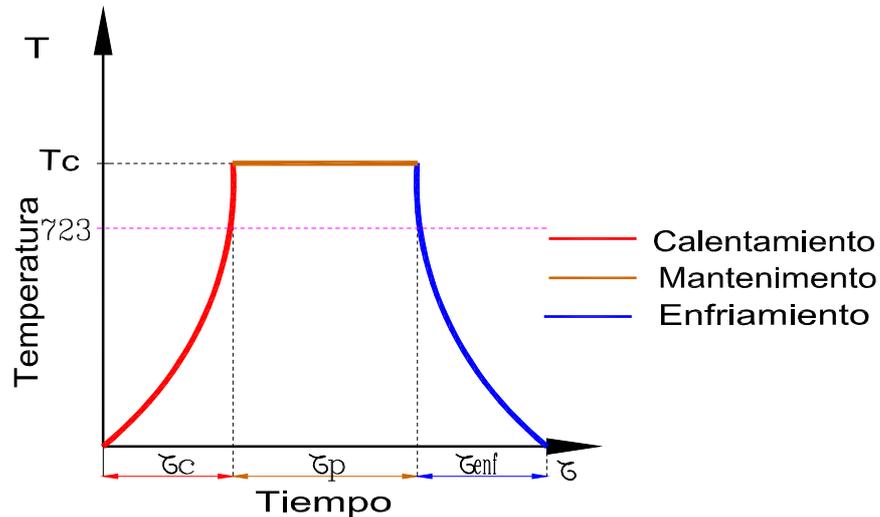


Figura 12. Temple.

Temperatura de calentamiento de temple.

El tiempo de calentamiento debe ser el necesario para que el acero a templar se caliente uniformemente por todo el volumen con el fin de obtener una estructura Austenítica.

La temperatura de calentamiento es la primera etapa de todo proceso de tratamiento térmico, esta depende del porcentaje de carbono que posea la pieza como se indica a continuación.

Aceros Hipoeutectoides:

Estructura de fase inicial → Ferrita + Perlita

↓

Austenita

↓

Martensita.

$T_{max} = 30^{\circ}\text{C}$ a 50°C sobre la T_{Ac_3}

$V_c = 150^{\circ}\text{C/hr}$

$\tau_p = 1/5\tau_c$

Enfriamiento: al enfriarlo a una $V_{enf} > V_{crit}$ se obtendrá la Martensita.

A este templado se lo conoce como **templado completo**, debido a la transformación total de fase inicial.

Si a un acero hipoeutectoides se le calienta hasta una temperatura mayor T_{Ac1} pero menor T_{Ac3} se tendrá:



$$T_{max} = >T_{Ac1} < T_{Ac3}$$

$$V_c = 150^\circ\text{C/hr}$$

$$\tau_p = 1/5 \tau_c$$

Enfriamiento: al enfriarlo a una $V_{enf} > V_{crit}$ se obtendrá la Martensita junto con zonas Ferríticas, por tal razón el acero templado poseerá una menor dureza ya que la Ferrita constituye un componente blando.

A este templado se lo conoce como templado incompleto, debido a la presencia de zonas Ferríticas.

Aceros Hipereutectoides:

Estructura de fase inicial = Perlita + Cementita

↓

Austenita + Cementita

↓

Martensita + Cementita + Austenita retenida.

$$T_{max} = 30^\circ\text{-}50^\circ\text{C sobre la } T_{Ac1}, 760^\circ\text{-}790^\circ$$

$$V_c = 150^\circ\text{C/hr}$$

$$\tau_p = 1/5 \tau_c$$

Enfriamiento: al enfriarlo a una $V_{enf} > V_{crit}$ se obtendrá la Martensita + Cementita, y la estructura del acero templado estará compuesta Martensita + Cementita con un pequeño contenido de Austenita retenida.

La presencia de Cementita aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.

Si a un acero hipereutectoide se calienta a una temperatura superior a T_{Ac_m} se tendrá:

Estructura de fase inicial = Perlita + Cementita



Austenita + Cementita



Austenita



Martensita + Austenita retenida.

$T_{max} = 30^{\circ}-50^{\circ}C$ sobre la T_{Ac1} , $760^{\circ}-790^{\circ}$

$V_c = 150^{\circ}C/hr$

$\tau_p = 1/5\tau_c$

Enfriamiento: al enfriarlo a una $V_{enf} > V_{crit}$ se obtendrá la Martensita, y la estructura del acero templado estará compuesta Martensita con un elevado contenido de Austenita retenida, la cual disminuye la dureza en el acero tratado.

Todos los aceros hipereutectoides son sometidos a temple incompletos, debido a la presencia de estructura Austenítica y de Cementita.

La Austenita se transforma en Martensita a una cierta temperatura denominada T_{Mi} (Temperatura de comienzo de transformación Martensítica), para la transformación es importante un enfriamiento ininterrumpido de la Austenita hasta una $T_{Mi} > T_{Mf}$, una vez que se alcanza la T_{Mf} termina la transformación de Austenita en Martensita. Tanto T_{Mi} como T_{Mf} no depende de la velocidad de enfriamiento, sino de la composición química del acero, es decir depende del contenido de carbono que posea el acero, mientras más alto sea el contenido de carbono mayor serán las posibilidades de templeado.

La velocidad de calentamiento puede variar según el equipamiento que se tenga, los más comunes son los siguientes:

En hornos eléctricos soplados con aire la velocidad es de 0.8 – 1 minuto por 1 mm de sección.

En hornos de baño de sales esta velocidad es 1.5 – 2 minutos por 1mm de sección, y en metal fundido (plomo) 4 – 5 minutos por 1 mm de sección.

Una recomendación es no introducir piezas frías con diámetros de 20cm, en hornos cuyas temperaturas oscilen $400^{\circ}C$ y superiores a esta, debido a que el

material relativamente frío es poco plástico y por ende no admitirá deformaciones creando agrietamientos y finalmente roturas.

Tiempo de permanencia.

La permanencia debe ser la suficiente para alcanzar la uniformización entre el núcleo y la periferia de la pieza, las piezas de mayor espesor necesitan un mayor tiempo de permanencia que las piezas de menor espesor para lograr que la temperatura sea uniforme hasta el núcleo de la misma. Por lo general el tiempo de permanencia es así, $\tau_p = 1/5 \tau_c$, para conseguir que la pieza este formada por cristales austeníticos. El tiempo de permanencia depende de la masa de la pieza, de la temperatura, velocidad de calentamiento, y del tipo de acero.

Velocidad de enfriamiento.

La velocidad de enfriamiento dependerá del medio de enfriamiento en el cual se realiza la operación de temple, el medio de enfriamiento debe garantizar una alta velocidad de enfriamiento para evitar la aparición de estructura Perlítica. Es prudente realizar un enfriamiento lento en la zona de transformación Martensítica, es decir en el rango de temperatura de comienzo de transformación de la Martensita (T_{Mi}), y la temperatura de finalización de la Martensita (T_{Mf}), para reducir las tensiones internas provocadas por un enfriamiento muy rápido.

Los medios de enfriamiento que se pueden utilizar en el temple pueden ser; agua, soluciones de agua y diversas sales, aceites, aire, plomo.

Durante el enfriamiento en el temple se pueden distinguir tres etapas, fig13:

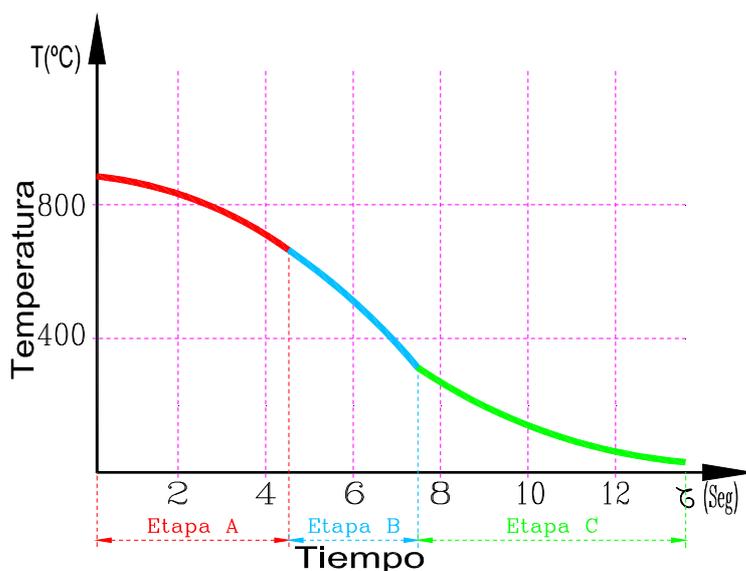


Figura 13. Etapas durante el enfriamiento en Temple.

Etapa A.- al momento de la inmersión de la pieza en el medio para templar ya sea agua o aceite alrededor de la pieza se forma una capa de vapor, o camisa de vapor a través de la cual la velocidad de enfriamiento de la pieza se produce relativamente lento y se evacua el calor, esta etapa se denomina “Ebullición con Película”.

Etapa B.- la camisa de vapor se destruye y el fluido refrigerante entra en contacto con la pieza caliente formando en la superficie de contacto burbujas, en esta etapa la velocidad de enfriamiento es rápida, esta etapa se denomina “Efervescencia de Burbujas”.

Etapa C.- esta etapa consiste en la evacuación de calor por convección con una velocidad de enfriamiento pequeña, la temperatura de la superficie de la pieza es inferior a la temperatura de ebullición del fluido.

El agua como medio de enfriamiento tiene una alta velocidad de enfriamiento, pero tiene algunas inconvenientes; su capacidad de enfriamiento disminuye bruscamente al elevarse su temperatura, posee alta velocidad de enfriamiento a las temperaturas de formación de la Martensita, para mejorar estos inconvenientes, se puede utilizar sales disueltas en agua.

Dependiendo de la configuración de la pieza, del tipo de acero de las propiedades requeridas, se aplican diferentes métodos de temple.

Temple en un solo medio.

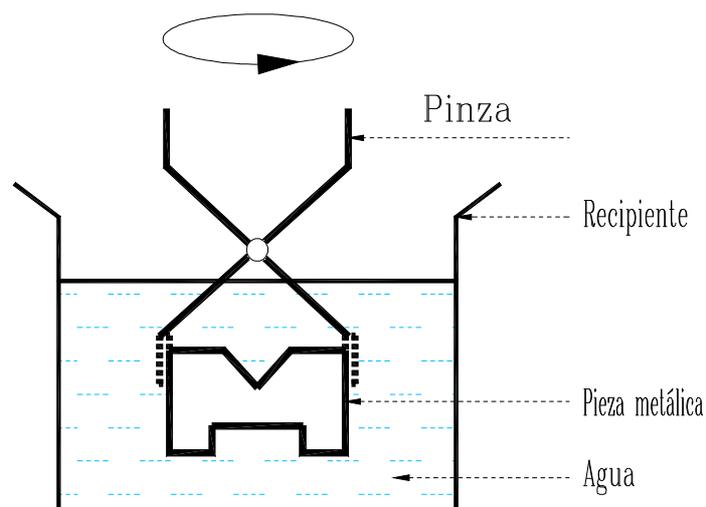


Figura 14. Pieza sumergida en agua para templar.

La pieza o herramienta se calienta hasta la temperatura de temple su manteniendo a esta temperatura y el posterior enfriamiento que se lo realiza sumergiendo la pieza en un solo medio de enfriamiento, este medio puede ser agua, (ver fig11 y 14) y sus soluciones, aceite, etc.

Si el medio de enfriamiento es un fluido, para un enfriamiento uniforme una vez ya sumergida la pieza, debe ser desplazada hacia arriba y abajo o en forma circular. Este proceso de temple en un solo medio también tiene una desventaja, la cual se origina por un enfriamiento de modo irregular, creando considerables tensiones internas las cuales pueden provocar la aparición de grietas en la pieza tratada.

Temple programado.

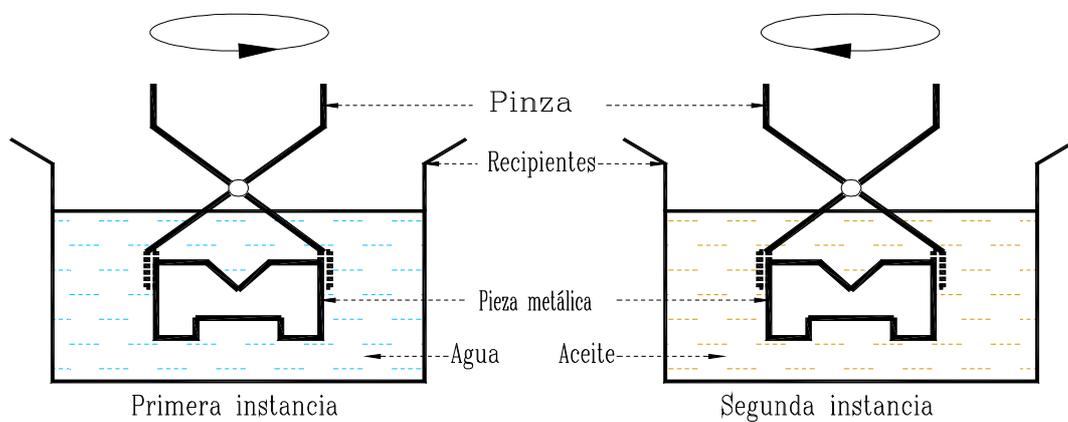


Figura 15. Instancia de enfriamiento.

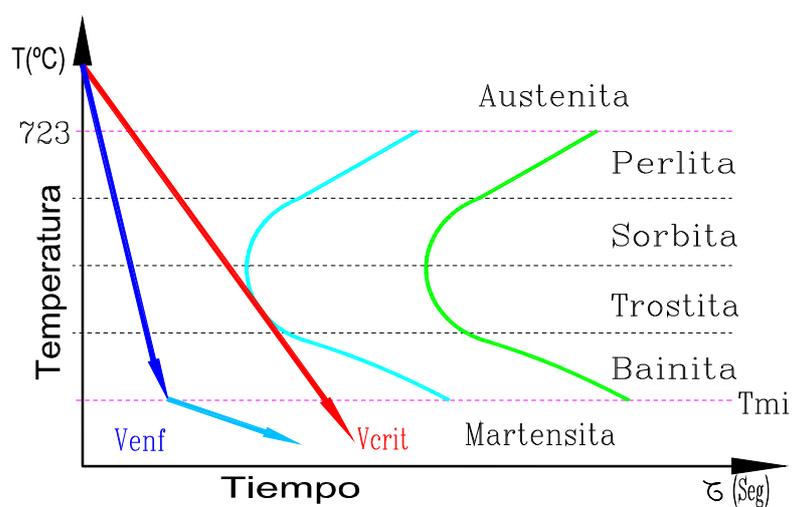


Figura 16. Velocidad de enfriamiento.

La pieza o herramienta se calienta hasta la temperatura de temple su mantenimiento a esta temperatura y el posterior enfriamiento, el cual en una primera instancia será en agua hasta llegar a una temperatura un poco mayor a la temperatura de comienzo de transformación de la Martensita (T_{Mi} , fig16) y en una segunda instancia muy rápidamente se traslada la pieza a otro medio de enfriamiento lento como el aceite, en cual se deja la pieza enfriar hasta una temperatura que oscile entre los 20°C (fig15), en esta segunda instancia impide que en el momento de temple (en la transformación de austenita en martensita), las diferencias de temperatura en las masas sean demasiado grandes y se desarrollen tensiones que puedan dar lugar a grietas y deformaciones.

Temple escalonado.

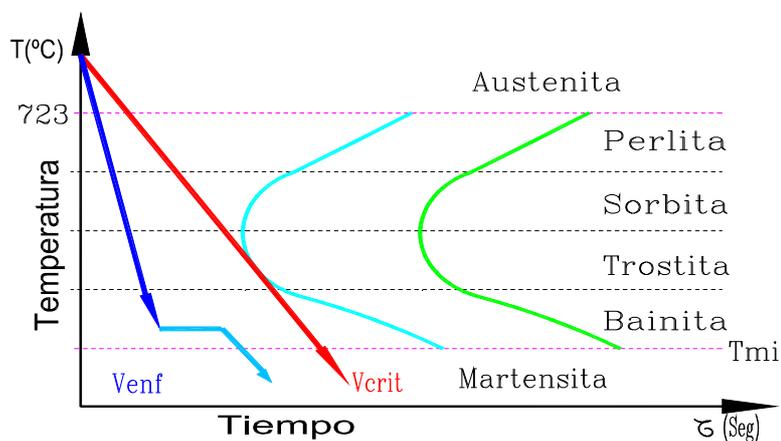


Figura 17. Velocidad de enfriamiento.

La pieza o herramienta se calienta hasta la temperatura de temple su mantenimiento a esta temperatura y el posterior enfriamiento, el cual en una primera instancia se enfría en el medio de enfriamiento que puede ser sales fundidas o baño de sales (200° - 400°C) con una temperatura algo superior a la temperatura de comienzo de transformación de la Martensita (T_{Mi}), manteniéndolo un tiempo que debe controlarse cuidadosamente y sea suficiente hasta que la temperatura se equilibre en toda la sección de la pieza, este mantenimiento no debe ser muy prolongado para que la austenita no se transforme en bainita, fig17.

Luego de haber realizado con éxito el primer enfriamiento se enfría finalmente al aire, momento en el cual la austenita se transforma en martensita.

En esta operación de temple se reduce las variaciones volumétricas, las deformaciones y el peligro de que se formen grietas.

Temple isotérmico.

Este proceso de tratamiento térmico se produce de la misma forma que el templado escalonado, con la particularidad de que el mantenimiento en el medio a templar es más prolongado que en el templado escalonado, durante esta permanencia se produce la transformación isotérmica de la Austenita formando estructura Bainítica ($230^{\circ} - 250^{\circ}\text{C}$), fig18.

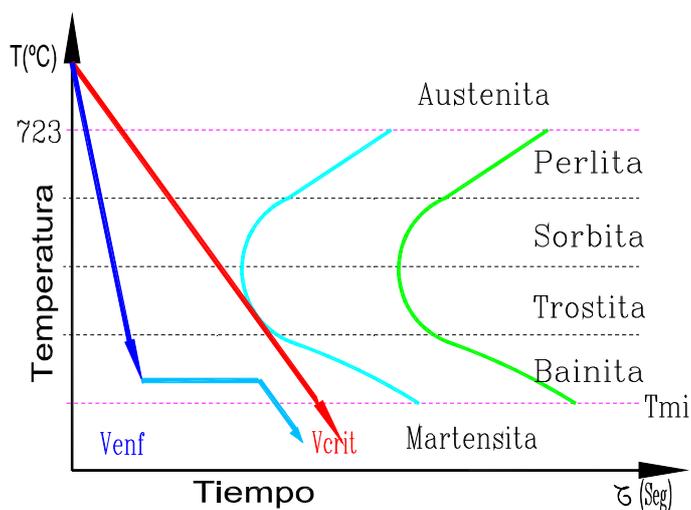


Figura 18. Velocidad de enfriamiento.

Generalmente a este proceso de templado se someten los aceros aleados. Como medio de enfriamiento en este proceso de temple se emplean baños de sales.

Temple con autorevenido.

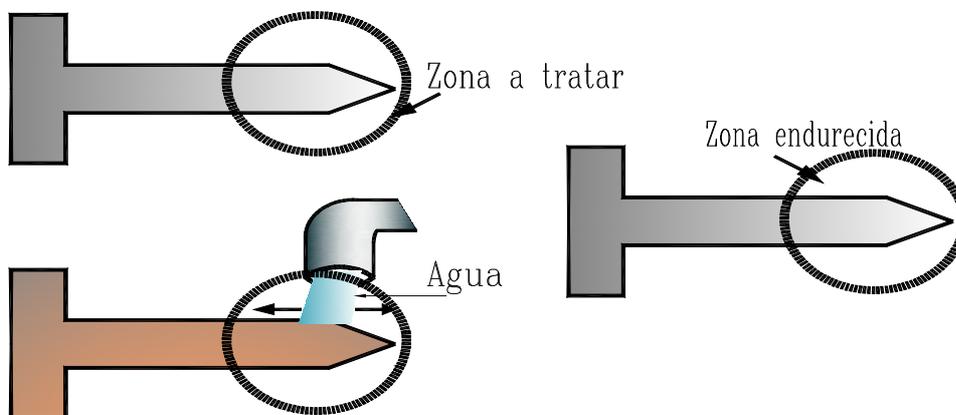


Figura 19. Templado de la punta de cincel.

Se sigue los mismos pasos que los temple anteriores con la particularidad que en este proceso solo la parte de trabajo de la pieza se sumerge en el medio refrigerante sacándola después de una breve permanencia, la parte de la pieza sumergida en el refrigerante se calienta nuevamente por el calor de la parte de la pieza que no fue sumergida en el refrigerante, fig19. La temperatura de revenido se determina por los colores de revenido que aparecen en la superficie de la pieza.

Temple a temperaturas bajo cero.

El temple bajo cero se lo realiza inmediatamente después de haber realizado un temple normal. El temple bajo cero consiste en la continuación del enfriamiento de un acero templado hasta una temperatura inferior a $+20^{\circ}\text{C}$ pero no menor que el punto de fin de transformación de la Martensita (M_{fin}).

Este tratamiento se aplica en los aceros que después de haber sido templados normalmente en agua o aceite, conservan en su estructura una cierta cantidad de Austenita residual sin transformar, la finalidad de este proceso es transformar dicha Austenita residual en Martensita.

Para realizar un temple bajo cero hay que primero realizar un temple normal hasta llegar a la temperatura ambiente, inmediatamente llevar a la pieza tratada al segundo paso el cual consiste en llevar a la pieza a un medio de enfriamiento bajo los 0°C , para llegar a esta temperatura se pueden usar algunas de las siguientes mezclas frigoríficas tabla III.

<i>Mezcla frigorífica</i>	<i>Temperatura (° C)</i>
Hielo + NaCl	- 21.5
Anhídrido carbónico(hielo seco) + Acetona	-78
Nitrógeno líquido	-190

Tabla III, mezclas frigoríficas.

Este proceso de temple es aplicable a aceros cuyo punto de fin de transformación de la Martensita M_f , este situado a temperaturas inferiores a la del ambiente, por lo general cuando al tratar aceros al carbono este proceso de temple es dable para aceros cuyo contenido de carbono sea superior a 0.68% de carbono.

Temple superficial.

El temple superficial tiene como finalidad endurecer únicamente la capa superficial, con el fin de obtener en la superficie de la pieza una estructura martensítica, conservando su núcleo blando. Para el endurecimiento de la superficie de una pieza se calienta dicha superficie hasta la temperatura de temple y posteriormente es enfriada.

Temple por flameado.

Se recomienda aplicar este tipo de temple a aceros comprendidos entre 0.30 a 0.60% de C, para evitar posibles descarcamientos superficiales.

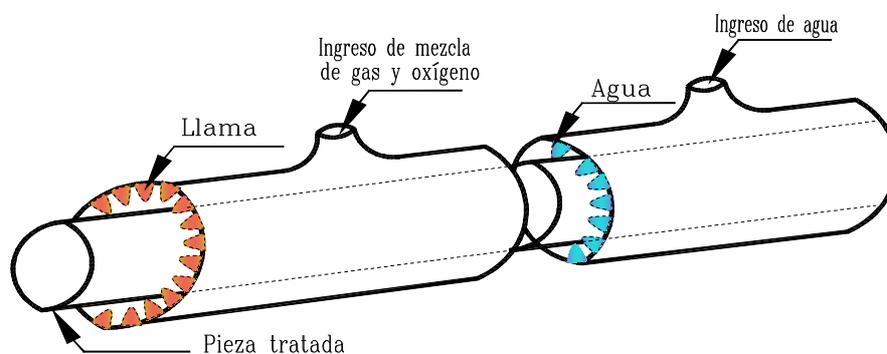


Figura 20. Temple superficial por flameado de eje.

Este procedimiento consiste en el calentamiento de la capa superficial mediante un soplete de oxiacetilénico hasta una temperatura algo superior de 100° a 200°C sobre la temperatura de temple, y posteriormente se enfría rápidamente con chorros de agua, fig20, el espesor de la capa endurecida mediante el temple por flameado será de 2 a 5mm de espesor.

Temple por corrientes de alta frecuencia.

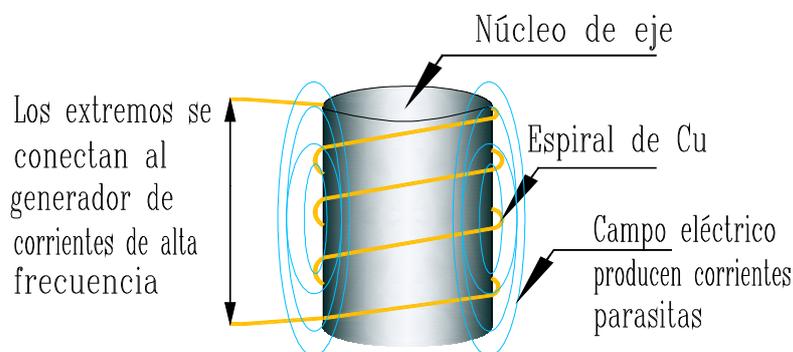


Figura 21. Temple superficial por corrientes de alta frecuencia de un eje.

El temple superficial por corrientes de alta frecuencia es empleado para endurecer la capa superficial de piezas de diversa configuración, este templado se efectúa colocando la pieza al interior de una espira o conjunto de espiras de cobre de una forma apropiada, a través de las cuales se hace circular una corriente eléctrica de alta frecuencia la cual genera un campo magnético y corrientes parásitas que calienta la pieza a una elevada temperatura en muy pocos segundos, y posteriormente se enfría rápidamente con chorro de agua o introduciendo la pieza en agua o aceite, este tipo de templado superficial se diferencia de otros temples superficiales, porque el calor se genera en la propia pieza, mientras que en otros tipos de temples, se calienta la pieza a templar en hornos, en baños de sales, con soplete, entre otros, el calor se prolonga desde la superficie exterior de la pieza hacia el centro de la misma por conductividad térmica.

Para producir todas las transformaciones en la pieza de acero es necesario una temperatura de temple la cual debe ser de 100° a 200°C sobre la temperatura normal de temple, esto no provoca el crecimiento de grano de la pieza de acero, y presenta algunas ventajas como; una microestructura más fina, dureza más alta, buena resistencia al desgaste, elevada resistencia mecánica, y límite a la fatiga más alto, fig21.

1.2.4. Revenido.

Es un proceso de tratamientos térmicos que se da a piezas que previamente han sido templadas, y consiste en calentar la pieza hasta una temperatura inferior a T_{A1} , su mantenimiento a esta temperatura prefijada y posteriormente se enfría generalmente al aire.

El revenido es la operación posterior al temple, y se lo hace para reducir las tensiones internas, obtener una estructura de mayor equilibrio, disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, mejora la tenacidad crece la plasticidad, además el acero queda con la dureza o resistencia deseada.

Existen tres tipos de revenidos:

Revenido a bajas temperaturas.

Este tipo de revenido se lo realiza a temperaturas que estén comprendidas entre 80° a 200°C , y es empleado en aceros para reducir el grado de tetragonalidad de la red cristalina de la martensita a causa de la precipitación de un carburo de

hierro ϵ (épsilon), con lo que el contenido de carbono de la martensita baja al 0.25% esta red está enlazada con la martensita.

La precipitación del carburo ϵ se origina en los límites de los subgranos herederos de la austenita, los cuales se siguen manifestando en la martensita, al final de este revenido la pieza tratada quedará con 0.25% de carbono y su red tetragonal se transforma en red cúbica, las tensiones internas disminuyen, la martensita templada se transforma en revenida, por cual aumenta la resiliencia y la plasticidad. La duración del revenido a baja temperaturas es de 1 a 2.5 horas y se enfría al aire.

Revenido a temperaturas medianas.

Esta clase de revenido se lo realiza a temperaturas que estén comprendidas entre 350° a 500°C, la finalidad de la aplicación del revenido a temperaturas medianas es la obtención de una estructura de trostita revenida, teniendo en la pieza de acero una elevada tenacidad, disminución de la dureza, reduce tensiones internas, y se adquiere una mejor estabilidad dimensional. La duración del revenido a baja temperaturas es de 1 a 2.5 horas y se enfría al aire.

Revenido a altas temperaturas.

Las temperaturas en las que se realiza este tipo de revenido deben estar comprendidas entre 500° a 600°C, la finalidad de este revenido es conseguir que la martensita se desintegre formando en el material tratado una estructura de sorbita revenida, así se logra en el material un aumento notable de su plasticidad y resiliencia, una fuerte disminución de la dureza, disminución de esfuerzos internos, mejor estabilidad dimensional. La duración del revenido a baja temperaturas es de 1 a 2.5 horas y se enfría al aire.

1.3. Baño de Sales fundidas

Las sales son compuestos binarios que están compuestas por ácidos más hidróxidos y que se funden a una determinada temperatura, un baño de sales fundidas puede estar compuesto por dos o más sales las cuales pueden estar en varias cantidades según sea el tipo de baño de sales fundidas que se vaya a emplear en un tratamiento térmico.

Para realizar el proceso de tratamiento térmico de una pieza de acero existen diversos métodos y uno de los más empleados es el baño de sales fundidas, su

importancia se debe a su uso a nivel comercial y en un grado considerable en laboratorios debido a que suministran una transferencia de calor rápida y una temperatura uniforme en la pieza de acero.

Un baño de sales fundidas está constituido principalmente por cantidades variables de; cloruros, carbonatos, nitratos cianuros de sodio, potasio y bario, dicho baño se emplea para el trabajo en temperaturas que oscilan entre 150° y 1300°C.

El baño de sales fundidas puede ser empleado ya sea, en el enfriamiento de un tratamiento térmico sustituyendo al aceite y al plomo fundido, o para calentar, y para cementarlas o nitrurar una determinada pieza de acero, por lo que en general en la mayoría de casos el baño de sales fundidas se emplean para el calentamiento.

1.4. Clasificación de Baños de Sales

Los baños de sales fundidas se pueden clasificar de acuerdo a su utilización en seis grupos:

Primer Grupo.- este grupo está conformado por sales que se emplean en un intervalo de temperaturas que estén comprendidas entre 150° a 400°C. Este tipo de sales pueden ser empleadas ya sea para enfriar una pieza de acero que a sido calentada a una temperatura de temple en un horno de mufla, o ya sea para calentar una pieza de acero durante un revenido de piezas templadas.

Para estos casos se pueden emplear sales que sean de tipo L-1, L-2 y L-3 de tabla IV, preparadas a base de nitritos y nitratos, las mezclas más utilizadas son de 56% de nitrito potásico (NO_2K) y 44% de nitrito sódico (NO_2Na), que funden a 147°C y pueden emplearse desde 160°C, también se puede utilizar una mezcla de 51.3% de nitrato potásico y 48.7% de nitrato sódico (NO_3Na), que funden a 217°C y pueden usarse desde 245°C.

Segundo Grupo.- está conformado por sales que se emplean para el calentamiento durante el revenido de herramientas y piezas de acero a temperaturas comprendidas entre 400° y 600°C ó para el enfriamiento en un tratamiento isotérmico, para estos casos se emplean sales tipo L-4 y L-5, constituidas en su mayoría en base a cloruros como, el cloruro sódico, cloruro de calcio, cloruro bórico, carbonato sódico, etc.

Tercer Grupo.- en este grupo se encuentran las sales que son empleadas para el calentamiento en el temple de herramientas y piezas de acero en un intervalo de temperaturas comprendidas entre 700° y 950°C, en es te caso se emplean sales del tipo I de la tabla IV, constituidas principalmente a base de cloruros como, cloruro de bario, cloruro potásico, cloruro sódico, y cloruro de calcio.

La finalidad de este tipo de sales es evitar la descarburación de las herramientas y piezas de acero durante el tiempo de calentamiento. Para modificar y mejorar el baño de sales se emplea o se añade al baño pequeñas cantidades de una sal rectificadora, la cual pueden ser el bórax, cianuro sódico o carburo de silicio.

También se suele emplear para estas sales en pequeñas cantidades contenidos de fluoruro sódico y carburo de silicio, inferiores siempre al 5%.

Cuarto Grupo.- en este grupo se encuentran sales que se emplean para el temple a través del proceso de la cementación, este proceso se basa principalmente en cianuros, especialmente el cianuro sódico, con porcentajes variables de cloruro y carbonato sódicos a los que se añade uno o más cloruros o fluoruros de bario, potasio, calcio, o estroncio que actúan como agentes catalíticos, en este caso se emplean sales del tipo C de la tabla IV.

Quinto Grupo.- en este grupo se encuentran sales que se emplean para temple y revenido mediante el proceso de la nitruración en herramientas o piezas de acero, este grupo se constituye principalmente por el empleo de sales como cianuro sódico, cianuro potásico, en este caso se emplean sales del tipo L-4, C-4, C-10, de la tabla IV.

Sexto Grupo.- en este grupo se encuentran sales para el calentamiento en un proceso de templado de aceros rápidos y de alta aleación, en estos casos se empleara sales del tipo H de la tabla IV, estas se utilizan a temperaturas muy elevadas que están alrededor de 1000° a 1300°C, est as están constituidas principalmente por cloruro de bario un 95% aproximadamente y restante 5% de cloruro de sodio, para evitar que con el uso se vuelvan descarburantes se les añade pequeñas cantidades de sílice (SiO₂) en polvo, muy pocas veces también estas sales son preparadas también con pequeñas cantidades de fluoruro de calcio, sílice y bióxido de titanio, en cantidades inferiores al 5%.

Designación	PORCENTAJE EN PESO										Temperatura de fusión °C	Zona de temperaturas de uso recomendadas(°C)	
	NaCl Cloruro de Sodio	KCl Cloruro de Potasio	BaCl ₂ Cloruro de Bario	NaNO ₃ Nitrato Sódico	NaNO ₂ Nitrito Sódico	KNO ₃ Nitrato Potásico	CaCl ₂ Cloruro de Calcio	NaCN Cianuro Sódico	Na ₂ CO ₃ Carbonato Sódico	KCN Cianuro Potásico			
L-1	-----	-----	-----	-----	40 50	50 60	-----	-----	-----	-----	140	160	650
L-2	-----	-----	-----	40 50	-----	50 60	-----	-----	-----	-----	220	260	630
L-3	-----	-----	-----	96min	-----	-----	-----	-----	-----	-----	370	400	650
L-4	30 40	-----	-----	-----	-----	-----	-----	15 40	30 50	-----	549	620	815
L-5	15 25	-----	25 35	-----	-----	-----	45 55	-----	-----	-----	480	510	760
I-1	45 55	45 55	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	675	735	898
I-2	15 25	20 30	50 60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	595	675	925
I-3	20 30	-----	70 80	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	705	760	925
I-4	10 20	-----	80 90	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	760	815	1095
H-1	-----	-----	98min	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	980	1035	1310
H-2	4 8	-----	92 96	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	870	955	1260
C-1	4max	-----	-----	-----	-----	-----	-----	96min	4max	-----	620	785	955
C-2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4max	96max	620	785	955
C-3	-----	5 10	40 50	-----	-----	-----	-----	35 40	-----	-----	620	840	955
C-4	15 25	-----	-----	-----	-----	-----	-----	45 50	20 30	(BaCO ₃)	620	815	955
C-5	20 30	-----	15 25	-----	-----	-----	-----	30 40	20 30	-----	620	785	985
C-6	10 15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	70 80	10 15	-----	620	815	955
C-7	15 25	-----	-----	-----	-----	-----	-----	60 70	15 25	-----	620	815	955
C-8	40 50	-----	-----	-----	-----	-----	-----	40 50	5 10	-----	620	815	955
C-9	-----	60 70	-----	-----	-----	-----	-----	30 40	-----	-----	495	525	675
C-10	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	55 65	-----	35 45	495	525	675

Tabla IV, baños de sales de acuerdo a su utilización.

1.5. Hornos de baño de sales

Los hornos para baño de sales son utilizados ampliamente en la industria, consiste en introducir el material de trabajo en un baño de sales fundidas de una composición salina y temperatura determinada según el tratamiento térmico que se desea aplicar y el tipo de metal a tratarse.

Los hornos para baño de sales han sido largamente utilizados en el tratamiento térmico de los metales y se caracteriza por tener más ventajas que desventajas.

Ventajas {

- Uniformidad y precisión de temperatura
- Ausencia de oxidación
- Excelente transferencia de calor a la pieza
- Facilidad de manejo
- Rapidez de tratamiento

Desventajas {

- Dificultad de limpieza de la pieza

Los hornos para baño de sales se pueden clasificar en tres grupos según el tipo de calentamiento que posean.

- a. Hornos para baño de sales calentados externamente por productos de combustión.
- b. Hornos para baño de sales calentados externamente por resistencias eléctricas.
- c. Hornos para baño de sales calentados por arco.

Selección del tipo de horno.

Para seleccionar el horno para baño de sales se analizan las ventajas de cada uno de estos y al final se escogerá el de mayor efectividad y menor costo.

a. *Hornos para baño de sales calentados externamente por productos de combustión.*

Ventajas.

Son de un costo menor al horno de resistencias eléctricas y de arco.

Son excelentes para operaciones intermitentes.

Pueden ser empleados para una variedad grande de aplicaciones, simplemente cambiando de crisol a otro que contenga otra sal determinada según la operación a realizar.

Facilidad de combustible.

Desventajas.

Son menos adaptables a un control de temperaturas exacto y uniforme.

Debido a la irregularidad de distribución de calor, lo cual depende de la ubicación del quemador y chimenea, al momento de volver a encender el quemador e introducirlo en el horno se calienta más rápidamente la zona del contacto con la llama, lo que ocasionaría una explosión en la sal fundida expuesta.

Poseen una velocidad lenta de calentamiento en comparación a otro tipo de hornos.

b. Hornos para baño de sales calentados externamente por resistencias eléctricas.

Ventajas

Este tipo de hornos son de uso intermitente.

Son hornos que tienen temperatura uniforme en la cámara.

Desventajas

Por la ubicación de las resistencias y el crisol, una ruptura en crisol provocaría una destrucción total de los elementos de calentamiento.

El control de temperatura en este tipo de horno más complicado que los hornos de combustión y de arco.

Tiene una proyección de óxidos del crisol sobre las resistencias y soportes.

Dificultad para el cambio de elementos.

c. Hornos para baño de sales calentados por arco.

Ventajas

El control de temperatura es mucho más preciso que los anteriores.

El trabajo realizado en este tipo de hornos es de mejor calidad

El espacio físico, su robustez, simplicidad de empleo es menor que los anteriores hornos.

Posibilidad de tener grandes cantidades de trabajo.

Desventajas

Su vida útil es muy pequeña en comparación con los hornos anteriores.

La mayor dificultad para el empleo de estos hornos es su costo.

En el presente caso el horno a construir será el *Hornos para baño de sales calentados externamente por productos de combustión*, debido a sus ventajas, gran efectividad posee y por no ser un horno de costos altos para su construcción.

1.6. Materiales Refractarios

Se denominan materiales refractarios, aquellos materiales cerámicos de estructura no metálica que resisten la degradación de gases, líquidos o sólidos corrosivos a elevadas temperaturas, cuya característica es resistir el choque térmico, ya sea este causado por un calentamiento o enfriamiento rápido y poseer un bajo coeficiente de conductividad térmica.

Los materiales refractarios están compuestos por una variedad de elementos encontrados en la corteza terrestre tales como; silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), calcio (Ca), cromo (Cr), circonio (Zr), carbono (C), cuya propiedades le hacen que el material refractario sea resistente a altas temperaturas sin encontrar signos de fusión en el material.

Normas internacionales dicen que se denominan materiales refractarios a aquellos materiales que posean una refractariedad al calor mayor o igual a 1500°C.

Clasificación

- a. **Refractarios ácidos.**- este tipo de material refractario es resistente a altas temperaturas, reacciona con otros elementos refractarios como cenizas, escorias, fundentes, en este tipo de refractario predomina la sílice (SiO_2).
- b. **Refractarios básicos.**- son resistentes a altas temperaturas, y reaccionan con elementos ácidos, en este tipo de refractarios predomina el óxido de calcio o magnesio (CaO o MgO).
- c. **Refractarios neutros.**- son resistentes a altas temperaturas y no reaccionan con ningún tipo de refractario, en este tipo de refractarios predomina la alúmina y sílice (Al_2O_3 ; SiO_2).

1.7. Quemadores

Son dispositivos en los cuales se quema combustible, líquido, gaseoso o ambos, excepcionalmente también sólido los cuales se queman sobre un parrilla o

requieren un tratamiento previo del combustible, unido a quemadores de diseños especiales, produciendo calor generalmente mediante una llama.

Una combustión ideal de cualquier combustible es indispensable alcanzar una mezcla homogénea entre el combustible y el aire, así mismo para producir una rápida inflamación del combustible y la más alta temperatura de combustión es indispensable lograr una correcta dosificación del oxígeno o del aire, así como una adecuada atomización del mismo.

Después de que se logra el encendido en un quemador es preciso mantener la estabilidad de la llama.

Si no es así, la combustión podrá extinguirse o dar como resultado varias pulsaciones que dañen los equipos del horno.

En los casos extremos se puede producir explosiones con efectos desastrosos. Para mantener la estabilidad de la llama en un punto es necesario que la velocidad de los gases se iguale a la velocidad de propagación de la llama este es el caso de los quemadores.¹

Para alcanzar la combustión ideal un quemador debe cumplir ciertas condiciones básicas y son:

Margen de regulación, índice de la relación entre caudal máximo y mínimo de combustible que gasta un quemador, debe ser adecuado a las necesidades del proceso.

Debe existir una estabilidad de funcionamiento dentro del margen de regulación, definiendo a la estabilidad de un quemador como la capacidad de mantener la llama dentro de los límites de sus campos de regulación.

Debe poder controlarse la forma y dimensiones de la llama, que vienen determinadas fundamentalmente por la potencia del quemador.

Debe seleccionarse de acuerdo con la cámara de combustión.

1.8. Clasificación de quemadores

Los quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, se pueden clasificar de acuerdo a su forma de la siguiente manera:

Quemadores atmosféricos.

Quemadores mecánicos

¹ Idea., Combustibles y su combustión. Pág.48.

Quemadores atmosféricos.

Este tipo de dispositivos son empleados únicamente para combustibles gaseosos, la presión aire suministrada está alrededor de 0.425 a 4.25 psi, el tipo de combustible determina la presión de aire necesario.

El aire necesario para la combustión (Aire Primario) se induce en el quemador dado por el chorro de gas que sale de un inyector (Efecto Venturi), el aire restante (Aire Secundario) genera la difusión del aire ambiente alrededor de la llama o aire que se encuentra en la cámara del horno, fig22 y 23.

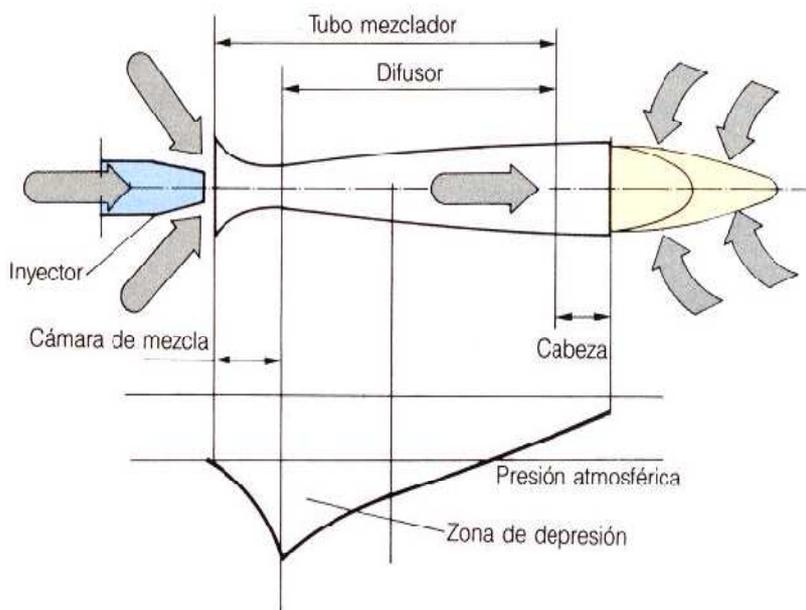


Figura 22: Esquema de funcionamiento de un quemador atmosférico (**SEDIGAS**)

La ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo costo, aunque se pueden fabricar para potencias altas (1.200 kW), los empleados habitualmente en climatización no superan los 300 kW.

El encendido de este tipo de quemadores se logra mediante una llama piloto, la cual está permanentemente encendida, o con encendidos automáticos (electrónicos, tren de chispas, etc).

La regulación del combustible se obtiene abriendo o cerrando la válvula, variando la presión al momento de inyectar el combustible, generando la llama del quemador.

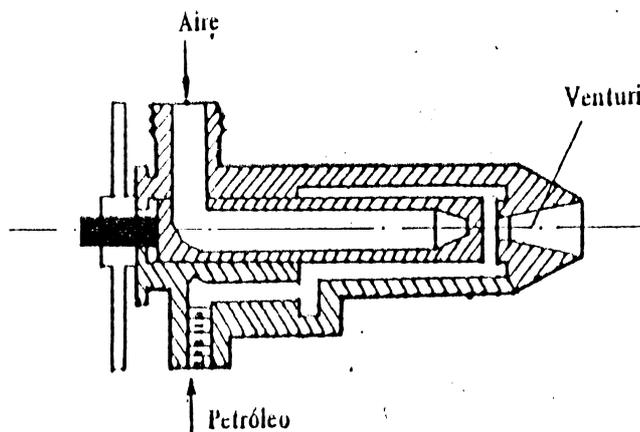


Figura 23: Esquema de un quemador de alta presión de aire atmosférico

Quemadores mecánicos.

Conocidos también como Quemadores a Sobrepresión, el principio de este tipo de quemadores consiste en introducir aire mediante un ventilador, el cual posteriormente se mezcla con el combustible. Según el tipo de combustible empleado ya sea gaseoso o líquido se puede tener diversos sistemas para lograr la mezcla ideal del aire con el combustible.

Al momento de emplear combustibles gaseosos, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro.

En el caso de los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización, denominados toberas los cuales son encargados de dar la angularidad a la llama de salida del quemador, de modo que se crean microgotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire.

Por la facilidad y costo el tipo más extendido es el de pulverización mecánica, los cuales se fabrican desde pequeñas hasta grandes potencias

La presión puede ser de 70.96 a 283.87 psi, lo que depende del tipo de combustible empleado.

Por el número de escalones de potencia que producen, se distinguen los siguientes tipos de quemadores:

DE UNA MARCHA

Son quemadores que sólo pueden funcionar con la potencia a la que hayan sido regulados, son quemadores de pequeña potencia.

DE VARIAS MARCHAS

Son quemadores con dos ó más escalones de potencia (habitualmente dos); pueden funcionar produciendo potencias distintas.

Deben disponer de los elementos necesarios para poder regular la admisión de aire y el gasto de combustible, de modo que en cada escalón de potencia se obtenga el rendimiento de combustión más alto posible.

Se utilizan para potencias intermedias o altas.

MODULANTES

Estos quemadores ajustan continuamente la relación Aire - Combustible, de manera que pueden trabajar con rendimientos elevados en una amplia gama de potencias; adecuándose de manera continúa a las necesidades de producción, fig24 y 25.

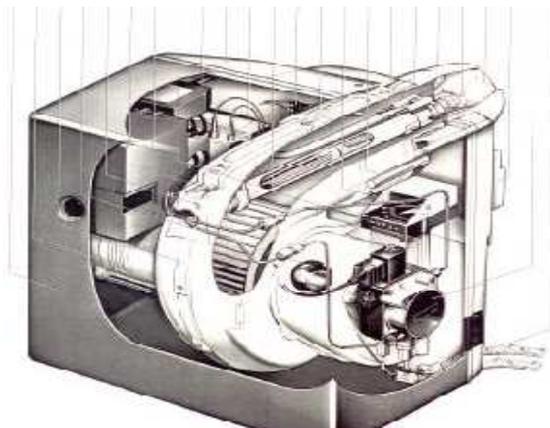


Figura 24: Quemador Mecánico de gasóleo Marca MONARCH-WEISHAAPT
Gama de Potencias: 16,5 a 120 kW.

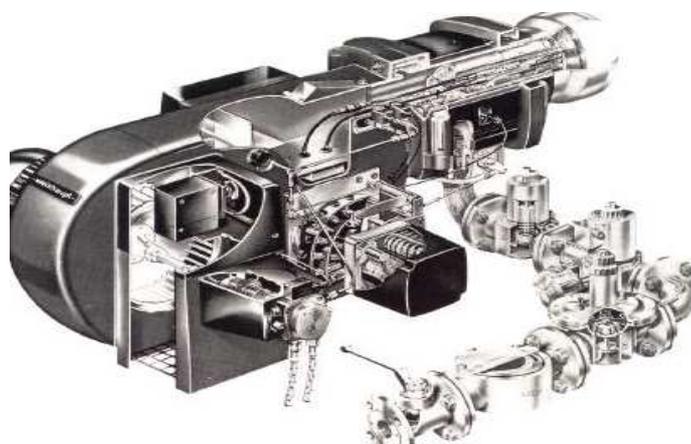


Figura 25: Quemador Mecánico policombustible modulante, marca MONARCH-WEISHAAPT.
Gama de Potencias: 175 a 5.100 kW.

1.9. Controladores de temperaturas

El principal objetivo es tener un correcto control, registro, vigilancia de los intervalos de temperatura deseados que se puedan dar en un horno, controlando la temperatura del sistema.

En un horno el control de temperaturas, actúa sensando la temperatura ambiente del sistema, mediante un sensor denominado termocupla, el cual envía una señal digital o analógica, según el tipo de control empleado, dicha señal es receptada en el sistema de control, que activa, desactiva, aumenta, o disminuye el control que está encargado de mantener una determinada temperatura.

Capítulo II: Dimensionamiento y Construcción del horno para baño de sales.

2.1. Dimensionamiento de los elementos del horno para baño de sales.

El dimensionamiento del horno comprende:

Selección del crisol

Selección de quemador

Dimensionamiento de la cámara de combustión

Determinación de los materiales a utilizarse

2.1.1. Selección de crisol.

Crisol es el recipiente que contiene la masa de sales a fundir y se encuentra dentro de la cámara del horno. Tiene una forma cilíndrica, se emplea para operaciones de fusión de un material determinado, está rodeado por fuego y existe de diferentes tamaños, materiales y dimensiones, para su uso debe cumplir con las siguientes características:

- a. **Refractarios.**-para resistir altas temperaturas sin cambiar sus propiedades por lo tanto no son quebradizos en caliente.
- b. **Resistentes térmicos.**- es decir no se deben decrepitar cuando se retiran del fuego y se exponen a la temperatura ambiente, deben ser capaces de resistir a los cambios de temperatura bruscos.
- c. **Resistentes a la corrosión.**- no deben ser atacados ni corroídos por los materiales que se funden en ellos.

Para realizar una adecuada selección del crisol se debe conocer qué tipo de sal se va a fundir, el combustible a emplear, el tipo de horno que se tiene, además que el material con el cual es fabricado el crisol presente una excelente conductividad térmica y una buena resistencia a la acción de escorias.

De acuerdo a lo anterior se escoge un crisol de acero A-36 de 15mm de espesor, considerando la refractariedad y resistencia a la flexión a una temperatura de 1200°C, debido a que es costoso obtener un crisol con las dimensiones, forma, y propiedades requeridas acorde a la fig.26.

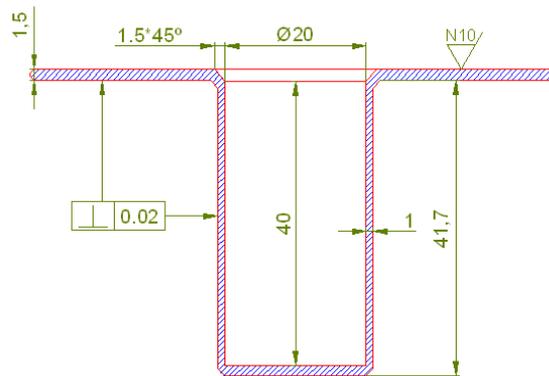


Figura 26. Dimensionamiento de crisol

2.1.2. Selección de quemador.

Los quemadores disponibles en el mercado nacional que pueden ser empleados en el horno son; diesel, y gas natural.

En la construcción del horno de baño de sales se ha determinado el uso del quemador a diesel debido a:

- Disponibilidad del combustible en el mercado nacional.

- Costo.

- Facilidad de transporte y almacenamiento.

- Capacidad para el control de la combustión.

- Facilidad de manejo.

DIESEL

El diesel es un combustible derivado del petróleo que proporciona energía calorífica la cual tiene la capacidad de producir trabajo mecánico.

En las refinerías el petróleo es convertido a una variedad de productos mediante procesos físicos y químicos, uno de los primeros procesos a que se somete el petróleo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones (fig. 27), la sección de destilación es la unidad más flexible en la refinería, ya que las condiciones de operación pueden ajustarse para poder procesar un amplio intervalo de alimentaciones, desde crudos ligeros hasta pesados.

Dentro de una torre de destilación, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición, las fracciones más ligeras, incluyendo gasolinas y gas licuado de petróleo (GLP), vaporizan y suben hasta la parte superior de la torre donde se condensan, los

líquidos medianamente pesados, como querosene y la fracción diesel, se quedan en la parte media, los líquidos más pesados y los gasóleos ligeros primarios, se separan más abajo, mientras que los más pesados en el fondo, las gasolinas contienen fracciones que ebullen por debajo de los 200 °C, mientras que en el caso del diesel sus fracciones tiene un límite de 350 °C, el diesel contiene moléculas de entre 10 y 20 carbonos, mientras que los componentes de la gasolina se ubican en el orden de 12 carbonos o menos.

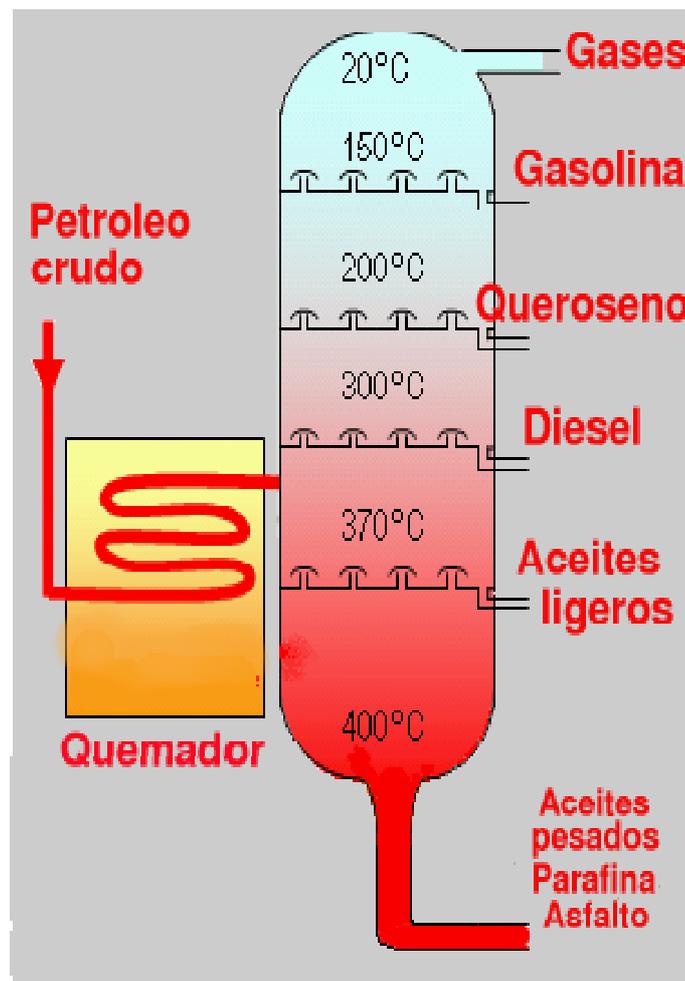


Figura 27. Transformación del crudo

En la siguiente tablaV se muestran los productos que se pueden obtener del crudo:

	PRODUCTO	INTERVALO DE TEMPERATURA EBULLICIÓN	APLICACIONES
FRACCIONES LIGERAS	Gas de refinería	<20°C	Combustible para la refinería
	GLP	<20°C	Calefacción doméstica e industrial
	Gasolina	40-150°C	Carburante para automóviles
	Nafta pesada	150-200°C	Materia prima para productos químicos, disolventes.
FRACCIONES MEDIAS	Queroseno	170-250°C	Lámpara de alumbrado carburante para turborreactores
	Gas Oil	250-320°C	Carburantes para motores diesel, calefacción doméstica
FRACCIONES PESADAS	Fuel Oil ligero	340-400°C	Combustible para buques, locomotoras, etc.
	Fuel Oil pesado	400-500°C	Materia prima para lubricantes, ceras, cremas y aceites.
	Asfalto	>500°C	Pavimentación, techado, impermeabilización, etc.

Tabla V, productos derivados del crudo.

La composición media del combustible diesel ecuatoriano está dada en la tabla VI.

Carbono	81.8%
Hidrógeno	12.5%
Azufre	0.5%
Elementos no combustibles	5.2%
El poder calorífico inferior es de (kJ/Kg)	41851
Densidad(Kg/m³)	865.25

Tabla VI, composición y propiedades de diesel.

PROPIEDADES DEL DIESEL

Índice de cetano

En la gasolina el octano mide la calidad, en el diesel el índice ó número de cetano mide la calidad de ignición, es una medida de la calidad de ignición del combustible, he influye en las emisiones de humos y calidad de combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño de un motor de las variaciones de carga, condiciones de arranque, velocidad, y atmosféricas. Un bajo número de cetano conlleva a ruidos en un motor, prolonga el retraso de ignición y aumenta el peso molecular en sus emisiones. Típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición. El índice de cetano es una propiedad muy importante, sin embargo existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible.

Azufre

El azufre es un elemento natural en el petróleo. Si éste no es eliminado durante los procesos de refinación, contaminará al combustible. El azufre del diesel contribuye significativamente a las emisiones de partículas, la reducción del límite de azufre en el diesel a 0.05 por ciento es una tendencia mundial, la correlación del contenido de azufre en el diesel con las emisiones de partículas y el SO₂ (Dióxido de azufre) y SO₃ (trióxido de azufre).

Aromáticos

Los aromáticos son moléculas del combustible que contienen al menos un anillo de benceno. El contenido de aromáticos afecta la combustión. El contenido de aromáticos influye en la temperatura de la flama y, por lo tanto, en las emisiones de partículas durante la combustión.

Lubricidad

Las bombas de diesel, a falta de un sistema de lubricación externa, dependen de las propiedades lubricantes del diesel para asegurar una operación apropiada. Se piensa que los componentes lubricantes del diesel son los hidrocarburos más pesados y las sustancias polares. Los procesos de refinación para remover el azufre del diesel tienden a reducir los componentes del combustible que proveen de lubricidad natural.

2.1.3. Dimensionamiento de la cámara.

Los parámetros a tomar en cuenta para el diseño del horno de baño de sales y su cámara de combustión son los indicados en la tabla VII.

Parámetros de diseño de horno	
Temperatura de diseño de horno	1200°C
Carga a Fundir	NaCl → 7.5Kg KCl → 7.5Kg
Temperatura de fusión NaCl+KCl	675°C
Tratamiento a realizar	Temple
Tipo de acero a templar	V 945/1045
Rango de temperaturas recomendadas para baño de sales. NaCl+KCl	675°C - 925°C
Temperatura de trabajo NaCl+KCl	830°C
Tiempo de fusión	90 minutos
Tipo de crisol	Acero A-36, esp= de 15mm

Tabla VII, Parámetros de diseño

Para el dimensionamiento de la cámara de combustión se utiliza el método sugerido por Trinks, esta condición permite predecir el volumen necesario para que se complete la combustión del aire con el diesel, tomando en cuenta que haya una mezcla apropiada de comburente con el combustible, atomización muy fina y pulverización del diesel a temperatura ambiente y tiempo determinado; Trinks sugiere el valor de $88.97 \text{ [Kcal / m}^3 \times \text{s]}^2$. Adicional se ha tomado como referencia la cámara de combustión del horno en el taller de Procesos de Fabricación de la E.P.N., fig28.

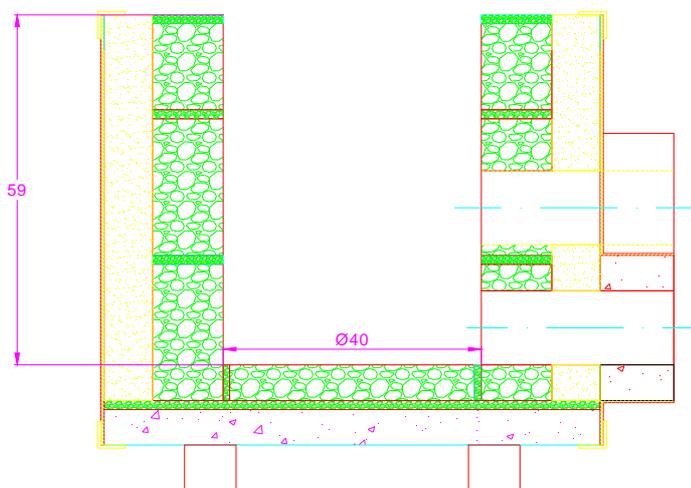


Figura 28. Dimensionamiento de crisol

2.1.4. Determinación de materiales a utilizar.

La base, pared y tapa del horno tienen funciones principales que son: evitar las pérdidas de calor al exterior y conducir las llamas procedentes del quemador. La estructura interna del equipo está conformada por: capa refractaria, capa aislante y chapa metálica de acuerdo al gráfico siguiente, fig29:

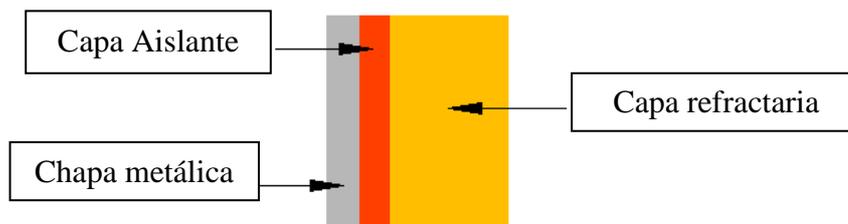


Fig. 29 Conformación de tabique refractaria.

² Trinks W. Hornos Industriales; Ed. Urma, 1975;pág.66.

Capa refractaria.

La capa refractaria está compuesta por materiales resistentes a temperaturas elevadas, superiores a los 1500°C. En esta capa la temperatura de fusión se define por la llamada resistencia pirosfópica, que es la capacidad de todo material capaz de soportar a temperaturas elevadas durante un periodo de tiempo sin deterioro excesivo de sus propiedades físico químicas (Conos de Seger)³, y se especifica como la característica al pandeo que sufren conos elaborados con mezclas refractarias y diseñados para que se doblen sobre sí mismos en un estrecho rango de temperaturas.

Propiedades.

La refractariedad no es suficiente para definir la aptitud de un determinado material para ser empleado en hornos, sino que deben considerarse otras propiedades como:

La resistencia a la compresión en frío.

La temperatura de reblandecimiento bajo la carga de 2 kg/cm².

La dilatación lineal en caliente, por ejemplo la magnesita se dilata mucho; el material silicoaluminoso poco; la sillimanita poquísimo.

La resistencia a los cambios bruscos de temperatura, para determinarla se recurre a pruebas empíricas, como sumergir un ladrillo caliente en agua.

La resistencia a la acción de las escorias y del gas, las cámaras de casi todos los hornos están en contacto con metales líquidos o con gas, con polvos producidos por los humos, y los materiales refractarios deben poder soportar estos contactos en caliente, las exigencias son numerosas y variadas y no existe un material que las satisfaga todas. Por lo tanto la elección de un tipo de determinado material refractario debe ser consecuencia de observaciones y de experimentos prácticos profundizados caso por caso.

La conductividad térmica es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo cuerpo. Hay que tenerla muy en cuenta al momento

³ Conos Seger.- o pirométrico es una masa cerámica de composición y puntos de fusión variables, con forma piramidal triangular, confeccionados en moldes de madera y pre-horneados a temperaturas bajas que les confiere manejabilidad que sirven para medir la temperatura en el interior del horno, funden a la temperatura indicada (según número de cono empleado), según los componentes del mismo.

de elegir un determinado material, fig30.

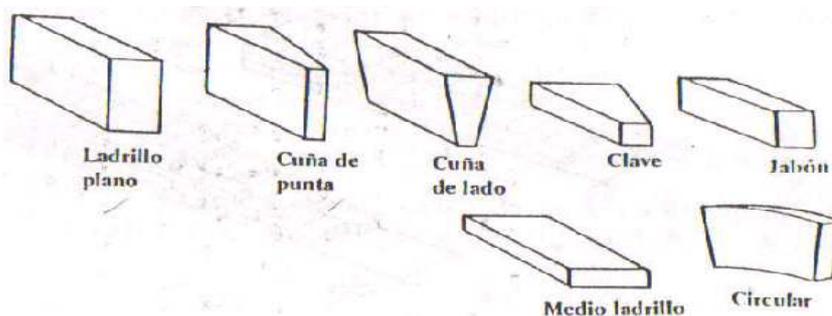


Fig. 30. Tipos de ladrillos refractarios.

Temperatura de ablandamiento	1743 [°C]
Conductividad térmica a : 1100°C	1.20 [W/m * °K]
Densidad aparente	2000 [Kg / m3]
Calor específico	0.92 [KJ / Kg * °K]

Tabla VIII, Ladrillo Refractario

Concreto Refractarios

Este material permanecerá en contacto directo con el calor producto de la combustión, las características principales que le definen son:

Excelente resistencia mecánica a elevadas temperaturas y mínima contracción por secamiento.

Elevada resistencia a la desintegración por choques térmicos a altas temperaturas.

Bajo coeficiente de expansión térmico.

Bajo grado higroscópico.

Su granulación debe ser perfectamente controlada.

De este tipo de concretos refractarios mencionaremos el Cóncrax 1700, clase C según la clasificación ICONTEC-814⁴, y la norma ASTM C-40.

Su presentación está dada en recipientes de 35 Kg. y sus principales propiedades son:

⁴ ICONTEC.- Instituto Colombiano de Normas y Técnicas y Certificación

Concretos refractarios Silício-Aluminosos Marca ERECOS		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Cp	$\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}^\circ}$	0.96
Densidad	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	1.74-1.86
Cono Pirométrico Equivalente	°C	32
Máx. Temperatura de servicio recomendada	°K	1813
Conductividad térmica a diferente temperatura		
Temp. Media (478°K)	$\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ \cdot \text{K}}$	0.94
Temp. Media (698°K)		0.95
Temp. Media (923 °K)		0.96
Temp. Media (1143 °K)		0,98
Temp. Media (1368 °K)		1.01
Temp. Media (1588 °K)		1.02

Tabla IX. Tomada de: ERECOS; Propiedades Típicas de Concretos Refractarios; Catálogo 2004⁵.

Capa aislante

Esta capa cumple doble propósito: reducir las pérdidas de calor y conseguir condiciones ambientales suficientemente aceptables durante la operación de calentamiento y fundición.

El aislante debe tener la menor conductividad térmica posible.

El material seleccionado para este propósito es la diatomita o sílice fósil.

Este material se encuentra en la naturaleza y es de procedencia nacional, las principales propiedades son⁶:

⁵ ERECOS; Manual de Concretos Refractarios.

⁶ C.A.D.E.N., Op., Cit., N°15 – PC0019/82

Temperatura máxima de servicio	1050 [°C]
Conductividad térmica a :	
100 [°C]	0.08 [W/m - °K]
300 [°C]	0.11[W/m - °K]
500 [°C]	0.13 [W/m - °K]
Densidad aparente	500 [Kg / m ³]
Calor específico	0.84 [Kj / Kg - °K]

Tabla X, Propiedades diatomita

Chapa metálica

Se utiliza como medio de soporte del horno y protección contra el medio exterior. El espesor de la chapa metálica esta dado por las necesidades del sistema. Este material es utilizado para la cubierta exterior del horno y constituye una protección para los materiales que se tiene en el interior y a su vez es parte del acabado final. El espesor de la plancha metálica seleccionada es de 3mm, el espesor se lo obtiene de la consulta de trabajos anteriores, en relación al mismo tema. El material es un acero ASTM A36 y sus propiedades se indican en la tabla XI.

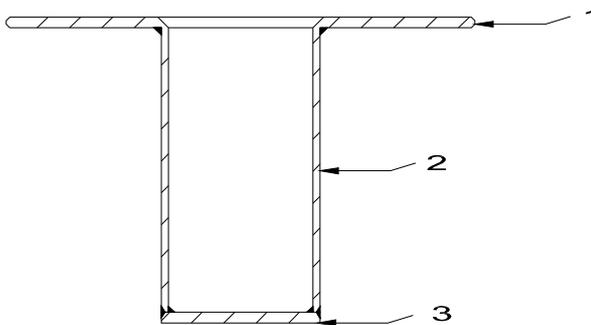
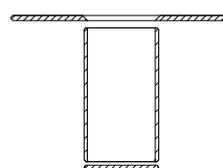
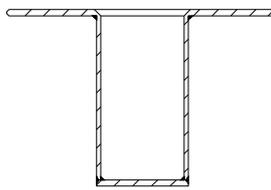
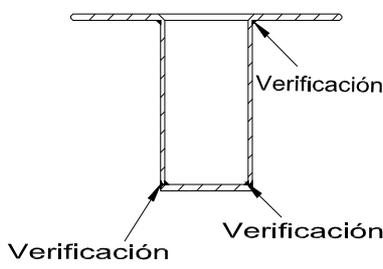
Lámina de Acero		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Densidad	Kg./m ³	7850
Cp	J/Kg. °K	434

Tabla XI, Propiedades diatomita

2.2. Planos de conjunto de horno (Anexo 1).

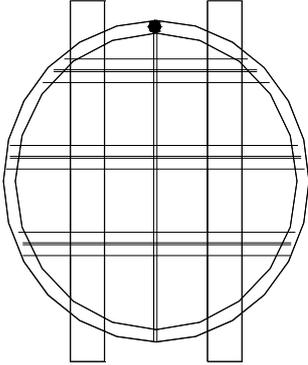
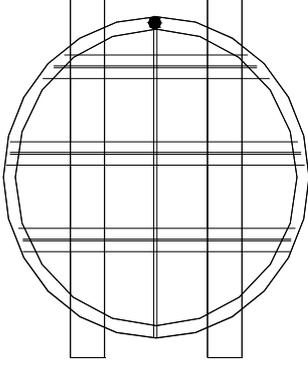
2.3. Planos de taller de los elementos de horno para baño de sales (Anexo 2)

2.4. Hojas de procesos para la construcción de los elementos del horno para baño de sales.

ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.				
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales				
Escala: No normalizada	Material : Acero al Carbono	Dimensiones en bruto: Diámetro interno=20.40cm Diámetro externo=22.50cm Altura (h) = 40.11 cm	Medidas sin Tolerancias: De=22cm Di=20cm h = 40cm	Crisol					
									
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	N ^o Pasadas	Tiempo (min)
Limado	1	1.1	1 2 3	Preparación de las juntas que van a ser soldadas		Lima media caña y fina	Calibrador y vista	---	10
Soldadura	1	1.1	1 2 3	Soldar los elementos según planos de taller electrodo E6011, E6013		Soldadora eléctrica Electrodos 6011 o 6013 Casco, guantes, manguito	Vista y flexómetro	---	35
Verificación	1	1.1	1 2 3	Verificación de los elementos soldados		Pruebas en END	Tintas Penetrantes	1-2	35
Observaciones :						Tiempo Total :		80	
-- = Tiempo según operario de maquinaria									
END= Ensayos No Destructivos									

ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.					
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales					
Escala: No normalizada	Material : Acero al carbono	Dimensiones en bruto: Diámetro= 77cm Espesor=0.30cm	Medidas sin Tolerancias: D=77cm E=0.30cm	Chapa metálica Elemento "X"						
Fase	Suboperación	Operación	Superficie	Denominación	Croquis	Utilización	Control	N ^o Pasadas	Tiempo (min)	
Baroladora	1	1.1	1 2	Barolar chapa metálica a de= 78cm		Baroladora	Vista y flexometro	--	30	
	Corte	1	1.1	1 2	Cortar chapa metálica barolada		Moladora o MIG	Vista y flexometro	--	15
Soldadura		1	1.1	3	Soldar costura la chapa metálica barolada electrodo E6011, E6013		Soldadora electrica Electrodos 6011 o 6013 Casco, guantes, mandil	Vista y manualmente	1-2	35
	2	2.1	4	Soldar soporte de la entrada y salida de calor						
	3	3.1	1	Soldar soporte de la entrada y salida de calor a chapa metálica barolada						
Verificación	1	1.1	2 3 4	Verificación de medidas y cordon de soldadura		Flexometro y vista	Flexometro y vista	1-2	5	
	Observaciones :							Tiempo Total :		85
--= Tiempo segun operario de maquinaria										
El soporte o elemento N°4 de entrada y salida de calor se obtendra por otros medios, y son sos laminas dobladas a 90°										

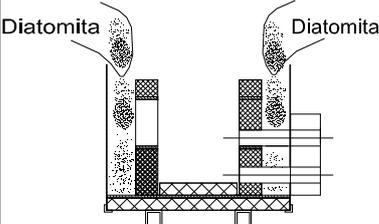
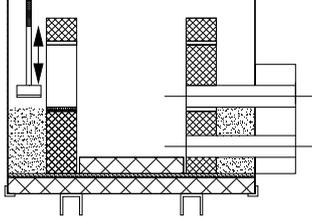
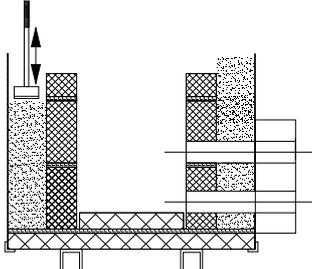
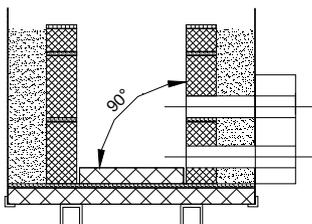
ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.				
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales				
Escala: No normalizada	Material : Acero	Dimensiones en bruto: 1.-L=77cm 2.-D=79cm 3.-L=100cm	Medidas sin Tolerancias: 1.- L = 77cm 2.-D=79cm 3.-L=100.01cm	Base de horno Elemento "Y"					
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	Nº Pasadas	Tiempo (min)
Barolado	1	1.1	2	Barolar perfil en L De = 79cm		Baroladora	Vista y flexometro	---	30
			1	1.1	1	Cortar perfiles en T segun las medidas indicadas		Entenalla Cierra Casco, guantes, mandil	Vista y manualmente
Soldadura	1	1.1	2	Soldar costura de perfil en L con electrodo E6011, E6013		Soldadora electrica Electrodos 6011 o 6013 Casco, guantes, mandil	Vista y manualmente	1-2	40
			2	2.1	2 3				
Observaciones :									
--= Tiempo segun operario de maquinaria 1= Perfil en T 2= Perfil en L Barolado 3= Viga tipo perfil "C" estructural									

ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.				
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales				
Escala: No normalizada	Material : Acero	Dimensiones en bruto: 1.-L=77cm 2.-D=79cm 3.-L=100cm	Medidas sin Tolerancias: 1.-L=77cm 2.-D=79cm 3.-L=100,01cm	Base de horno Elemento "Y"					
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	Nº Pasadas	Tiempo (min)
Soldadura	3	3.1	1	Unión de perfil en T a perfil barolado en L Soldar elementos uno a dos con electrodo E6011, E6013		Soldadora electrica Electrodos 6011 o 6013 Casco, guantes, manojil	Vista y manualmente	1-2	
			2						
Verificación	1	1.1	1	Verificación de medidas y cordon de soldadura en todos los elementos soldados		Pruebas de END	Tintas Penetrantes	1-2	45
			2						
			3						
Observaciones :						Tiempo Total :		130	
-- = Tiempo segun operario de maquinaria END=Ensayos No Destructivos 1=Angulo T 2=Angulo L Barolado 3=Perfil C estructural									

ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.				
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales				
Escala: No normalizada	Material : Acero	Dimensiones en bruto: -----	Medidas sin Tolerancias: -----	Estructura metálica Unión de elementos "X" y "Y"					
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	Nº Pasadas	Tiempo (min)
Montaje	1	1.1	1	Montaje de la chapa barolada y soldada a la base de Horno (Montaje de X en Y)		Martillo Tecle	Vista y manual	--	20
			2						
Soldadura	1	1.1	1	Soldar elementos X y Y previamente acoplados		Soldadora electrica Electrodos 6011 o 6013 Casco, guantes, mandil	Vista y manualmente	1-2	40
			2						
Verificación	1	1.1	1	Verificación de de medidas y cordón de soldadura y simetría		Flexometro y vista	Flexometro y vista	1-2	10
			2						
Observaciones :							Tiempo Total :	70	
-- = Tiempo segun operario de maquinaria Elemento "X" =Chapa Metálica ;Elemento "Y" =Base soporte									

ESFOT		Procesos de Producción Mecánica		Hoja de Procesos		Nombre: Andrade D. Horno para Baño de Sales			
Escala: No normalizada	Material : Ladrillo refractario	Dimensiones en bruto: -----	Medidas sin Tolerancias: -----	Base de ladrillo refractario 1					
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	Nº Pasadas	Tiempo (min)
Corte	1	1.1	1	Medición de los ladrillos refractarios y trazar por donde serán cortados		Entenalla y regla y lapiz	Vista y flexometro	2	20
			1	Cortar ladrillos refractarios a medidas designadas		Amoladora Cierra, mascarilla Casco, guantes, mandil	Vista y manualmente	1	30
Montaje	1	1.1	1 2	Colocamos los ladrillos refractarios en la estructura metálica cemento refractario y dejamos secar		Cemento refractario agua, pala, arena guantes, mandil	Vista y manualmente	1-2	45
Verificación	1	1.1	1 2	Verificación de los ladrillos estén bien pegados y unidos a la base		Vista y manual	Visualmente	1-2	5
Observaciones :							Tiempo Total :	100	
-- = Tiempo según operario de maquinaria									

ESFOT		Hoja de Procesos		Nombre: Andrade D. Horno para Baño de Sales						
Procesos de Producción Mecánica										
Escala: No normalizada	Material : Ladrillo refractario	Dimensiones en bruto: -----	Medidas sin Tolencias: -----	Camara de Calor						
Armado y secado	Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	N ^o Pasadas	Tiempo (min)
	1	1.1		3 5 8	Construcción de la base de ladrillo 2 uniendo a través de cemento refractario		Cemento refractario pala, agua, arena	Vista y flexometro escuadra	--	20
	2	2.1		3 4 7 8	Construcción de la primera fila de la pared interna y salida de gases		Cemento refractario pala, agua, arena	Vista y flexometro escuadra		30
	3	3.1		2 3 7 8	Construcción de la segunda fila de la pared interna, y construcción de agujero de entrada de calor o quemador		Cemento refractario pala, agua, arena	Vista y flexometro escuadra		50
	4	4.1		4 7	Construcción de la tercera fila de la pared interna y colocar una pequeña capa de cemento concrax		Cemento refractario pala, agua, arena	Vista y flexometro escuadra		20
Observaciones :										
-- =Tiempo segun operario de maquinaria 1=DIATOMITA 8=Cemento Refractario Para la construcción de agujeros de entrada y salida de calor se empleara dos tubos PVC que luego serán fundindo con calor										

ESFOT		Hoja de Procesos			Nombre: Andrade D.				
Procesos de Producción Mecánica					Horno para Baño de Sales				
Escala: No normalizada	Material : Ladrillo refractario	Dimensiones en bruto: _____	Medidas sin Tolerancias: _____	Camara de Calor					
Fase	Suboperación	Operación	Elemento	Denominación	Croquis	Utilización	Control	Nº Pasadas	Tiempo (min)
Armado y secado	5	5.1	1 2 3 4 7 8	Construcción de pared de Diatomita la pared externa		Diatomita pala	Vista y flexometro	—	40
	6	6.1	1 2 3 4 7 8	Construcción de la pared externa de diatomita		Diatomita pala	Vista y flexometro	—	60
				Construcción de pared de diatomita la pared externa hasta llegar a la tercera fila de ladrillo					
Verificación	1	1.1	1 2 4 5 7	Verificación de perpendicularidad, palelismo entre paredes y una unión entre ladrillos		Vista y manual escudra	Visualmente y escudra	1-2	15
Observaciones :							Tiempo Total :		235
--= Tiempo segun operario de maquinaria 8=Cemento Refractario 1=DIATOMITA									
Para la contrucción de agujeros de entrada y salida de calor se empleara dos tubos PVC que luego serán derretidos con calor									

Capítulo III: Dimensionamiento de quemador y control de temperaturas.

3.1. Control de temperaturas

La implementación de un control de temperaturas en un horno es básica y fundamental, con el fin de obtener valores acertados controlando así la operación que desea realizar, en los tratamientos térmicos es primordial el uso de controladores de temperatura para asegurar un buen tratamiento y por ende conseguir los cambios de estructuras deseados en el material a tratar.

En el presente caso se utiliza un control de temperaturas WATLOW (CV-240VAC), junto con una termocupla tipo K,

3.1.1. Control de temperaturas Watlow (CV-240VAC).

Watlow, aprobado controladores de temperatura compactos que ofrecen una solución rápida, costo accesible y control eficaz, para aplicaciones que requieren básicamente un control de encendido y apagado. Consta de una pantalla led, pulsador de seteo, una perilla, luces indicadoras (fig31).

Todos los controladores básicos de Watlow se diseñan y fabrican para soportar ambientes industriales ásperos y hostiles, (Anexo 3).

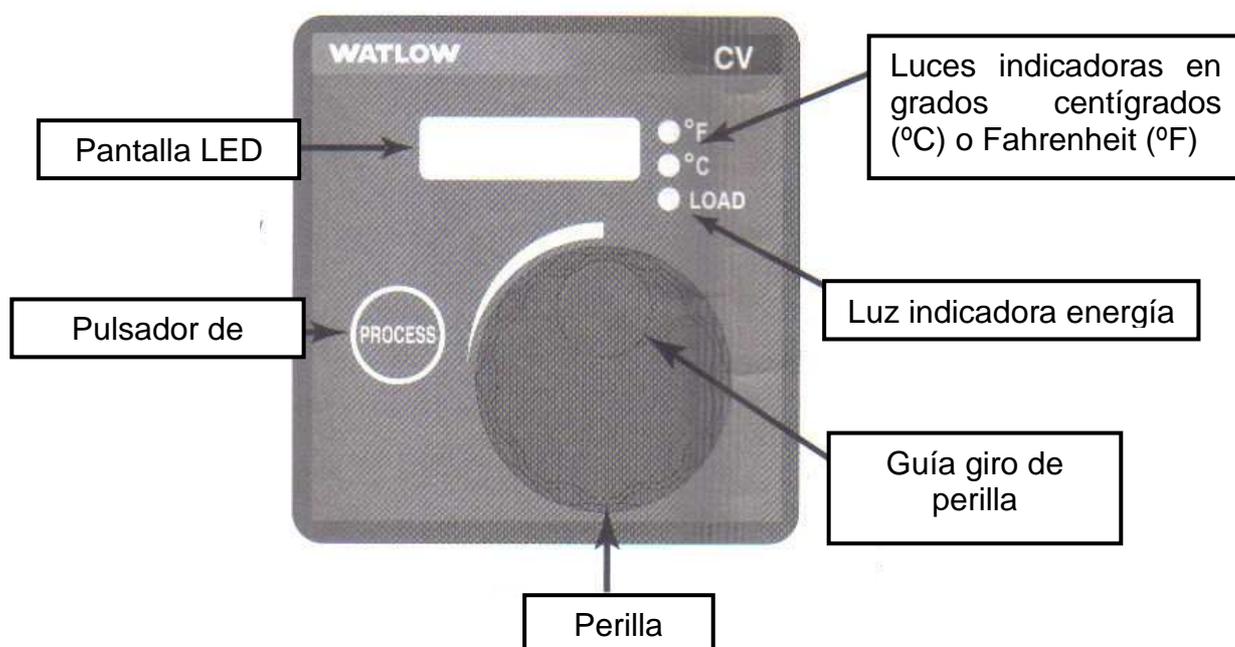


Figura 31. Controlador de temperaturas Watlow.

Dicho controlador debe estar conectado con un relé en estado sólido tal como se indica en fig32.

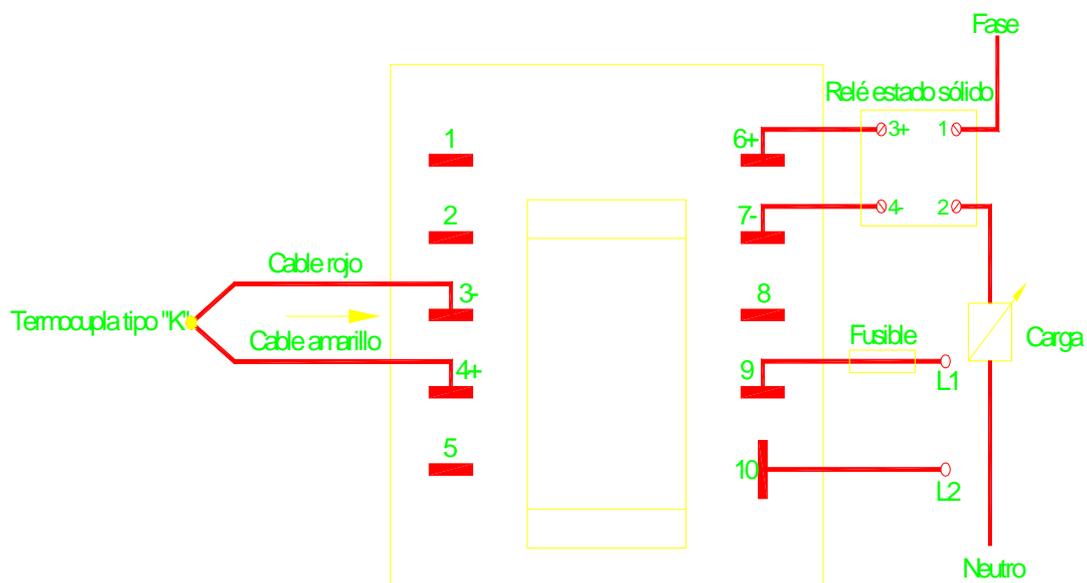


Figura 32. Controlador de temperaturas Watlow.

3.1.2. Termocupla tipo K

Las termocuplas están formadas por la unión de dos metales distintos, los cuales se encuentran soldados por uno de sus extremos y por el otro extremo se dejan separados (fig33).

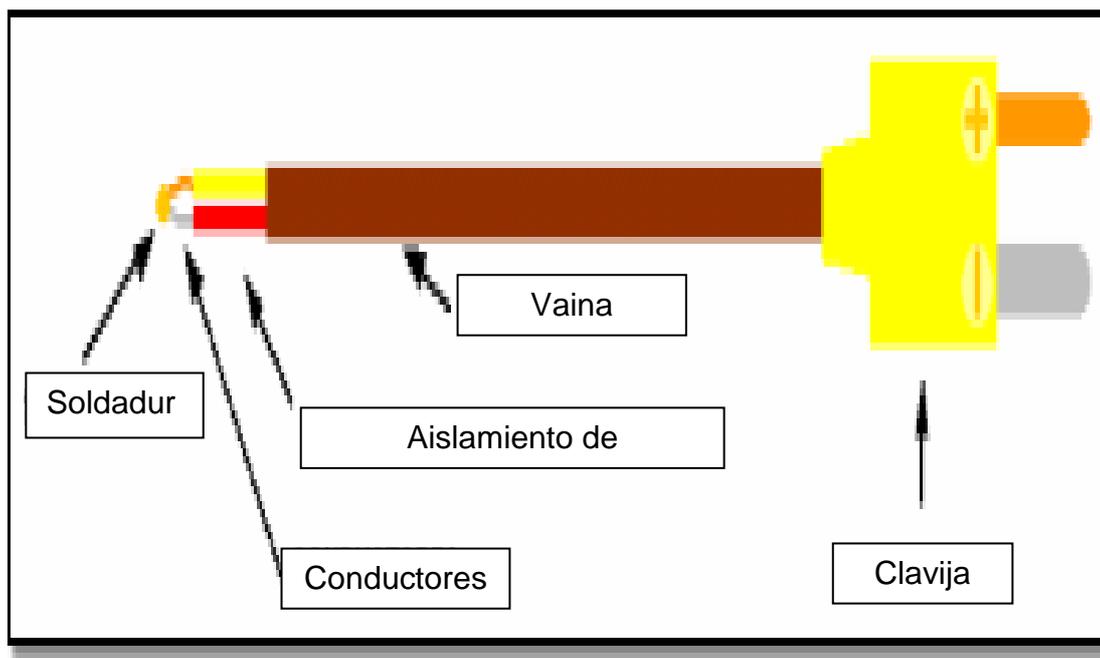


Figura 33, termocupla.

El voltaje que aparece en los extremos de la unión, es conocido como voltaje Seebeck.

El voltaje Seebeck se refiere a la emisión de electricidad en un circuito eléctrico compuesto por conductores diferentes, mientras estos tienen diferentes temperaturas, los conductores se conectan en serie.

La diferencia de temperatura causa un flujo de electrones en los conductores, se dice que el flujo inicia directamente desde el área de mayor temperatura hacia la de menor temperatura.

En el punto de contacto de los conductores se presenta una diferencia de potencial. La magnitud de la termoelectricidad depende del tipo de material de los conductores, la temperatura de contacto y no depende de la temperatura que se distribuye a lo largo del conductor.

La termoelectricidad permite evaluar los termopares por el coeficiente de Seebeck para diferentes materiales con un rango desde +43 hasta -38 mV/grado.

El producto que más utiliza este fenómeno son los denominados “termopares” que sirven como sensores de temperatura, también las llamadas termopilas que son un arreglo de varios termopares en serie para medir temperatura básicamente aumenta con la temperatura⁷, fig34.

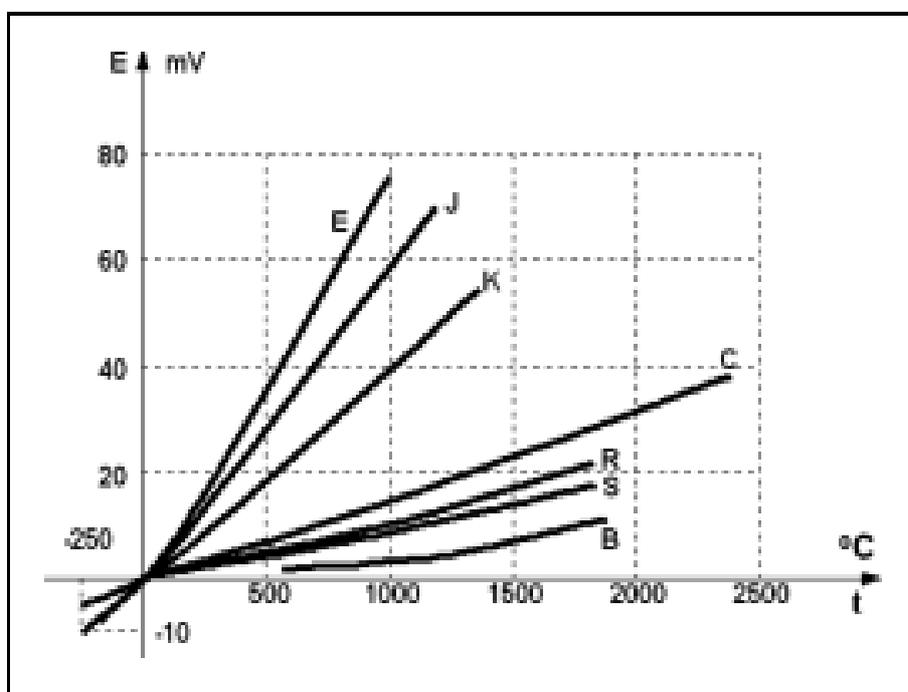


Figura 34, relación voltaje temperatura.

⁷http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effectseebeck

De acuerdo al tipo de metales que forman la termocupla, se clasifican las termocuplas en tipo: B, C, E, J, K, L, N, R, S, T, U.

Tipo	Materiales		Rangos	
	Conductor (+)	Conductor (-)	Temperatura(°C)	Tensión(mV)
B	Platino+30% Rodio	Platino+6%Rodio	600 a 1820	1,792 a 13,82
C	Tungsteno+5%Rhenio	Tungsteno+26%Rhenio	0 a 2316	0 a 37,079
E	Níquel-Cromo(Chromel)	Cobre- Níquel(Contantán)	-250 a 1000	-9,719 a 76,37
J	Hierro	Cobre- Níquel(Contantán)	-210 a 1200	-8,096 a 69,555
K	Níquel-Cromo(Chromel)	Níquel-Aluminio	-200 a 1372	-5,891 a 54,886
L	Hierro	Cobre- Níquel(Contantán)	-200 a 900	-8,166 a 53,147
N	Níquel-Cromo-Silicio(Nicrosil)	Níquel-Silicio-Magnesio	-200 a 1300	-3,990 a 47,514
R	Platino+13%Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,101 a 21,089
S	Platino+10%Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,103 a 18,682
T	Cobre	Cobre- Níquel(Contantán)	-250 a 400	-6,181 a 20, 873
U	Cobre	Cobre- Níquel(Contantán)	-200 a 600	-5,693 a 34,320

Tabla XII, Termocuplas

3.1.3. Relé en estado sólido.

El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, que por medio de una bobina y un electroimán, que acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en

poco tiempo los contactos, estos relés permiten una velocidad de conmutación superior a la de los relés electromecánicos, fig35.

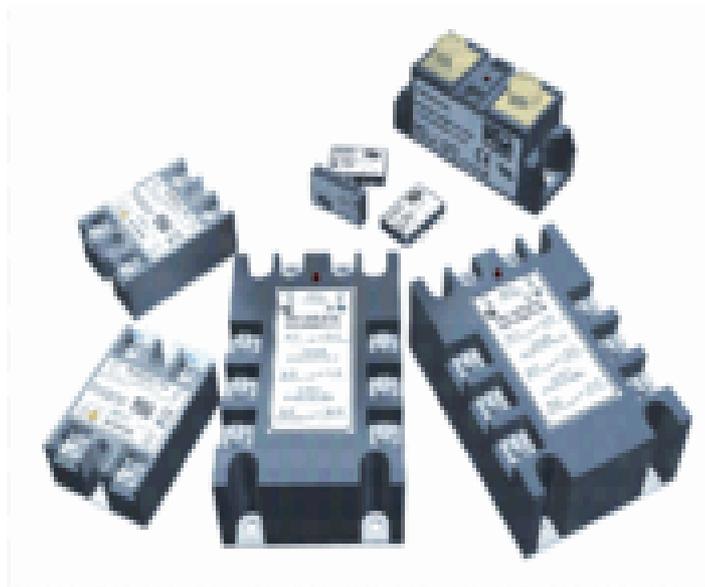


Figura 35, relé de estado sólido.

3.2. Dimensionamiento de quemador.

Para determinar el tipo de quemador que se debe emplear en el horno de baño de sales, se debe calcular el calor necesario para el calentamiento requerido por el horno, con la siguiente ecuación:

$$Q = w * Cp * \Delta T$$

Donde:

Q = cantidad de calor necesario

w = peso de los materiales

Cp = calor específico de material considerado

ΔT = intervalo de temperatura

La cantidad de calor necesario total requerido por el horno será la suma de calor necesario para fundir la sal, calor necesario para calentar el crisol, el refractario, el aislante y la chapa metálica, de donde se obtiene los siguientes datos.

Datos generales:

Temperatura que alcanzará el horno: 1200 °C

Baño de sales a utilizar: 50 % NaCl+50%KCl

Temperatura de fusión de sales: 670 °C

Temperatura de trabajo : 750-900(°C)

Tipo de crisol : Crisol de acero ASTM A-36

Volumen de la chapa metálica que conforma el crisol: 2765 cm³

Volumen del crisol: 12567 cm³

Volumen de la sal: 12567 cm³

Volumen de refractario : 144623 cm³

Volumen de aislante : 138342 cm³

Volumen de chapa metálica: 3921 cm³

δ =Densidad

$$\delta_{acero} = 7854 \frac{Kg}{m^3} \approx 7.854 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\delta_{refractario} = 3010 \frac{Kg}{m^3} \approx 3.010 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\delta_{aislante} = 2050 \frac{Kg}{m^3} \approx 2.050 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\delta_{KCl} = 1.38 \frac{gr}{cm^3} / \delta_{NaCl} = 2.16 \frac{gr}{cm^3} \approx \delta(KCl + NaCl) = 1.77 \frac{gr}{cm^3}$$

w = Peso

$$w_{sal} = 22.245 \text{ Kg} \approx 22245 \text{ gr}$$

$$w_{crisol} = 21.716 \text{ Kg} \approx 21716 \text{ gr}$$

$$w_{refractario} = 435 \text{ Kg} \approx 435000 \text{ gr}$$

$$w_{aislante} = 284 \text{ Kg} \approx 284000 \text{ gr}$$

$$w_{chapa\ metálica} = 30.796 \text{ Kg} \approx 30796 \text{ gr}$$

Cp = Calor específico

$$Cp_{sal} = 753.48 \frac{J}{kg * ^\circ C} = 0.18 \frac{cal}{gr * ^\circ C}$$

$$Cp_{crisol} = 434 \frac{J}{Kg * K}$$

$$Cp_{refractario} = 835 \frac{J}{Kg * K}$$

$$Cp_{aislante} = 960 \frac{J}{Kg * K}$$

$$Cp_{chapa\ metálica} = 434 \frac{J}{Kg * K}$$

3.2.1. Calor necesario de calentamiento del baño de sales.

$$Q_1 = w * Cp * \Delta T$$

$$Q_1 = (22245gr) * \left(0.18 \frac{cal}{gr * ^\circ C}\right) * (680^\circ C)$$

$$Q_1 = 11398.48KJ = 10806 BTU = 2723 Kcal$$

3.2.2. Calor necesario de calentamiento del crisol

$$Q_2 = (21.716 Kgf) * \left(434 \frac{J}{Kg * K}\right) * (473K)$$

$$Q_2 = 4458 KJ = 4230 BTU = 1066Kcal$$

3.2.3. Calor necesario de calentamiento del refractario

$$Q_3 = (435 Kgf) * \left(835 \frac{J}{Kg * K}\right) * (1038K)$$

$$Q_3 = 377028 KJ \approx 357711BTU \approx 90143 Kcal$$

3.2.4. Calor necesario de calentamiento del aislante

$$Q_4 = (284 Kgf) * \left(960 \frac{J}{Kg * K}\right) * (468K)$$

$$Q_4 = 127596 KJ \approx 121058 BTU \approx 30507Kcal$$

3.2.5. Calor necesario de calentamiento de chapa metálica

$$Q_5 = (30.796 Kgf) * \left(434 \frac{J}{Kg * K}\right) * (323K)$$

$$Q_5 = 4317 KJ \approx 4096 BTU \approx 10322Kcal$$

Con los valores obtenidos en las ecuaciones anteriores procedemos a calcular el calor total (Q_t) requerido para el calentamiento del horno que es la suma de los mismos.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q_t = 564109.55KJ = 134761 Kcal \approx 497901BTU \approx 145926 Wh$$

Deduciendo el resultado de Qt se necesita un quemador de 145.9 Kwh, se tiene dos tipos de quemadores con esta potencia, el quemador SM y SF tabla XIII y tabla XIV.

Características	Quemador	
	SM	SF
Tasa de tiro	1,25 a 3,00 gph	1,25 a 5,50gph
Motor	1/5 HP	1/4 HP
Capacidad de la bomba de combustible	3gph(estándar)	7gph(estándar)
Bloque de válvula solenoide de aceite	Opcional	Requerido por encima de los 3gph
Tiempo de bloqueo de control primario	15 a 45 segundos(opcional)	15 segundo máx.

Tabla XIII, Termocuplas

De donde se selecciona uno de los dos quemadores empleando el poder calorífico de diesel, su densidad, y el Qt , para encontrar el número de galones hora requeridos para el horno de baño de sales.

Descripción	Especificaciones	
Modelo SM Capacidad	Tasa de disparo	01,25-3,00GPH
	Entrada	175,000-420,000 Btu/hrs
Modelo SF Capacidad	Tasa de disparo	1,25-5,50GPH
	Entrada	175,000-770,000Btu/hrs
Certificación/Aprobación	Modelo SM	UL ANSI/UL296 y CSA-B140.0.
	Modelo SF	ANSI/UL296 y CSA-B140.0.
Combustibles	Modelo SM	Diesel N°2
	Modelo SF	Diesel N°2
	PRECAUCION	NO USAR GASOLINA
Eléctrico	Fuente de alimentación	120 Volts AC, 60Hz/monofásica
	Carga de trabajo SM	5.8 Amps máx.
	Carga de trabajo SF	7.1 Amps máx.
	Motor SM	1/5hp, 3450 rpm
	Motor SF	1/4hp, 3450 rpm
	Encendido	Trabajo continuo de estado sólido de ignición
Dimensiones(estándar)	Alto	12.5"
	Ancho	15"
	Profundidad	8.50"
	Diámetro de tubería aire	4"

Tabla XIV, Especificaciones quemadores

Donde:

$$\delta_{diesel} = 865.25 \frac{Kg}{m^3}$$

$$P_{C_{diesel}} = 41851KJ$$

$$w = 1 Kg$$

$$Q_t = 564109.55KJ$$

Si al quemar 1 Kilogramo de diesel se produce una energía de 41851 kJ, para el calor total calculado (Q_t) se quemara un x de masa.

$$x = \frac{Qt * w}{Pc}$$

$$x = \frac{564109KJ * 1Kg}{41851 KJ}$$

$$x = 13.48 Kg$$

Para el cálculo del volumen de diesel requerido para la masa x calculado se emplea la formula de la densidad.

$$\delta = \frac{x}{Volumen}$$

$$Volumen = \frac{x}{\delta}$$

$$Volumen = \frac{13.48 Kg}{865.25 Kg/m^3}$$

$$Volumen = \frac{13.48 Kg}{865.25 Kg/m^3}$$

$$Volumen = 0.0155m^3$$

De donde se sabe que:

Un Galón americano tiene $0.0037853 m^3$, por lo tanto el valor calculado $0.0155m^3$ equivale a 4.09 galones (4 gph), por lo tanto seleccionamos un quemador a diesel SF, fig36.



Figura 36. Quemador a diesel SF.

La información técnica del quemador a diesel, se encuentra en el anexo 3.

Capítulo IV: Montaje de horno para baño de sales y del quemador a diesel.

4.1. Montaje de horno para baño de sales.

El montaje de los elementos para el horno de baño de sales está compuesto por varias operaciones y elementos que se describen a continuación.

4.1.1. Partes metálicas.

El primer paso para el montaje de los elementos del horno, es formar la base metálica con ángulos, la cual se convertirá en la base estructural de refractario y chapa metálica fig37.

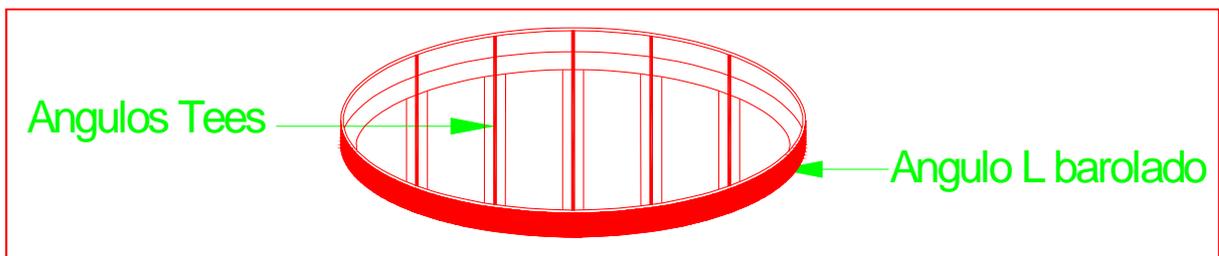


Figura 37. Base metálica.

Seguidamente se procede a la unión de la base y tapa con la chapa metálica barolada, como se muestra en la fig38.

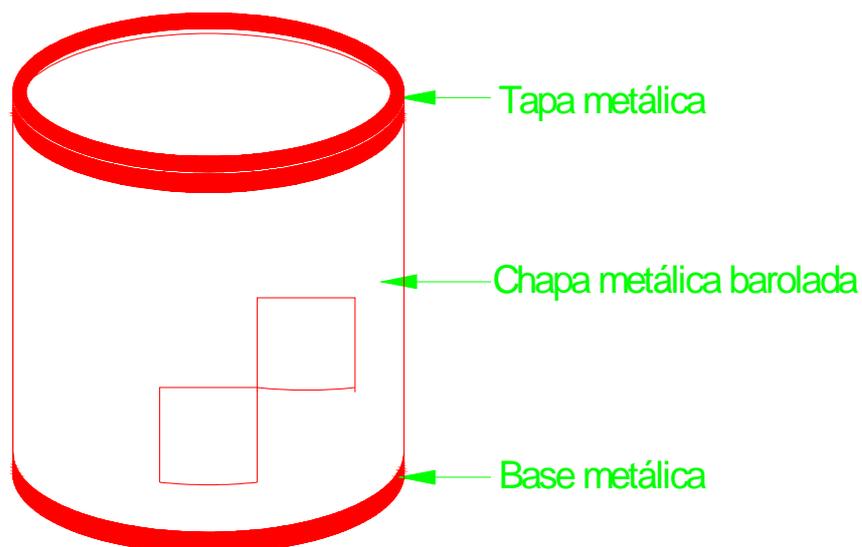


Figura 38. Base y tapa metálica.

Dicha estructura metálica se asentara sobre dos canales U, los cuales se soldaran a la base del horno como indica en la fig39.

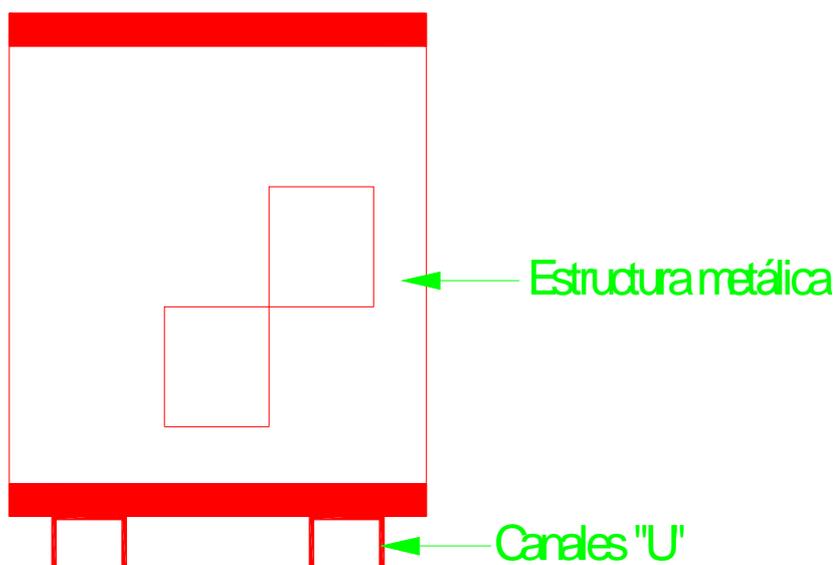


Figura 39. Canales “U” soldados a estructura de horno.

Finalmente se sueldan a la estructura varias platinas que conforman la chimenea y la entrada del quemador tal como se muestra en la fig40.

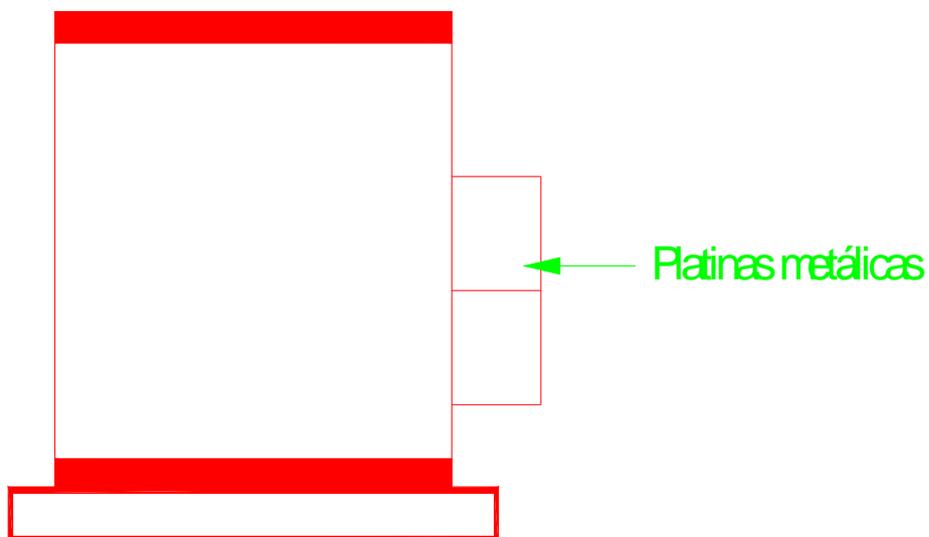


Figura 40. Estructura metálica de horno.

4.1.2. Paredes de refractario y aislante.

Una vez que la estructura metálica está terminada se procede a la construcción de la base de refractario, tal como se muestra en fig41.

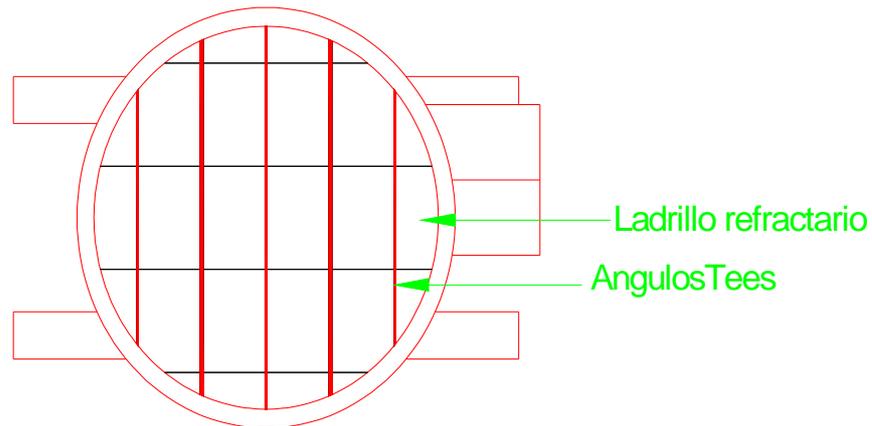


Figura 41. Base de ladrillo refractario.

Sobre esta base se asienta una base de ladrillos U-32 (ladrillo denso), la cual estará en contacto con la llama generada por el quemador, fig. 42.

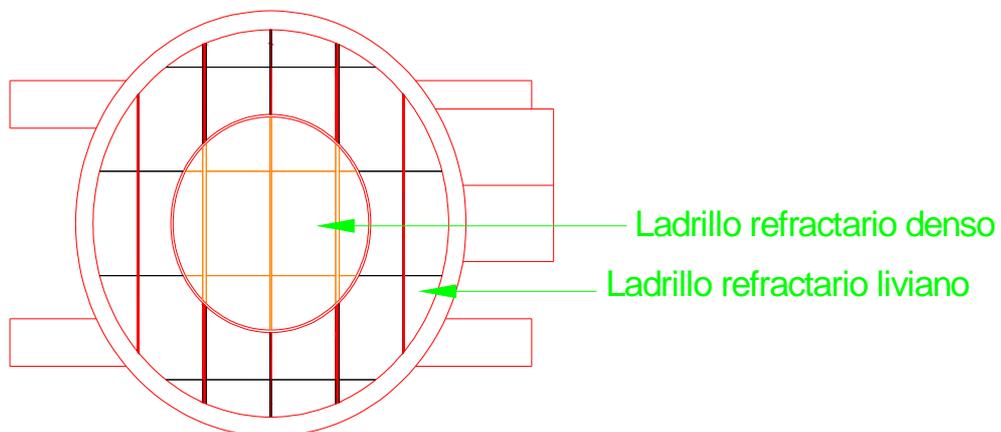


Figura 42. Base de ladrillo refractario denso U-32.

Alrededor de esta base de refractario U-32(ladrillo denso) se coloca la pared de refractario, formando la cámara del horno, se debe de proveer el espacio por donde estará ubicado el quemador y la chimenea fig. 43.

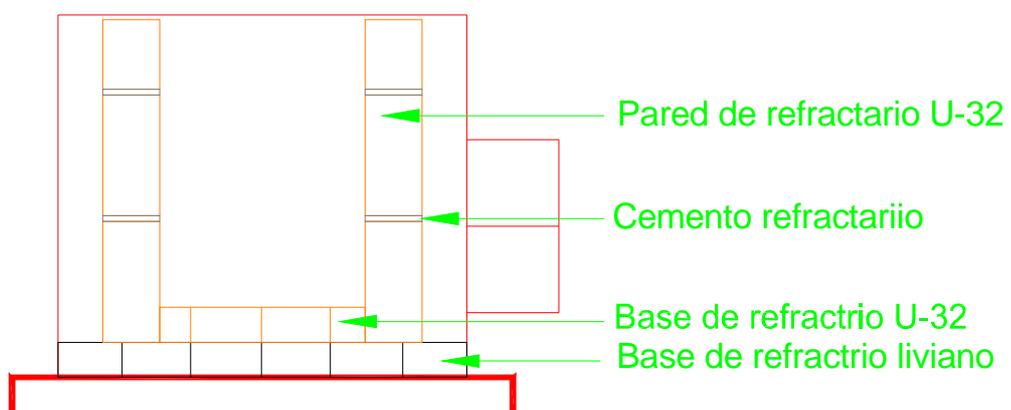


Figura 43. Pared de refractario denso U-32.

La pared de refractario estará rodeada de una capa de diatomita, fig44.

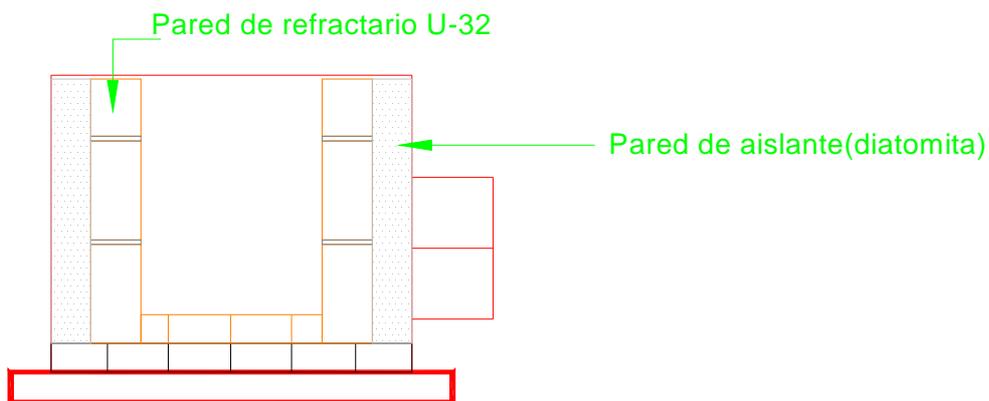


Figura 44. Pared aislante (diatomita).

Finalmente se construye el ducto en donde estará ubicado el quemador, y la chimenea, fig45.

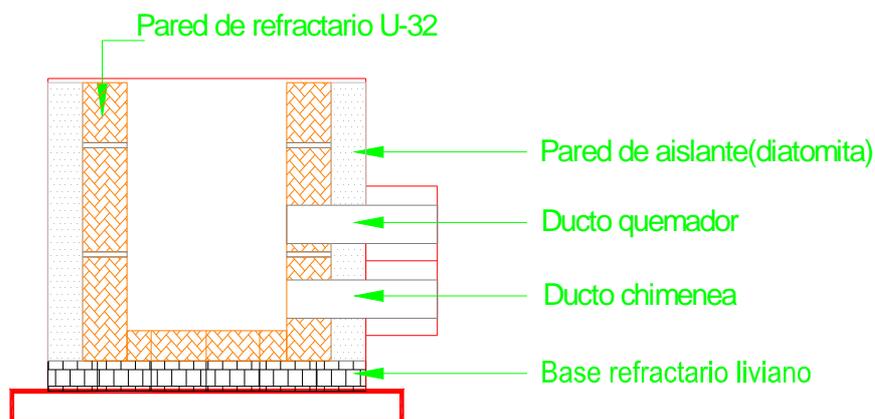


Figura 45. Horno con refractario.

4.2. Montaje de quemador a diesel.

El quemador se ubica en el ducto antes mencionado, el cual estará sostenido por 3 tornillo acoplados en tacos Fisher, como se indica en la figura 46, 47, 48.



Figura 46. Montaje quemador.



Figura 47. Montaje quemador.



Figura 48. Montaje quemador.

Una vez colocado el quemador en el ducto del horno, se hace coincidir las perforaciones de la brida del quemador con los tacos Fisher instalados en el horno, se coloca la tuerca y se procede a ajustar, fijando así el quemador al horno, figuras 49, 50, 51, 52.



Figura 49. Montaje quemador.



Figura 50. Montaje quemador.



Figura 51. Montaje quemador.



Figura 52. Montaje quemador.

Con el quemador fijo en el horno, se procede conectar la manguera del combustible, y realizar las conexiones eléctricas para el control de temperaturas. Primero, se conecta la manguera del combustible al nepló del quemador, luego se

acopla la válvula de paso que se encuentra unida a la manguera de combustible, como se indica en las fig53,54.

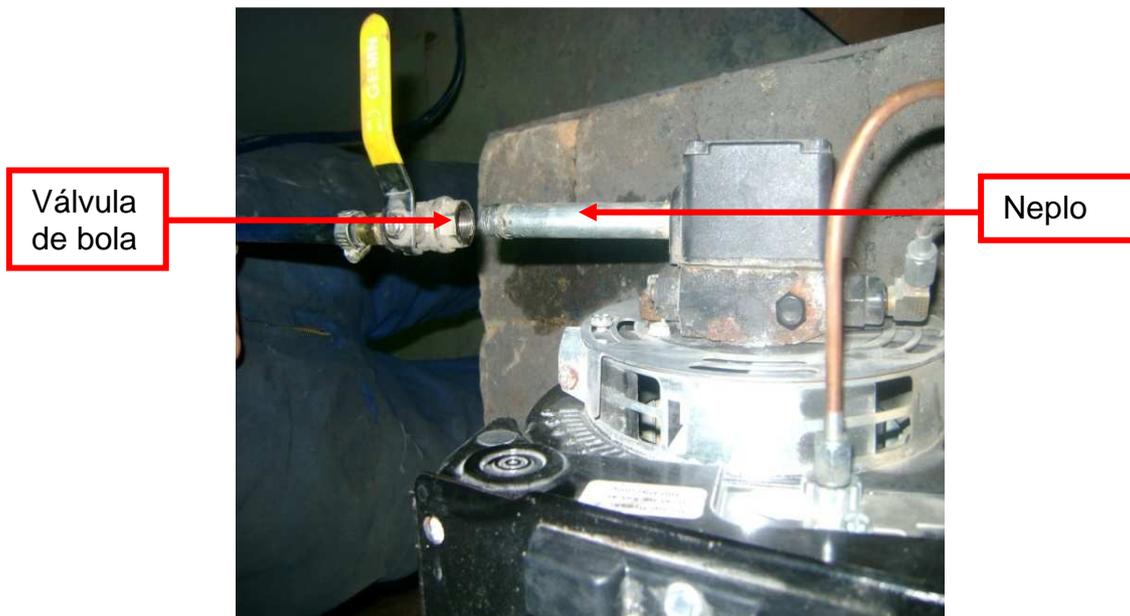


Figura 53. Conexión combustible.



Figura 54. Conexión combustible.

Finalmente se instala la parte eléctrica de control de temperaturas y la alimentación de 110 Voltios, como se indica a continuación, se conecta en la bornera los cables de color, negro con negro, y blanco con blanco, fig55.



Figura 55. Conexiones eléctricas.

4.3. Pruebas en vacío del quemador a diesel.

Como primer paso para encendido del horno se realizara pruebas del quemador, con el propósito de regular la llama y asegurar su funcionamiento correcto, fig56



Figura 56. Pruebas de quemador en vacío fuera del horno.

La misma operación se vuelve a repetir una vez instalado el quemador en el horno para baño de sales, fig57.



Figura 57. Pruebas de quemador en vacío instalado en el horno.

4.4. Pruebas del horno y del quemador, con carga.

Para las pruebas del horno de baño de sales con carga, se realiza un tratamiento térmico, el cual consiste en templar un acero de construcción mecánica denominado V945, cuyas características se muestra a continuación.

Composición química.- 0.45% de C, 0.25% de Si, 0.65% de Mn.

Descripción y aplicaciones.-es un acero de alta calidad, de mayor resistencia mecánica que el acero de transmisión, se emplea en la fabricación de partes de maquinaria de pequeña sección sometidos a esfuerzos normales como; árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, pines, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrices.

Normas comparables.- AISI 1045, DIN/EN <1.1191> C45.

Tratamiento térmico.- recocido 650°C a 700°C, temple 820°C a 860°C, el enfriamiento puede hacérselo en agua o aceite.

El templado se realizara en baño de sales la cual está compuesta por 50% de NaCl (Cloruro de sodio), y 50% de KCl (Cloruro de potasio), cuyas características y temperaturas se indican en la tabla VII en el capítulo II, para este tratamiento térmico se templarán dos probetas de acero V945 pulidas, de Ø 35x17(mm) y serán enfriadas en agua y aceite, fig58.



Figura 58. Probetas a templar.

Preparación de las probetas

Previamente se realiza un amarrado de las probetas con alambre recocido, fig59.



Figura 59. Amarrado de probetas a templar.

Para llevar las probetas al baño de sales fundidas, se precalienta como se indica en la fig60.

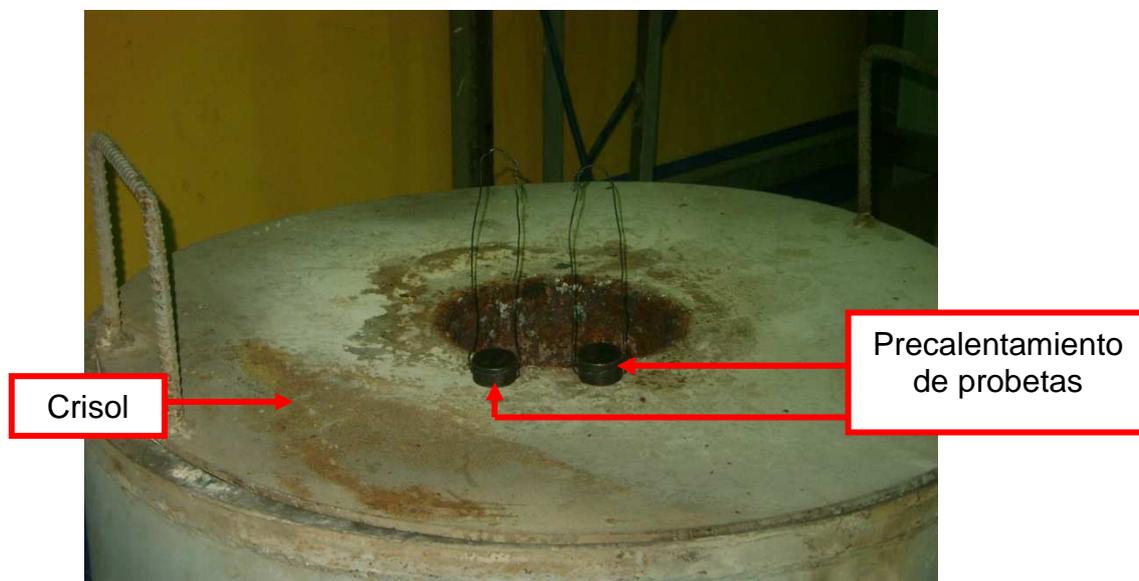


Figura 60. Precalentamiento de probetas.

Precalentadas las probetas, se procede a colocarlas en el gancho, y una vez llegada a la temperatura de temple se procede a sumergir las probetas en el baño de sales fundidas (fig61) y luego de un tiempo de permanencia necesario se sacan para ser enfriadas rápidamente en aceite y en agua, fig62, 65, y 67.



Figura 61. Baño de sales fundidas



Figura 62. Probetas listas para enfriarse

4.5. Resultados.

De la prueba realizada se obtuvo los siguientes resultados.

Tiempo de calentamiento del horno.

Interpretando la fig63, se puede decir, que durante el calentamiento del horno en la primera hora alcanzó una temperatura de 500⁰C, en una hora con treinta minutos alcanza los 900⁰C, llegando a la temperatura deseada de 1200⁰C en dos horas con treinta minutos. El tiempo de calentamiento puede variar según se regule la salida de aire o combustible del quemador a diesel.

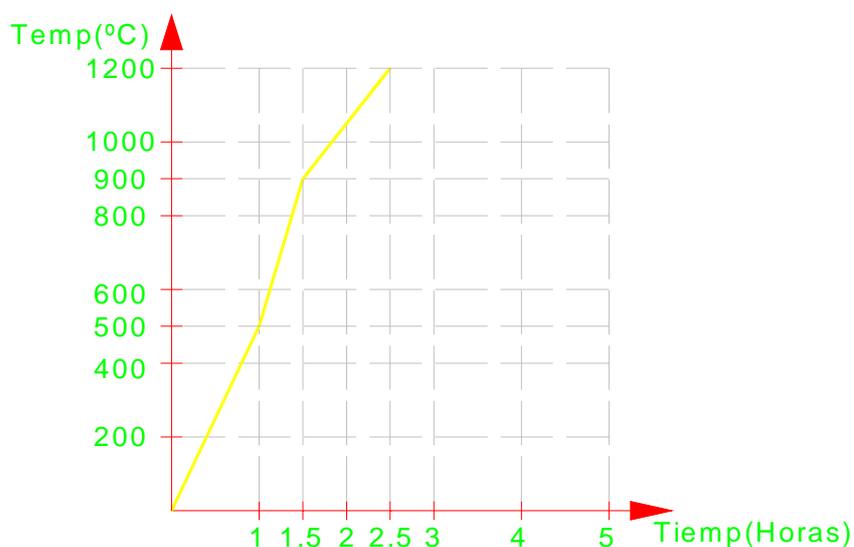


Figura 63. Tiempo de calentamiento de horno.

Templado de aceros.

El temple es un proceso de calentamiento al que se somete al acero, concretamente a piezas o masas metálicas ya conformadas en el mecanizado, para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad, el proceso se lleva a cabo calentando el acero a una temperatura predeterminada en la cual la perlita se convierte en austenita, después la masa metálica es enfriada rápidamente, sumergiendo o rociando en agua, aceite, aire, sales o en otros fluidos.

Templado en aceite.

El proceso de templado de una de las probetas de acero V945 se describe a continuación.

Precalentamiento.

Antes de temprar conviene siempre precalentar el acero, el precalentado ofrece las siguientes ventajas:

Elimina las tensiones del maquinado.

Acorta el tiempo necesario para templar y así reduce la decarburización y oxidación al templar.

Disminuye la deformación que pueda resultar.

La probeta fue colocada en la tapa del horno, inicialmente en la parte más exterior de la tapa introduciéndola poco a poco hacia la boca del crisol, hasta alcanzar la temperatura de 500°C, precalentando a esta temperatura durante una hora, para posteriormente ser sumergida en el baño de sales fundidas a 830°C, con un tiempo de permanencia igual a (fig63):

$$\zeta_p = \frac{\zeta_c}{4}$$

$$\zeta_p = \frac{2\text{horas}}{4}$$

$$\zeta_p = 0.5 \text{ horas}$$

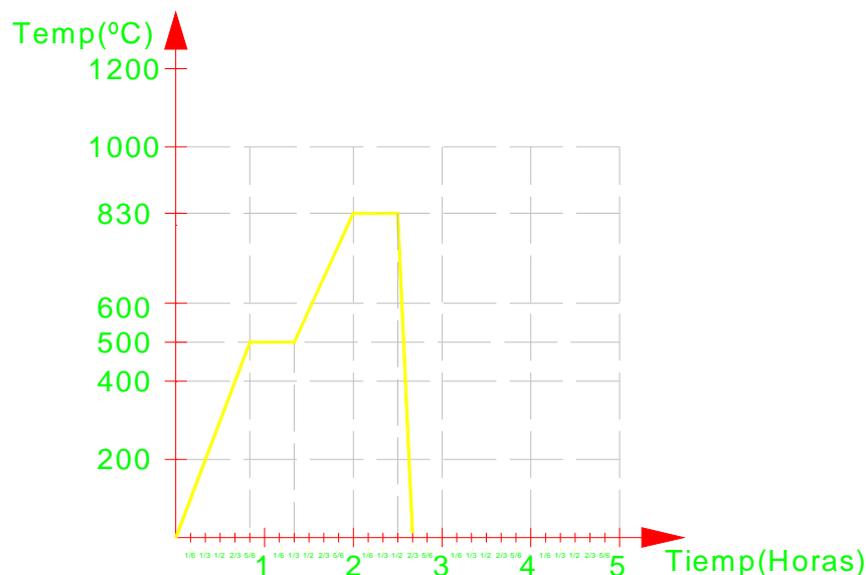


Figura 64. Temple con enfriamiento en aceite.

Enfriamiento.

Una vez cumplido el tiempo de permanencia a 830°C, se retira la probeta del baño de sales fundidas (fig62), y se enfría rápidamente en un recipiente con aceite, haciendo girar la probeta en forma circular para que el enfriamiento sea uniforme, fig.65. Dureza obtenida 40 HRC.



Figura 65. Enfriamiento en aceite

Templado en agua.

El proceso de templado de la segunda probeta de acero V945 es similar al templado en aceite, con la variación del medio de enfriamiento.

Pre calentamiento.

La probeta fue colocada en la tapa del horno, inicialmente en la parte más exterior de la tapa introduciéndola poco a poco hacia la boca del crisol, hasta alcanzar la temperatura de 500°C, precalentando a esta temperatura durante una hora, para posteriormente ser sumergida en el baño de sales fundidas a 830°C, con un tiempo de permanencia igual a (fig.64):

$$\zeta_p = \frac{\zeta_c}{4}$$

$$\zeta_p = 0.5 \text{ horas}$$

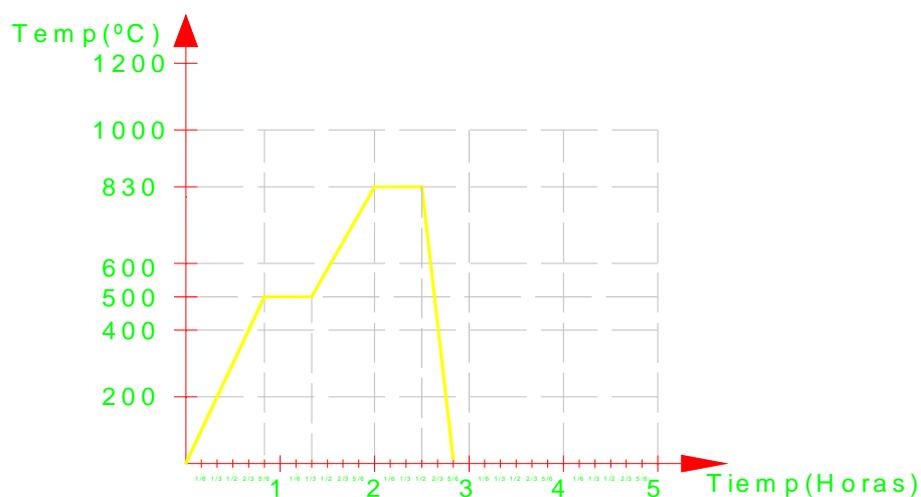


Figura 66. Temple con enfriamiento en agua.

Enfriamiento.

Una vez cumplido el tiempo de permanencia a 830°C, se retira la probeta del baño de sales fundidas (fig62), y se enfría rápidamente en un recipiente con agua, haciendo girar la probeta en forma circular para que el enfriamiento sea uniforme, fig67. Dureza obtenida 56 HRC.



Figura 67. Enfriamiento en agua.

Capítulo V: Manual de operaciones.

5.1. Combustible

Con todos los elementos del horno de baño de sales instalados y listos para cualquier operación que se desea realizar en el mismo, verificamos que el tanque de almacenamiento de combustible (fig68) este con diesel, para asegurar el encendido y operación sin interrupciones, dicho tanque es de 200 litros de capacidad, el quemador consume aproximadamente 4gph (15.12 litros por hora), se recomienda por lo menos tener en el tanque de almacenamiento con 40 litros de combustible para asegurar una operación de 2.5 horas. Se debe verificar al inicio y final de cada operación el estado o cantidad de diesel almacenado en el tanque de combustible.



Figura 68. Tanque de almacenamiento diesel.

Una vez verificada la existencia adecuada de diesel se procede a abrir la válvula de paso con el fin de alimentar al quemador con combustibles, fig.69, 70.



Figura 69. Válvula cerrada (OFF).



Figura 70. Válvula abierta (ON).

5.2. Conexiones eléctricas.

Se debe revisar si están bien conectados los cables del quemador con los cables del control de temperaturas (fig71), si se conectasen en forma contraria podría haber averías en el control de temperaturas o no arrancaría el quemador.

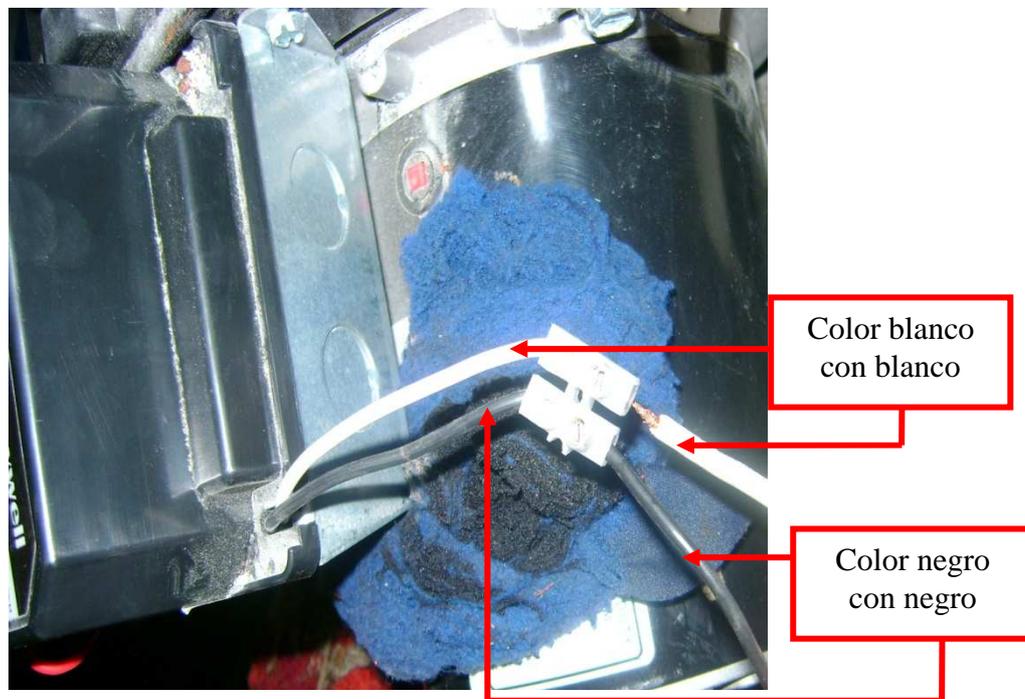


Figura 71. Conexiones.

Se conecta la alimentación de 110 Voltios que sale de la caja de control de temperaturas, y se pulsa en la botonera ON (encendido), fig72.



Figura 72. Botonera de encendido y apagado del sistema.

Se verifica que se encienda la luz piloto de energía (LOAD), fig73.

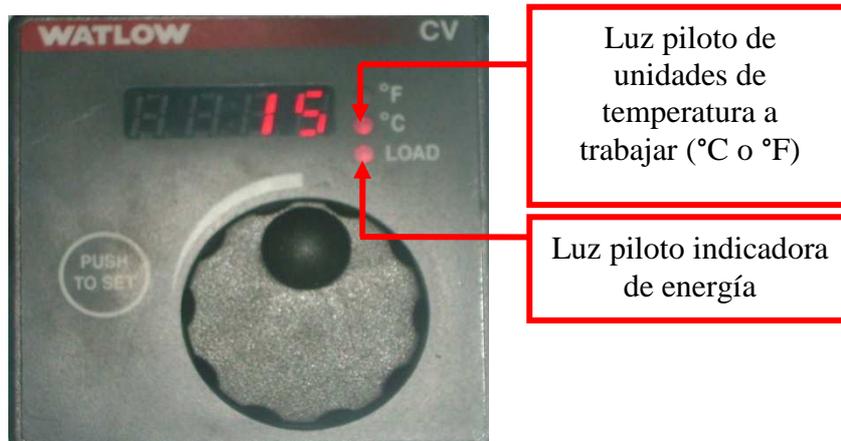


Figura 73. Luces indicadora o piloto.

Luego se programa la temperatura que se desea alcanzar, girando la perilla en sentido horario para subir la temperatura o en sentido anti horario para disminuir la temperatura, una vez que indique la pantalla led la temperatura que deseamos alcanzar se pulsa el botón PUSH RESET de esta forma quedara guardada dicha temperatura, una vez que la termocupla sense la temperatura desea el quemador automáticamente se apagara y encenderá al sensor una disminución de 5° C en la temperatura programada, fig74.



Figura 74. Perilla y botón de seteo para temperatura a alcanzar.

Es importante tomar las medidas de seguridad indicadas a continuación, para evitar lamentables accidentes o percances antes, durante y después de la operación.

Precaución: al inicio del calentamiento para la fundición de las sales, estas por estar húmedas tienden a salpicar y chocar entre ellas y con el crisol de acero, provocando un ruido, por lo que se recomienda mantener la calma ya que es muy común este fenómeno debido a la humedad que contienen las sales



Extintor cercano a la operación, en caso exista indicios de incendios no controlados.



Utilizar guantes de cuero para evitar quemaduras.



Prohibido fumar..



Usar protección visual.



Usar protección auditiva.

Conclusiones

Se logra concluir el objetivo planteado del dimensionamiento, construcción y puesta en marcha de un horno para baño de sales para el taller de Procesos de Producción Mecánica de la E.P.N.

El dimensionamiento y construcción de los elementos del horno para baños de sales fundidas fue el adecuado, ya que se logro alcanzar la temperatura máxima para la cual el horno fue construido, se logro realizar llegar a la temperatura de fusión de la sales fundida, y posteriormente a templar aceros.

El espesor de pared de la cámara como del aislante de diatomita fue suficiente para no tener pérdidas de calor, y una temperatura en la pared metálica de 35°C.

Debido exceso de concreto refractario colocado en la cámara del horno y por estar en contacto directo con la llama del quemador a diesel, tuvo problemas de descascaramiento, sin afectar en ninguna forma la unión de los ladrillos que conforman la cámara del horno.

La ausencia de oxidación y decarburización de las probetas empleadas en el templado fue evidente al momento de emplear baños de sales fundidas.

En el proceso de templado de las probetas se pudo constatar, que la velocidad de enfriamiento del agua es superior a la del aceite debido a que se obtiene una mayor dureza.

La versatilidad, su alta potencia y fácil manejo del quemador, hace que este puede ser empleado en una infinidad tanto de operaciones de tratamientos térmicos, como para otros fines como fundición.

El quemador posee la suficiente potencia para producir el calor necesario para fundir el volumen de carga en un tiempo determinado.

El horno está concebido para realizar cualquier tipo de templado, o revenido en baños de sales fundidas, seleccionadas para el efecto.

Con el control de temperaturas automático, se puede tener un proceso controlado del tratamiento térmico a realizado.

La composición del baño de sales empleadas para pruebas del horno, fueron ideales, ya que no son nocivas para la salud humana.

RECOMENDACIONES

Se debe continuar con la investigación de tratamientos térmicos y los tipos de baños de sales que se pueden emplear, incentivando a los estudiantes a aplicar sus conocimientos adquiridos en las aulas.

Con el fin de evitar accidentes al momento remover el crisol de la cámara del horno, se debe de usar elementos de seguridad tales como zapatos con punta de acero, y guantes.

Al inicio de cada operación se debe verificar la cantidad de combustible existente en el tanque de almacenamiento, tener cuidado al momento de realizar la conexiones eléctricas del control de temperaturas, ya que si son mal conectadas podría haber daños en los circuitos internos del mismo, verificar que la manguera de combustible se encuentre bien acoplada al quemador.

Al seleccionar un tipo de baño de sales para un tratamiento térmico determinado, se debe investigar si emanan gases que sean perjudiciales para la salud humana, si así fuere el caso se debe de tomar las medidas de seguridad requeridas para dicha operación con baños de sales.

Antes de encender el quemador, se verifica que no existan líquidos inflamables dispersados en la cámara del horno, ya que por la alta potencia que posee el quemador, al generar la llama podría ocasionar explosiones.

Utilizar guantes al momento de la manipulación de una determinada sal, ya que estas podrían ocasionar graves quemaduras en la piel.

En futuras operaciones se recomienda aumentar termocuplas con el fin de tener un mejor control de temperaturas en el horno.

Se debe de implementar una tapa para la boca del crisol, debido a que al ser calentadas las sales, estas por estar húmedas chocan entre si y contra el crisol, provocando la salida de algunas partículas de sales que pueden alcanzar a las personas que se encuentran cercanas al horno.

Es recomendable aumentar el espesor de la tapa del horno, o diseñar una tapa la cual sea independiente del crisol.

Para futuras construcciones de hornos se recomienda utilizar paredes de aislante de diatomita la cual se la puede encontrar en la laguna de Yahuarcocha.

Finalmente se recomienda cambiar el diseño de la chimenea ya que se encuentra muy cercana a la bomba del quemador.

BIBLIOGRAFIA.

1. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, (1974), "*Metal Hand Book*", Vol. 4.
2. APRAIZ, (1971), "*Aceros especiales*", Primera Edición, Madrid, Dossat.
3. CATALOGOS, "*Aceros Böhler del Ecuador S.A.*"
4. CATALOGOS, Watlow, "*Controladores de Temperaturas*", Winona, Minnesota USSA <http://www.watlow.com>.
5. ERECOS, (2002), "*Manual de Concretos Refractarios*"
6. GILCHRIST J.D., (1969), "*Hornos*", Primera Edición, Madrid, Alhambra.
7. GIULIANO SALVI, (1975), "*La Combustión*", Segunda Edición; Madrid; Dossat.
8. INCROPERA F., (1962), "*Fundamentos de la Transferencia de Calor*", Prentie Hall Cuarta Edición; México.
9. INEN, (2004), "*Productos derivados del Petróleo*", Diesel Requisitos Quinta Revisión, Quito.
10. MANTILLA W., (1991), "*Investigación y desarrollo de un proceso para fundir Hierros Colados en un horno basculante*", Proyecto CONUEP.
11. OVIDEO F., (1970), "*Diseño de un horno para Tratamientos Térmicos mediante baño de sales*", Tesis, Escuela Politécnica Nacional.
12. PASCUAL J., (1970), "*Técnica y Práctica del Tratamiento Térmico de los Metales Ferrosos*", Primera Edición, Madrid, Blume.
13. SHIGLEY J., (2002), "*Diseño en Ingeniería Mecánica*", Ed. McGraw Hill, Sexta Edición, México.
14. STRELOV K.K., (1975), "*Estructura y propiedades de los refractarios*", Primera Edición, Mir.
15. TRINKS W., (1971), "*HORNOS Industriales*", Tercera Edición, España.

16. VACA O., (1979), "*Diseño de un Hornos para Fundiciones de Aluminio*", Tesis, Escuela Politécnica Nacional.
17. WAGANOFF N., (1963), "*Hornos Industriales*", Primera Edición, Buenos Aires, Mitre.
18. WILSONY KAUFMAN, (1979), "*Electrónica básica*", Primera Edición, México, Mac Graw-Hill.