



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA
Dr. "ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA-QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA

**PERFECCIONAMIENTO DE LOS PARÁMETROS
TÉCNICOS Y CONSTRUCTIVOS EN EL HORNO DE
TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA UEB FUNDICIÓN**
TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN METALÚRGIA Y
MATERIALES

Nayelis Peña García

Moa, 2019



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA
Dr. "ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA-QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA

PERFECCIONAMIENTO DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS Y CONSTRUCTIVOS EN EL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA UEB FUNDICIÓN.

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN METALÚRGIA Y
MATERIALES**

AUTORA: Nayelis Peña García

Firma: _____

TUTORES : Ing. Israel Letusé Velásquez

Firma: _____

Ing. Ernesto Mena Pérez

Firma: _____

Ms.C. Yunior Correa Cala

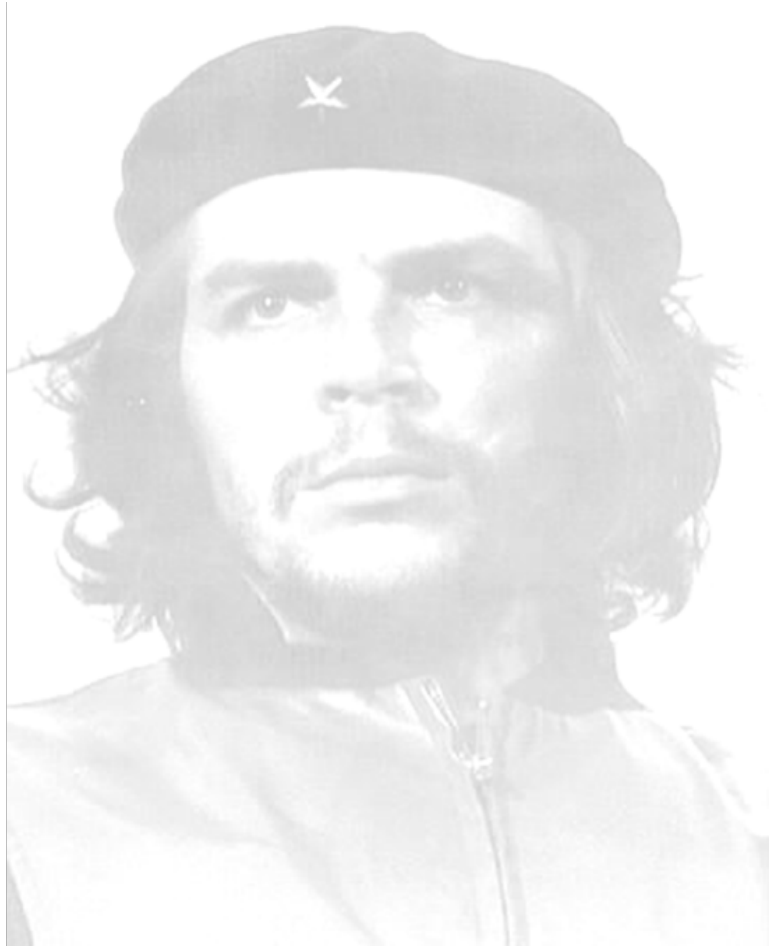
Firma: _____

Ms. C. Orleidy Loyola Breffe

Firma: _____

Moa, 2019

PENSAMIENTO



“El hombre debe transformarse al mismo tiempo que la producción progresa; no realizaríamos una tarea adecuada si fuéramos tan sólo productores de artículos, de materias primas y no fuéramos al mismo tiempo productores de hombres.” Ché

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: **Nayelis Peña García** autora de este trabajo de Diploma y los tutores Ms.C Yunior Correa Cala, Ing. Israel Letusé Velásquez, Ms. C.Orleidy Loyola Breffe y el Ing. Ernesto Mena Pérezdeclaramos la propiedad intelectual de este servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

AGRADECIMIENTOS

En este mundo no hay nada que tú no te propongas sembrar y no lograr recoger, ni caminos que por duros y empedrados que sean no se pueden cruzar, pero siempre encuentra una mano amiga que es capaz de que tu esfuerzo sea menor, persona a la que tú puedes decirle gracias por todo cuando llegue el momento. Por esta razón es que quiero agradecer a todas las personas que de una forma u otra lograron que estos años que han transcurrido, de esfuerzo, estudio y sacrificio, se conviertan en un día feliz.

****Agradezco a DIOS, por su inmensa misericordia al darme la oportunidad de hoy poder estar llegando a la meta final.***

**A la Revolución, por darme la oportunidad de convertirme en profesional.*

**Agradezco especialmente a mis profesores, que incidieron en mi formación profesional durante estos años de estudiante.*

**A los compañeros de la Empresa Mecánica del Níquel, por las informaciones ofrecidas que son la base de este resultado.*

**A mis padres que han estado a mi lado incondicionalmente en todo momento con la esperanza de verme como profesional.*

**A mis dos hermanos, por su inmenso amor.*

**A mi hija por esperarme cada día cuando no pude estar por completo a su lado en los momentos en que yo tenía que estudiar.*

**A mi esposo por su amor y lealtad en todo tiempo apoyándome cuando pensé que no podía más.*

**A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, Dr C Yunior Correa Cala, Ms. C Orleidis Loyola Breffe, Ing Israel Letusé Velásquez, y el Ing Ernesto Mena Pérez.*

**A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron a la realización de este trabajo.*

Gracias a todos de corazón.

DEDICATORIA

El camino para lograr un triunfo es muy duro, en cual siempre te acompañan los tropiezos, las alegrías y los sufrimientos, pero el que cree en Dios, todo le es posible. Con el amor, el cariño, la fuerza, la amistad, la comprensión y el apoyo incondicional brindado por muchas personas que en este momento tan importante y esperado no puedo dejar de mencionar, por todo lo que significan para mí. Este trabajo va dedicado a mi familia y profesores.

RESUMEN

El presente trabajo de diploma tiene como propósito determinar los parámetros técnicos-constructivos del horno de tratamiento térmico de la UEB Fundición para lograr un correcto tratamiento térmico. Para ello se modificaron una serie de parámetros desde el punto de vista técnico y constructivo, determinación del consumo de combustible para cada tipo de tratamiento térmico relacionado con la pieza a tratar y finalmente se realizó una valoración económica basada en los costos de reparación y modificación del horno, así como el costo de cada tratamiento. Los principales resultados se colocaron cuatro quemadores nuevos y se repararon todas las partes constructivas del horno. Se determinó que el consumo de combustible promedio para los diferentes tratamientos es de 748 kg, correspondiéndose con el consumo real actual. Finalmente se obtiene un costo de reparación y modificación capital del horno de 47 709,53 CUP.

Palabras clave:tratamiento térmico, balance de energía, consumo de combustible

ABSTRACT

The purpose of this diploma work is the technical-constructive parameters of the UEB thermal treatment furnace. To this end, a series of parameters was modified from the technical and construction point of view, fuel efficiency for each type of heat treatment was related to the piece to be treated and finally an economic evaluation based on the costs of repair and modification of the Furnace was published. , as well as the cost of each treatment. As main results, four new burners were placed and all the constructive parts of the furnace were repaired. It was determined that the average fuel consumption for the different treatments is 748 kg, corresponding to the actual consumption. Finally, a cost of repair and capital modification of the furnace of 47 709.53 CUP is obtained.

Key words: thermal treatment, energy balance, fuel consumption

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA.	4
1.1 Fundamentos teóricos sobre el tratamiento térmico.....	4
1.2 Desarrollo histórico del tratamiento térmico.	7
1.3. Generalidades sobre el tratamiento térmico.....	9
1.4. Tipos de tratamientos térmicos.	10
1.5. Principales objetivos del tratamiento térmico.	12
1.6 Hornos de tratamiento térmico.	13
1.7 Trabajos precedentes.....	16
1.8 Conclusiones del capítulo	19
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1. Métodos empleados en la investigación.....	20
2.2. Caracterización del horno de tratamiento térmico con dos quemadores.....	21
2.2.1. Características originales del horno.....	21
2.2.2. Caracterización del sistema de combustión del horno de Tratamiento Térmico.....	23
2.2.3. Características del combustible utilizado.....	25
2.3. Características de las piezas a tratar.	26
2.4. Metodología de cálculo del combustible.....	28
2.5. Metodología para el balance térmico del horno.	35
2.6 Análisis económico.....	38
2.6.1 Evaluación Económica para el perfeccionamiento de los parámetros técnicos constructivos del horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición.....	39
2.7.Conclusiones del capítulo.	40

CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	41
3.1. Estado actual del horno.....	41
3.2. Análisis de los resultados del balance de energía para las diferentes piezas y tratamientos.	43
3.2.1 Resultados del balance de Energía de las bolas AC-70X para molinos, durante el proceso de TEMPLE.....	44
3.2.2 Resultados del balance de Energía de las bolas AC-70X para molinos en el proceso de Revenido.	46
3.2.3 Balance de Energía de las placas para la construcción AC-110 Mn, en el proceso de TEMPLE.....	48
3.2.4 Balance de energía del Revenido en las placas para la construcción AC- 110 Mn.....	50
3.2.5 Balance de Energía del proceso de Normalizado para volantas de acero Ac-35.	52
3.3. Valoración económica.	55
3.4 Conclusiones del capítulo 3	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país está determinado por los avances que experimente en el avance de los procesos metalúrgicos para el crecimiento de su economía, de ahí que desde la antigüedad el hombre haya venido desarrollando esta rama de la ingeniería para obtener las variadas y complejas herramientas para ser posible la vida en la sociedad, esto por técnicas de ensayo y error, donde muchas veces los resultados eran cuestiones de accidentes o de imaginación ingeniosa, recogiendo los resultados sin poder explicar la ciencia que le daba origen a sus hallazgos, pero satisfaciendo las necesidades del momento, con el pasar del tiempo las necesidades humanas en la sociedad ha ido de aumento en aumento y cada vez más rigurosa de satisfacer en toda las esferas de la sociedad, tanto así que, la vida de cualquier país no sería posible si no se desarrollan las industrias que hacen viable la construcción de materiales para garantizar la continuidad de la vida humana sobre la tierra. (Yisel Silot).

La tarea fundamental de la economía actual de nuestro país es la sustitución de importaciones. Esta prioridad está dirigida a dos aspectos importantes, en primer lugar depender lo menos posible de recursos externos, pues somos víctimas del injusto bloqueo económico impuesto por el gobierno de los EE.UU, que dificulta el acceso a mercados ventajosos y a fuentes de financiamiento, existiendo el riesgo permanente de la imposibilidad de importar recursos y con ello paralizarse algún sector o empresa, ya sea parcial o totalmente, con el consiguiente impacto sobre la economía y la sociedad; en segundo lugar mejorar los resultados económico-productivos al disminuir el costo de producción o servicios de las empresas que sustituyan las producciones importadas por las nacionales.

La industria del Níquel cuenta con empresas productoras de concentrados de níquel y cobalto y otras que brindan servicios como la empresa Combinado Mecánico. Las empresas de servicios constituyen la fuente fundamental para garantizar la sustitución de importaciones a las empresas productoras y terceros clientes, con

ello disminuir su costo por concepto de mantenimiento y mejorar las utilidades.(Yisel Silot).

La Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” tiene la misión de mantener la disponibilidad técnica y operacional de la industria. Cubana del Níquel y terceros clientes, garantizando los mantenimientos y reparaciones en el tiempo previsto con calidad y bajos costos.

Uno de los principales talleres de la Empresa Mecánica del Níquel es el de Fundición, que se divide en diferentes áreas, entre las que se encuentran el área de Plantillaría, preparación de la carga, preparación de mezclas de moldeo, machería, fusión y el área de acabado. Las piezas luego de salir del horno necesitan de un tratamiento térmico que le permita cumplir con las exigencias operacionales. En tal sentido dentro de la Empresa en la UEB Fundición se encuentra el horno de tratamiento térmico objeto de estudio. (Yisel Silot).

Este trabajo se desarrolla dado la necesidad de un horno de tratamiento térmico que cumpla con las expectativas de producción en la UEB de fundición, ya que este fue explotado por la producción en el convenio de Cuba – Rusia, el cual contaba con 6 quemadores PRIOR SSB, pero con la caída de las relaciones rusas y el alto consumo de combustible de los quemadores se vio en la necesidad el 19 de junio de 1999 de colocarles dos quemadores modelo PRIOR SSB7 por lo funcionaba intermitentemente, por lo que nunca cumplió con las producciones necesitadas del taller de fundición ya que no se pudo alcanzar la temperatura de 1200°C y lograr una correcta homogenización en cada proceso de tratamiento térmico del horno. En tal sentido se está analizando realizarle varias modificaciones técnicas-constructivas que permitan que el horno pueda volver al diseño original en las cuáles se incluyen aumentar el número de quemadores hasta 6, de esta misma marca, por lo que en la actualidad contaría con 6 quemadores con el objetivo de poder lograr un correcto tratamiento térmico en el menor tiempo y consumo de combustible acorde. Por lo que no se conoce como sería el funcionamiento del horno con la adición de 4 quemadores PRIOR.

Se define como **problema**: No está definido el funcionamiento técnico-económico del horno de tratamiento térmico con 6 quemadores PRIOR SSB7 de la UEB de Fundición.

Como **Objeto de estudio**: parámetros técnicos-constructivos del horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición.

El **Campo de acción es**: Proceso de tratamiento térmico en hornos de solera corrediza.

Por lo que se plantea como **hipótesis**: si se definen los parámetros técnico-constructivos del horno de tratamiento térmico, se podrá establecer el correcto funcionamiento logrando que sea más económico.

Como **Objetivo general**: Determinar los parámetros técnicos-constructivos del horno de tratamiento térmico de la UEB Fundición para lograr un correcto funcionamiento dentro de este.

Objetivos específicos:

1. Evaluar los parámetros del horno para la realización del tratamiento térmico de las piezas.
2. Determinar la cantidad de combustible en función del tipo de pieza y del tratamiento térmico dentro del horno de la UEB Fundición.
3. Realizar la valoración económica del proceso de tratamiento térmico en el horno usando 6 quemadores de combustible.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA.

Cuando se hace un estudio es de vital importancia conocer hasta dónde ha llegado la ciencia en la temática analizada, ello permitirá aprovechar de manera eficiente los conocimientos heredados generación tras generación, evitando así arribar a conclusiones erróneas según nuestros puntos de vista y cuestiones analizadas por otros autores.

En el siguiente capítulo se expondrán los fundamentos teóricos del tratamiento térmico de los metales, su desarrollo histórico, tipos, objetivos fundamentales, así como una descripción de diversos trabajos precedentes relacionados con el tema de investigación.

1.1 Fundamentos teóricos sobre el tratamiento térmico.

El objeto de todo proceso de tratamiento térmico consiste en calentar un metal hasta una temperatura determinada y al enfriarlo en un medio de enfriamiento se produzca en el metal el cambio deseado en su estructura.

Los factores fundamentales que influyen en el tratamiento térmico son la temperatura y el tiempo, por lo cual, el régimen de cualquier Tratamiento Térmico puede representarse por medio de un gráfico de temperatura contra tiempo.

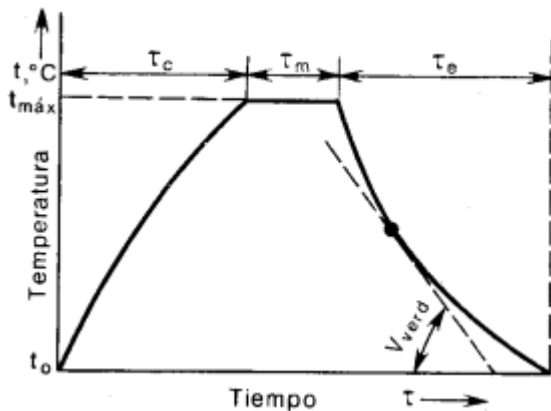


Figura 1.1. Régimen de tratamiento térmico simple. (Pedro Estrada Velix).

El régimen del tratamiento térmico se caracteriza por los siguientes parámetros: temperatura de calentamiento ($t_{\text{máx}}$), es decir, la temperatura máxima hasta la cual se calienta la aleación durante el proceso; el tiempo que se mantiene la aleación a la temperatura de calentamiento (τ_m); la velocidad de calentamiento y por último la velocidad de enfriamiento.

Si el calentamiento o el enfriamiento de la aleación se efectúan a velocidad constante, esto se caracteriza en las coordenadas temperatura – tiempo por una línea recta con determinado ángulo de inclinación constante.

Si la velocidad de calentamiento o enfriamiento no es uniforme, la velocidad verdadera deberá referirse a una temperatura dada, o, mejor dicho, a una variación infinitamente pequeña de la temperatura y del tiempo, es decir, será la primera derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

Para conocer qué tipo de tratamiento térmico y que intervalo de temperatura se debe utilizar para modificar la estructura y propiedades de una aleación se debe emplear el diagrama de estado. Para los tratamientos térmicos de recocido de segundo género, temple y revenido, en la aleación deben ocurrir transformaciones de fases en estado sólido, es decir, al calentarla deben producirse variaciones considerables de la solubilidad o transformaciones alotrópicas.

En el siguiente gráfico, todas las aleaciones que se encuentren a la izquierda del punto F, carecen de transformaciones en estado sólido y para ellas es irrealizable los tratamientos térmicos de recocido, temple y revenido.

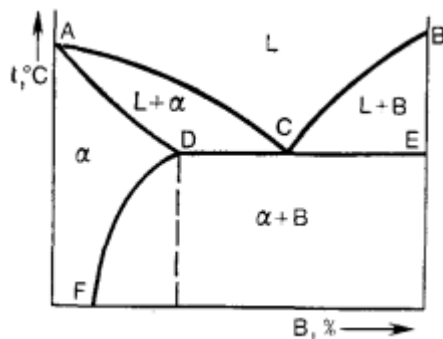


Figura 1.2. Diagrama de estado. (Pedro Estrada Velix).

Las aleaciones que se encuentren a la derecha del punto F, al calentarlas se produce la disolución de la fase que hay en exceso, en este caso de la fase B en la solución sólida α y el temple puede conducir a fijar la solución sólida sobresaturada, un calentamiento posterior (tratamiento térmico de revenido) puede provocar la segregación de la fase en exceso.

Todas las aleaciones que se encuentren entre los puntos F y D, el calentamiento puede hacer que se disuelva totalmente la fase B ya que hay en exceso y puede que se obtenga a altas temperaturas solución α homogénea.

Para aplicar cualquier tipo de tratamiento térmico a un acero hay que recurrir al diagrama hierro-carbono, en el cual se especifican los cambios de estructura relacionados con la temperatura, figura 1.3.

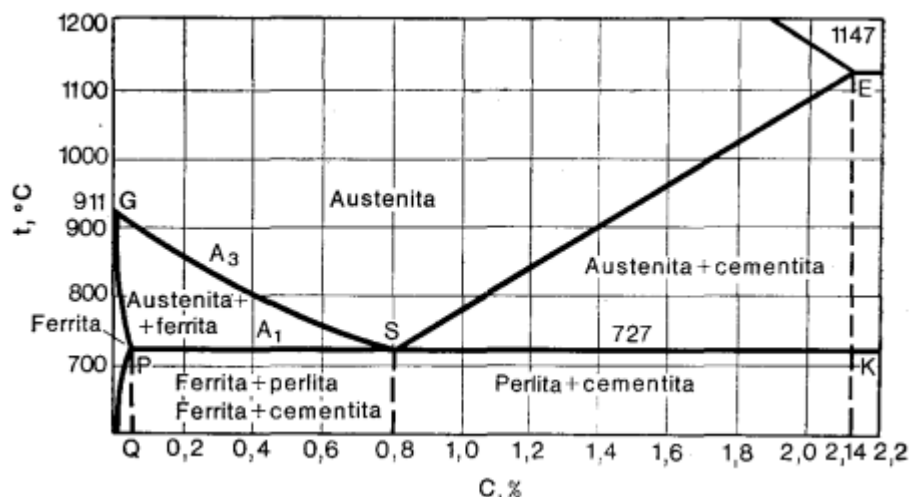


Figura 1.3. Diagrama de estado hierro – carbono. (Pedro Estrada Velix)

Al aplicar un tratamiento de **recocido** (recristalización de fase) se calienta la aleación por encima de A_3 y luego se enfría lentamente. Si se calienta hasta una temperatura superior a A_1 pero inferior a A_3 , la recristalización no será total y se convierte en un recocido incompleto. Con el recocido el estado del acero se aproxima al de equilibrio estructural; la estructura del acero después del recocido es: perlita + ferrita; perlita o perlita + cementita. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el

mecanizado de las piezas, afina el grano, elimina la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas. (Yisel Silot).

Si después del calentamiento por encima de A3 se realiza un enfriamiento al aire, se conseguirá un primer paso hacia el estado estructural de equilibrio. Este tratamiento térmico se denomina **normalizado**, es un escalón transitorio que se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido. Además tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. (Yisel Silot).

Para efectuar un **temple** se da un calentamiento por encima de A3, seguido de un enfriamiento rápido. Cuando el enfriamiento es lento, la austenita se descompone en ferrita + cementita en el punto A1. Al aumentar la velocidad de enfriamiento la transformación se produce a temperatura más baja. La mezcla ferrita + cementita, a medida que desciende A1, se va haciendo cada vez más finamente dispersa y dura. Si la velocidad de enfriamiento es grande y el enfriamiento considerable, la segregación de la cementita y de la ferrita no se produce, la descomposición de la solución sólida tampoco se efectúa y la austenita se transforma en martencita.

Cuando calentamos por encima de A1 pero inferior a A3 estamos en presencia de un temple incompleto, aquí se conserva la estructura ferrítica. (Yisel Silot).

Para aplicar un **revenido** se efectúa un calentamiento del acero templado por debajo de A1. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando el acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento. (Yisel Silot).

1.2 Desarrollo histórico del tratamiento térmico.

El estudio de los procesos de tratamiento térmico del acero comenzó con el descubrimiento por Dmitry Konstantinovich Chernov de los puntos críticos del acero en 1868. El postulado de Chernov acerca de que las propiedades de los aceros se determinan por la estructura y que esta última depende de la temperatura de

calentamiento y la rapidez de enfriamiento, fue generalmente reconocido, y durante los diseños siguientes los investigadores establecieron la relación entre la estructura y las condiciones de su formación, principalmente la temperatura de calentamiento y la velocidad de enfriamiento.

Pero los éxitos fundamentales en la teoría del tratamiento térmico fueron alcanzados a finales de los años 20 y los 30 del siglo XIX. Poco a poco los investigadores llegaron al convencimiento de que el carácter de las estructuras, su constitución, propiedades y otros factores están determinados por la temperatura de su formación, esto lo ayuda a comprender los procesos que ocurren a diferentes temperaturas y los factores que influyen en dicha cinética.

Todas estas ideas sirvieron de base a los experimentos realizados por S. S. Shteinberg, como resultado de las experiencias sistemáticas orientadas a un solo fin, la investigación cinética de las transformaciones que tienen lugar en el acero realizadas por varios investigadores dirigidos por de S. S. Shteinberg en la década de 1930-1940, se consiguió reunir abundante material experimental, que una vez generalizado, constituyó la base de las ideas modernas sobre las transformaciones que tienen lugar en el acero y de la teoría moderna del tratamiento térmico del acero.

Al mismo tiempo o quizás un poco más tarde, pero en la misma dirección que trabajaba la escuela de S.S. Shteinberg, comenzaron a realizar trabajos fuera de la URSS algunos investigadores. En primer lugar, hay que mencionar los trabajos de los científicos norteamericanos Mell y Bain y los alemanes Weber, Henneman y Esser, los cuáles en numerosas y profundas investigaciones estudiaron la cinética de las transformaciones en los aceros de diversas composiciones.

La naturaleza del acero sólo puede esclarecerse utilizando los rayos X y otros métodos de análisis físico de los metales, tales como: microscopia electrónica, rozamiento interno entre otros. Los numerosos trabajos de G. V. Kurdiúmov y de su equipo de trabajo, así como los metafísicos de diversas partes del mundo pusieron de manifiesto las propiedades de la estructura final del acero.(Yisel Silot).

1.3. Generalidades sobre el tratamiento térmico.

La primera etapa de la mayoría de los tratamientos térmicos diseñados para cambiar la estructura y propiedades del acero, consiste en calentar y mantener en una temperatura entre 850 y 950 °C, durante 1 hora por cada 25 mm de espesor de sección de la pieza, para homogeneizar el acero. Cuando se presentan carburos en la estructura la temperatura debe ser aproximadamente de 900 a 950 °C, lo cual descompone los carburos previos a los siguientes pasos del tratamiento térmico.

El tiempo puede extenderse de 6 y 8 horas si se presentaran elementos estabilizantes de carburos. Para fundiciones de forma compleja, donde pueden aparecer tensiones por un calentamiento no uniforme, el calentamiento inicial hasta 600 °C debe ser lento, preferentemente de 50 a 100 °C/h.

Para prevenir escamaduras y descarburización de la superficie durante esta etapa del tratamiento, se recomienda que la temperatura sea mantenida usando un horno sellado; ya que puede ser requerida una atmósfera controlada.

Se tratan térmicamente no solo las piezas semiacabadas (bloques, lingotes, planchas, etc.), con el objetivo de disminuir dureza, mejorar la maquinabilidad y preparar su estructura para el tratamiento térmico definitivo posterior, sino también las piezas terminadas y herramientas para proporcionarles las propiedades definitivas exigidas.

El tratamiento térmico se asocia a menudo con el aumento de la resistencia del material, pero también puede ser utilizado para alterar ciertos objetivos tales como: mejorar manufacturabilidad a máquina, mejorar la conformabilidad, restaurar la ductilidad después de una operación de trabajo en frío. Por lo tanto, es un proceso muy favorable que no sólo puede ayudar a otro proceso de fabricación, también puede mejorar el rendimiento del producto por aumento de la fuerza u otras características deseables.

1.4. Tipos de tratamientos térmicos.

Las variaciones de las propiedades de una aleación que se crean como resultado del tratamiento térmico deben ser permanentes de lo contrario el tratamiento térmico no tendría sentido. Debido a las transformaciones de fase. Todos los tipos de tratamiento térmico pueden dividirse en 4 grupos principales. (A. A. Bochvar)

Primer grupo:

El tratamiento anterior deja al metal en estado inestable, se crea la acritud, debido a la deformación de red cristalina. En la solidificación no hay tiempo de desarrollarse la difusión, en tanto la composición del metal, resulta ser heterogénea. El enfriamiento rápido a la aplicación no uniforme de las tensiones hacen que la distribución de la deformación elástica no sea uniforme. A temperatura ambiente el estado inestable se conserva durante mucho tiempo ya que el movimiento de los átomos es insuficiente para el paso al estado estable.

El calentamiento hace que aumente la movilidad de los átomos y los procesos que conducen el metal al estado estable eliminan las tensiones, disminuyen las deformaciones de la red cristalina, favorecen la difusión y la recristalización alcanzando una velocidad apreciable.

El tratamiento térmico que consiste en calentar un metal que como resultado de un tratamiento anterior se encuentre en estado inestable y lo hace pasar a un estado estable se denomina **recocido**.

Segundo grupo:

Si al calentar una aleación se produce una transformación de fase, el calentamiento por encima de cierta temperatura crítica provoca un cambio de estructura.

Durante el enfriamiento siguiente ocurre la transformación inversa. Si el enfriamiento es suficientemente lento, la transformación será total y la nueva composición de fase corresponderá al estado de equilibrio.

Como característica fundamental de este tratamiento térmico es un calentamiento hasta una temperatura superior a la de transformación de fase y el enfriamiento a pequeña velocidad, esto trae consigo que la aleación obtenga un equilibrio estructural. El tratamiento térmico se denomina **Recocido de 2do género o de recristalización fásica**.

Tercer grupo:

Si al calentar una aleación se producen cambios de fase, la integridad de la transformación inversa (durante el enfriamiento) depende de la velocidad de esta.

Teóricamente podemos asumir condiciones ideales para el enfriamiento, con las cuales no se produzca la transformación inversa. A la temperatura ambiente como resultado del enfriamiento rápido se fija el estado de la aleación característico de las altas temperaturas. Esta operación recibe el nombre de **Temple**.

En muchos casos el temple no fija, o fija parcialmente el estado de la aleación, por esto el caso límite de temple, en que se fija el estado de la aleación a altas temperaturas se llama temple verdadero.

Cuarto grupo:

El estado de la aleación templada se caracteriza por su inestabilidad.

Sin intervención térmica, en la aleación pueden ocurrir procesos que la aproximen al estado de equilibrio. Un calentamiento de la aleación que aumente la movilidad de los átomos facilitará esta transformación. Al elevarse la temperatura la aleación templada se aproxima cada vez más al estado de equilibrio. Este tratamiento térmico, es decir el calentamiento de la aleación templada hasta temperatura inferior a la de las transformaciones de fase en equilibrio se llama **revenido**.

En el recocido de primer género y en el revenido la aleación se aproxima al equilibrio estructural, en ambos casos a la etapa inicial la caracteriza un estado inestable, sólo que para el recocido de primer genero este era resultado del tratamiento previo, en el cual no hubo transformaciones de fases, mientras que,

para el revenido, el tratamiento previo es el temple. De esta forma el revenido es una operación secundaria que se realiza siempre después del temple.

Además de estos tipos fundamentales de tratamientos térmicos existen otros dos procedimientos muy diferentes y que son una combinación del tratamiento térmico con la metalurgia o con la tecnología mecánica, estos son:

TERMOQUIMICO:

Se aprovecha la capacidad que tienen los metales para disolver elementos a elevadas temperaturas, haciendo que los átomos de las sustancias que rodean la superficie se difunden hacia dentro de él, creando una capa superficial de composición combinada. Con este tratamiento no sólo se varía la composición, sino también la estructura de las capas superficiales e incluso a veces la del núcleo.

TERMOMECANICO O TERMOPLÁSTICO:

Es el tratamiento en el cual se combina en un solo proceso tecnológico la deformación y las transformaciones estructurales. La deformación no solo debe dar a la pieza su forma exterior, sino también crear en ella acritud, a este tratamiento se somete precisamente el metal con acritud.

1.5. Principales objetivos del tratamiento térmico.

El tratamiento térmico es un proceso que se le realiza a la pieza para mejorar su estructura interna el cual tiene los siguientes objetivos:

Homogeneizar: eliminar la segregación de solutos. En los aceros efervescentes las impurezas se concentran en el centro de las barras, manteniéndose limpias las regiones superficiales. Esto los hace aptos para estampar.

Los aceros aleados pueden homogeneizarse para corregir defectos de microsegregación, cuidándose que la temperatura no se acerque al punto de fusión.

Ablandar: para mejorar su maquinabilidad, los aceros se someten a tratamientos de recocido. La dureza de la perlita depende del espesor de sus láminas; modificando

la velocidad de enfriamiento, los valores pueden variar entre HB 180 y 400 (equivalente a 600 y 1330 MPa) en un acero SAE 1080.

Distensionar: las piezas pueden acumular tensiones producidas en los procesos de deformación, soldadura o fusión cuando los espesores son variables. No se modifica la dureza ni la estructura.

Endurecer: aumentar el límite elástico, la resistencia máxima y la resistencia a la fatiga.

Aumentar la tenacidad: lograr un valor elevado de resistencia con capacidad de deformarse antes de romperse.

Adicionar elementos químicos: con el objeto de aumentar la dureza superficial.

Remover elementos químicos: por ejemplo, descarburar; no tienen mucha aplicación.(Antonio R. Chang Cardona)

1.6 Hornos de tratamiento térmico.

Los primeros hornos destinados a la fusión de metales fueron, los hornos de crisol, los de hogar directo o indirecto, los de reverbero, hornos de cuba y colmena. Estos hornos son de calentamiento directo; esto quiere decir que la carga no está en contacto directo con el combustible ni con los productos de la combustión.

Muchas veces los hornos se agrupan según las finalidades a que se destinan, y así se habla de: Hornos isotérmicos para sales neutras; Hornos de baño salino; Horno de túnel; Horno de túnel de cinta y alambre; Hornos tubulares; Hornos de cuba con retorta de recambio; Hornos de cuba con circulación de aire; etc.

Horno de tratamiento térmico: No es más que un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado, es utilizado en la industria con el objetivo de cambiar o mejorar la microestructura del metal. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por la combustión de gas u otro combustible, radiación de luz solar, o indirectamente por la electricidad (horno eléctrico).

Tipos de hornos para tratamiento térmico:

A continuación, se describen una serie de hornos para tratamientos térmicos.

Hornos isotérmicos para sales neutras.

Los hornos isotérmicos se llenan con sal neutra y destacan por su rápida e intensa transmisión de calor hacia la pieza con una homogeneidad de la temperatura muy buena. Puesto que la carga se somete a un tratamiento térmico sin oxígeno, se reducen a un mínimo la cascarilla y las coloraciones en la superficie de la pieza. Con temperaturas de trabajo entre 180 y 500 °C, estos hornos son aptos para el enfriamiento de baños calientes con la menor deformación posible de la pieza, para el segundo revenido, la transformación bainítica para una resistencia óptima, el recocido intermedio tras la electroerosión por chispas, etc.

Hornos de baño salino para el tratamiento térmico de acero y metales ligeros.

Los hornos de baño salino destacan por su excelente homogeneidad de la temperatura y la muy buena transmisión de calor a la pieza. El tratamiento térmico se puede realizar con tiempos de mantenimiento más cortos que en los hornos de cámara. Puesto que el tratamiento térmico de la carga se realiza en una atmósfera sin oxígeno, la cascarilla y las coloraciones en la superficie de las piezas se reducen al mínimo.

Los hornos de baño salino se pueden utilizar para el tratamiento térmico de metales en baños neutrales y en baños salinos activos. Ellos se utilizan para nitruración hasta 600 °C, carburación hasta 950 °C y recocido hasta 1000 °C.

Horno de túnel.

Se emplea para el tratamiento térmico de piezas pequeñas en grandes cantidades, en una atmósfera de gas protector o reactivo, ejemplo: temple o recocido. El uso de una retorta hermética permite conseguir atmósferas de gases protectores controladas en el horno. Si como gas de proceso se utiliza hidrógeno o gas craqueado, el horno se equipa con la correspondiente tecnología de seguridad.

En la selección del sistema de transporte influyen factores como la temperatura máxima de trabajo, la carga y geometría de las piezas. Las cintas de transporte convencionales son correas de eslabones metálicas o rodillos.

Para el recocido de alambres o flejes, se emplean hornos de túnel de cinta y alambre, en los que la carga se desenrolla delante y se vuelve a enrollar detrás del horno, siendo conducida de esta forma a través del horno.

Para un rápido enfriamiento de los componentes, se monta directamente detrás de la zona de calentamiento un revestimiento doble refrigerado por agua, cuya longitud queda determinada por los requisitos que debe cumplir la temperatura en la descarga.

Horno de túnel de cinta y alambre.

Estos hornos son extraordinarios para los tratamientos térmicos en continuo a temperaturas de trabajo hasta 1200°C. Los hornos tienen una estructura modular, para adaptarse a diferentes longitudes y anchuras. Los elementos calefactores se encuentran en un lado del horno para poder cambiarlos individualmente durante el funcionamiento. Con la regulación de serie de varias zonas se consigue una homogeneidad óptima de la temperatura, adaptada a la longitud respectiva del horno.

Hornos tubulares.

Los hornos tubulares se adaptan de forma óptima al proceso, gracias al uso de diversos accesorios. Mediante la implementación de diferentes paquetes de gasificación, se puede trabajar en atmósfera de gas protector, en vacío o incluso con gases protectores o reactivos inflamables. Para el control del proceso se pueden utilizar, además de los controladores estándar, los más modernos PLC's.

Dentro de estos hornos encontramos:

Hornos tubulares (estáticos): con T máx. de 1100 a 1800 °C (en vacío T máx. de 1400 °C), son utilizados en funcionamiento horizontal o vertical.

Hornos tubulares rotatorios: para procesos continuos, con T máx. 1100 a 1300 °C

Hornos de cuba con retorta de recambio.

El horno de cuba, ofrece la ventaja de que la retorta se puede extraer del horno mediante una grúa para enfriarse fuera del horno estando conectado el lavado con gas protector. La refrigeración se puede realizar fuera del horno de forma natural en una estación de refrigeración independiente o bien de forma forzada con un potente ventilador de refrigeración. La producción se puede aumentar con el uso de una segunda retorta de recambio que se carga y se inertiza antes de extraer la primera retorta.

Hornos de cuba con circulación de aire.

Los hornos de cuba con circulación de aire se pueden ampliar con retortas herméticas para procesos con atmósfera definida.

Estos sistemas son aptos, entre otras cosas, para el tratamiento térmico de material a granel. Mediante una retorta adicional y una estación de refrigeración, una vez finalizado el proceso de tratamiento térmico, se puede extraer la retorta para que se vaya enfriando en una estación de refrigeración. En componentes delicados también es posible seguir con el lavado de gas protector durante la fase de refrigeración. La estación de refrigeración se puede construir sin o con refrigeración forzada mediante un potente ventilador. (Antonio R. Chang Cardona)

1.7 Trabajos precedentes.

Varios autores a nivel nacional e internacional han desarrollado investigaciones sobre los procesos de tratamiento térmico para diferentes materiales y diversos procesos. En el siguiente epígrafe se relacionan varios de estos trabajos.

Silot, 2014 obtuvo bolas para la molienda del Clinker a partir de una nueva tecnología de fundición, en el trabajo se describe la tecnología de fundición para la obtención de las bolas, se determina la dureza, ovalidad y se le aplica tratamiento térmico a las bolas. Para mejorar las características de las bolas se aplica

tratamiento térmico y utiliza un Horno de cementación, el cual tiene un consumo 55 KW/h; diámetro de 790 mm y longitud de 1000 mm, con una temperatura de hasta 950 °C y realiza los tratamientos de Cementación, Recocido, Temple, Revenido y normalizado.

Vizcáino, 2015 diseña y construye un horno mufla de laboratorio, en el cual se garantiza la realización de diferentes tipos de tratamientos térmicos. Para ello evaluó el material utilizado como acero, ladrillos refractarios, material aislante, entre otros. Para el control del proceso acopló un pirómetro el cual registra la temperatura en el interior del horno. Diseñado posee una potencia de 3,3 kW y funciona con voltaje de 220 V bifásico. La temperatura de diseño es de 1050 °C, la cual se alcanza en 40 minutos.

López y Ramírez, 2011, diseñaron un horno para tratamiento térmico en la empresa CELEC de Ecuador para tratar los rodets de las turbinas Francis los cuales están sometidos a desgastes continuos por la erosión y cavitación de las turbinas. Como resultado se obtuvo un horno para tratamiento térmico con control automático; sensores de temperaturas que registra en tiempo real; el revestimiento consiste en ladrillos refractarios con alto contenido de alúmina.

En una investigación relacionada con los apuntes acerca del tratamiento térmico y la clasificación general de los aceros, Torres, 2004, desarrolló un resumen sobre el lugar que ocupan los aceros dentro del sistema Fe-C, los conceptos metalúrgicos para el estudio de los aceros, evalúa la aleación Fe-C, la estructura cristalina de los metales, el retículo cristalino, la teoría de las aleaciones y sus conceptos generales, obteniendo como resultado el diagrama meta -estable para el tratamiento térmico de los aceros y sus transformaciones durante el tratamiento térmico.

Duarte y Vargas en el 2018, diseñaron un horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada, el horno trabaja con resistencias eléctricas en un rango de temperaturas de 1000 a 1400 °C, controlado por un sistema de control (PLC). Al proceso se alimentan aceros al carbono, aceros inoxidables y aleaciones de

aluminio, en el interior de la cámara se inyecta un gas inerte (argón) y se evalúa la superficie de los materiales.

Flores 2007, diseñó y construyó un horno de Crisol para Fusión de Metales, para ello se basó en los cálculos del principio que rige la educación electromagnética, tuvo en cuenta un volumen de 1300 cm^3 , con una relación altura – diámetro 1.43, tuberías de 0,25 pulgada. Evaluó la operación de calentamiento por inducción. El horno expone las experiencias obtenidas durante la fundición de 2 kg de aluminio y sugiere que se analice la posibilidad de acoplamiento del horno construido con un control computarizado.

Castro 2001, desarrolló una tesis relacionada con la modelación computacional de tratamientos térmicos. Este realiza explicación de los modelos computacionales para la predicción de curvas de enfriamiento en procesos de tratamiento térmico, los cuales permiten entender los complejos fenómenos de transferencia de calor considerando las transformaciones metalúrgicas que ocurren en estos procesos. Además, identifica como el problema directo de conducción de calor influye en el tratamiento térmico, el cual consiste en obtener la distribución de temperaturas en toda la extensión de la pieza y en el tiempo en que tiene lugar la operación.

Andrade 2010, dimensionó, construyó y puso en marcha un horno para tratamiento térmico en el taller de Procesos de Producción Mecánica de la E.P.N. Se logró alcanzar la temperatura máxima de $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 al exceso de concreto refractario colocado en la cámara del horno y por estar en contacto directo con la llama del quemador diésel, tuvo problemas de descascaramiento, sin afectar en ninguna forma la unión de los ladrillos que conforman la cámara del horno. 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, para otros fines como fundición.

1.8 Conclusiones del capítulo.

1. La bibliografía consultada expone los fundamentos teóricos del tratamiento térmico, así como los tipos de hornos empleados para la realización del mismo.
2. La gran mayoría de los trabajos consultados referencian el diseño y fabricación de hornos para tratamientos térmicos.

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se describen los materiales y las secuencias de operaciones realizadas para lograr un menor consumo de combustible del horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición en el momento que se realice un proceso de tratamiento térmico para lograr una mejor productividad.

El objetivo del mismo es: Establecer y fundamentar los métodos, metodologías y técnicas fundamentales a desarrollar en la investigación.

2.1. Métodos empleados en la investigación.

Toda investigación implica la utilización de métodos que viabilicen el cumplimiento del proceso investigativo, además, es la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes métodos:

Método de análisis y síntesis: El análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis, es decir, nos aporta el todo, lo general.

En la investigación el método se emplea para analizar los procesos de tratamientos térmicos.

Método histórico-lógico: El método histórico-lógico permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular.

El mismo es aplicable para estudiar los procesos de tratamiento térmicos desde sus inicios, así como lo referente a modificaciones del horno.

Método inductivo y deductivo: Es un proceso que permite la búsqueda de información, toma como referencia la relación de los aspectos generales a los particulares y viceversa.

Permite abordar los referentes teóricos que se utilizan para sustentar la indagación científica, así como las investigaciones precedentes aplicadas a los procesos de tratamiento térmico y lo referente a modificaciones del horno.

2.2. Caracterización del horno de tratamiento térmico con dos quemadores.

Este horno después de la modificación que se realizó en los años 90 producto a la caída del campo socialista, se mantuvo sin explotación por más de una década ya que no cumplió con las expectativas de producción esperada, por lo que sus deficiencias técnicas eran muchas, como por ejemplo en la carretilla porte piezas tenía una desalineación de los rodillos de traslación, el sistema de frenado defectuoso, el sprock de accionamiento desgastado y el revestimiento deteriorado. Por otra parte los sistemas de accionamiento de puerta y carretilla tenían los sistemas de frenado y electro frenos defectuosos, así también la bóveda y estructura interior tenía un revestimiento refractario en mal estado técnico, al igual que sus cámaras de quemadores, las estructuras del horno tenían falta de mantenimiento, las redes de tuberías de mazut, con un alto nivel de corrosión y salideros, las tuberías instaladas en su mayoría sin uso, igual la red del suministro de mazut y la insulación de esta estaba en su 90% sin el insulado, la instrumentación estaba incompleta, no medía la totalidad de los parámetros necesarios para el horno, y el sistema eléctrico estaba completamente defectuoso.

2.2.1. Características originales del horno

Para que un país tenga una buena economía se necesita un ahorro de combustible ya que los costos no sean tan altos y poder obtener mayores producciones y mejor eficiencia. Es por eso que el gobierno del estado cubano se ha propuesto reducir los gastos en cuanto a materia prima, materiales y en específico la energía necesaria para desarrollar el proceso de producción. Una de las fuentes de gastos en la Empresa Mecánica del Níquel la conforma la energía que se requiere para realizar el proceso de tratamiento térmico que se le realizan a las piezas en el horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición.

El horno de tratamiento térmico 08-HTT-018 (código de Mantenimiento), con ubicación de área acostado, con país de origen la URSS, con una marca y serie de 56027, su fecha de inicio de explotación fue el 19 de junio de 1999, con un peso de 13000 kg y con una capacidad de 10 toneladas.

Este posee las siguientes características técnicas; horno con solera rodante revestido a base de fuel-oil, con solera corrediza de 2 x 3,48 m, con una tensión de 440 V, una frecuencia de 60 HZ, rendimiento del horno hasta 500 kg/h, está diseñado para el tratamiento térmico de piezas de hasta 10 t a temperaturas máximas de 1300 °C (para el normalizado, recocido y revenido varían principalmente entre (723 y 1050 °C) empleando para ello el fuel-oil (Mazut) con aire a presión. Este presenta una temperatura de calentamiento hasta 1100 °C, con un consumo de Mazut de 110 kg/h, con un consumo de aire con direcciones normales:

- para la combustión 1300 m³/h
- para la inyección 500 m³/h
- presión de Mazut delante del horno 2kgt/cm²

Horno de cámara para el tratamiento térmico posterior a piezas obtenidas mediante procesos de fundición, utiliza dos quemadores Prior, instalados en las paredes laterales y Mazut (fuel oil) como combustible, posee un ventilador de tiro forzado para la inyección de aire para el proceso de combustión y damper para la evacuación de los gases, puerta de accionamiento mecánico por sistema motriz motor reductor y carretilla desplazable porta piezas con igual sistema de transmisión.

- Solera corrediza de 2 x 3,48 x 2,40 m para hasta 10 t de peso.
- Espacio útil de trabajo: 3 x 2 x 1,2 m aprox.
- Temperatura: 1100 °C obtenida bajo las actuales condiciones. Por diseño la máxima es de 1300 °C.

El horno descrito fue modificado en el año 1999, se eliminaron 4 quemadores obteniéndose un costo total de \$ 15 666.

Materiales utilizados en la construcción del horno.

Los materiales que se utilizan en la construcción del horno son:

Lámina de acero al 45 %.

Con las siguientes características:

Ladrillos refractarios de magnesita

Con las siguientes características: Estos ladrillos son fabricados de magnesita convencional y de alta pureza, el cual tiene un buen rendimiento a altas temperaturas. Estos son ladrillos fabricados con magnesita electro-fundida. Estas tienen una alta densidad, buena estabilidad volumétrica y baja porosidad.

Estos presentan:

- conductividad térmica de $6,30-0,00027 \text{ t W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$
- capacidad calorífica promedio $1,05 + 0,00015 \text{ t KJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
- temperatura límite de utilización hasta $18500 ^\circ\text{C}$

Estos ladrillos magnesita (MgO) están ubicados en la parte posterior del horno (en la pared del fondo).

2.2.2. Caracterización del sistema de combustión del horno de Tratamiento Térmico.

En el año 1995, se realizó en el Centro de Investigaciones del Níquel el proyecto científico tecnológico "Hornos PRIOR", en el que se demostró que los quemadores PRIOR SSB7 y el Hauck 783 eran idénticos, no se realizó evaluación del quemador Prior SSB 10 porque no se suministraron en ese momento, sino cuando se necesitó un quemador de mayor productividad. La única diferencia consiste en que el PRIOR cuenta con un plato para acoplar a la cámara y el Hauck no. Al no contar con información clara o explicación del funcionamiento de los quemadores SSB ni

SSB7, y analizar la evidencia de similitud entre los Hauck y los PRIOR, utilizando la información del Hauck se realizan los cálculos que permiten definir las influencias del parámetro presión del aire sobre las características de los quemadores.

Características de los quemadores PRIOR.

Los quemadores utilizados actualmente son PRIOR SSB. En el presente trabajo se demuestra que los quemadores PRIOR SSB 7 tienen el doble de productividad que los SSB con la misma cantidad de aire al quemador.

Se evalúa la sustitución de los quemadores PRIOR SSB 7 por SSB sobre la operación del Horno. Demostrándose que el cambio no produce variaciones en la operación.

1. La productividad del quemador PRIOR está determinada por la cantidad de aire total, el introducido para la atomización del petróleo por el quemador de combustión y el introducido por el pleno.
2. La sustitución de los quemadores PRIOR SSB 7 por PRIOR SSB no implica cambios en los parámetros operacionales de los hornos de reducción.
3. Se puede operar con tonelajes netos entre 18 y 21 t/h, valor superior al de diseño de los hornos sustituyéndose los quemadores SSB7 por SSB sin afectar la eficiencia de la UEB.

Cada quemador posee:

- 1- Consumo 25 kg/h

Capacidad total del tanque 1583 kg

Los 2 quemadores en total: 50 kg/h

En tratamiento de Recocido consume 1000 kg en 6 horas y 30 minutos a una temperatura de 790-900 °C.

En tratamiento de Temple consume 1600 kg en 7 horas a una temperatura de 860 °C.

En tratamiento Normalizado consume 650 kg en 4 horas hasta alcanzar una temperatura de 850 °C, luego se saca la pieza del horno y se espera que el horno alcance la temperatura de 300 °C este se apaga, se colocan las piezas y se deja reposar de 12 a 15 horas hasta la temperatura de 40 °C.

En un tratamiento de Revenido a una temperatura de 190 °C consume 400 kg en 1 hora. (Según información en los informes de la UEB Fundición)

2.2.3. Características del combustible utilizado.

El combustible utilizado es el Mazut.

Para el análisis del combustible se realizó un estudio de la composición química de este, la cual se utiliza para la explotación del horno tratamiento térmico de la UEB Fundición y se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2.1. Composición química del combustible, %

C	H	O	N	S	A	W
87	11	0,4	0,7	0,2	0,17	0,53

Este combustible alcanza la combustión a una temperatura entre 100 y 120 C°.

Además se realizó la toma de muestra para el análisis del laboratorio la cual arribó a los siguientes resultados:

Tabla 2.2 Muestra de Mazut del laboratorio

Ensayos	Unidad		Normas
	70-F		
Agua	1,1	%	NEIB 01-12-12
Viscosidad 50°C	367,2	c.s	NEIB 01-12-12
Viscosidad 100°C	47,8	c.s	NEIB 01-12-12
Asfáltenos IP	3,02	%	NEIB 01-12-12
Azufre	1,30	%	NEIB 01-12-12
Gravedad Específica	15,7	API	NEIB 01-12-12
Densidad	0,9613	g/cm ³	NEIB 01-12-12
Punto de inflamación	97	°C	NEIB 01-12-12
Carbón Corradson	9,62	%	NEIB 01-12-12
Valor Calórico	18337	BTU/lb	NEIB 01-12-12
Valor Calórico	10187	kcal/kg	NEIB 01-12-12
Vanadio	134	mg/kg	NEIB 01-12-12
Sedimento	-	%	NEIB 01-12-12

2.3. Características de las piezas a tratar.

Para determinar la característica de la pieza se realizó un balance de energía para las piezas que más se necesitan tratamiento térmico en la UEB Fundición por la demanda de producción las cuales se mostrarán a continuación:

-Volanta para la construcción AC-35, la cual tiene una capacidad calorífica 0,7 KJ/kg*grado, a una temperatura de 850°C se le realizará un tratamiento de normalizado, en un tiempo de 100 minutos. Tiene por objetivo dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

-Bolas para molino AC-70x, con una capacidad calorífica de 0,5 KJ/kg*grado, a una temperatura 860°C, se le realizará un proceso de temple en un tiempo de 100

minutos y otro proceso de revenido pero esta vez a una temperatura de 190°C en un tiempo de 60 minutos. La finalidad del temple es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior Ac (entre 850-950 °C) y se enfría rápidamente en un medio como agua o aceite, y el revenido sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

-Placas para la construcción AC-110 Mn, con una capacidad calorífica de 0,4 KJ/kg*grado, a una temperatura de 800°C, en un tiempo de 110 minutos se le realizará un temple y otro de revenido a una temperatura 170°C y en un tiempo de 35 minutos. También con la finalidad de aumentar la dureza y la resistencia del acero.

-Todas estas piezas anteriores se analizarán para 10 toneladas de capacidad que tiene el horno de la UEB.

Este horno debe ser empleado, en términos de la producción actual de la Empresa Mecánica del Níquel, para el tratamiento de piezas fundamentales de la industria del níquel y de la economía nacional, el cual tiene como objetivo fundamental que cada tratamiento térmico se pueda realizar dentro del horno y pueda conseguir que un metal calentado hasta una temperatura determinada y enfriándolo después se produzcan cambios deseados en la estructura interna de este mejorando sus propiedades.

Las piezas que en la actualidad tienen más demanda por la producción del horno con necesidad de un tratamiento térmico son:

-El volante AC-35, es una circunferencia para mover los molinos en la producción de arena o cemento a través de la transmisión de correas con un peso de 166 kg, y dimensiones de (1230x90x830) mm.

En la siguiente tabla se muestra la composición química del volante:

Tabla 2.3. Composición química del volante; acero AC-35 en %:

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,32 - 0,40	0,20 - 0,40	0,40 - 0,90	0,00 - 0,04	0,00 - 0,04	99,8 - 9,22

-Las bolas AC-70x para los molinos de Klinckler, de forma esférica para molinos de arena y cemento, con un peso de 2 Kg, con un diámetro de 80mm.

En la siguiente tabla se muestra la composición de las bolas para los molinos de Klinckler.

Tabla 2.4 Composición química de las bolas para molinos de Klinckler AC-70X en %:

C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Cu	Fe
0,70 - 0,90	0,20 - 0,40	0,70 - 1,00	0,01 - 0,30	0,50 - 0,90	0,01 - 0,04	0,01 - 0,04	0,01 - 0,30	97,89 - 96,20

-Las placas AC-110 Mn para la trituración del cemento, con un peso de 64 Kg, de forma rectangular 900mmx400mmx40mm.

En la siguiente tabla se muestra la composición química de las placas.

Tabla 2.5 Composición química para las placas AC -110 Mn en %:

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,90 - 1,30	0,30 - 1,00	11,50 - 14,50	0,01 - 0,04	0,01 - 0,04	87,28 - 83,20

2.4. Metodología de cálculo del combustible.

El cálculo del combustible se realiza a partir de la metodología descrita por Antonio R. Chang Cardona y Yuzhaninov en el año 2012 en el libro de Cálculo de los principales procesos en los hornos metalúrgicos, la cual se describe a continuación:

Empleando la tabla 2.1 determinamos primeramente la composición de las masas de trabajo de combustible a través de las siguientes ecuaciones:

$$A^T = A^S * \frac{100 - W^T}{100} \quad 2.1$$

donde:

A^T : masa de trabajo de la ceniza; %,

A^S : azufre de la composición química del combustible; %,

W^t : humedad de composición química del combustible; %.

Para determinar la masa de trabajo del carbono:

$$C^T = C^C \cdot \frac{100 - (W^T + A^T)}{100} \quad 2.2$$

donde:

C^T : masa de trabajo del carbono; %,

C^C : carbono en la composición química del combustible; %,

W^T : humedad en la composición química del combustible; %.

Para determinar la masa de trabajo del hidrógeno:

$$H^T = H^C \cdot 0.979 \quad 2.3$$

H^T : masa de trabajo del hidrógeno; %,

H^C : hidrogeno en la composición química del combustible; %.

Para determinar la masa de trabajo del azufre:

$$S^T = \frac{100 - W^T}{100 \cdot S^C} \quad 2.4$$

donde:

S^T : masa de trabajo del azufre; %,

W^T : humedad en la composición química del combustible; %,

S^C : azufre en la composición química del combustible; %.

Para determinar la masa de trabajo del oxígeno:

$$O^T = \frac{100-2-M}{100} * 0.3 \quad 2.5$$

donde:

O^T : masa de trabajo del oxígeno; %,

M: parte del mineral del combustible, compuesto por azufre y la ceniza calcinada.

Por lo que:

$$M = A + Ss,$$

Para determinar la masa de trabajo del nitrógeno:

$$N^T = \frac{100-0.5}{100} * 0.6 \quad 2.6$$

donde:

N^T : masa de trabajo del nitrógeno; %,

W^T : humedad en la composición química del combustible; %.

Luego se determina la sumatoria de las masas de trabajo en los diferentes componentes del combustible.

$$C^T + H^T + S^T + O^T + N^T + A^T + W^T = 100\% \quad 2.7$$

donde:

A^T : masa de trabajo de la ceniza; %,

C^T : masa de trabajo del carbono; %,

H^T : masa de trabajo del hidrógeno; %,

S^T : masa de trabajo del azufre; %,

N^T : masa de trabajo del nitrógeno; %,

O^T : masa de trabajo del oxígeno; %,

W^T : humedad en la composición química del combustible; %.

Para el cálculo de la cantidad teórica de aire para la combustión se utiliza la ecuación.

$$L_0 = [0.0889C^T + 0.2667H^T + 0.0333(S^T - O^T)] * (1 + 0.0124d_h) * \frac{21}{O_s} \quad 2.8$$

donde:

L_0 : cantidad teórica del aire para la combustión; $m^3 \cdot kg^{-1}$;

C^T : cantidad de carbono en la composición química del combustible; %

H^T : cantidad de hidrógeno en la composición química del combustible; %

S^T : cantidad de azufre en la composición química del combustible; %

O^T : cantidad de oxígeno en la composición química del combustible; %

O_s : contenido de oxígeno en el soplado; % (volumétrico),

d_h : contenido de humedad en el aire seco; %.

El contenido de humedad en el aire lo depreciamos $d_h = 0$, y utilizamos la fórmula para el cálculo de la cantidad práctica del aire L_a , donde el coeficiente de exceso de aire es: α

$$L_a = \alpha * L_0 \quad 2.9$$

donde:

L_a : consumo específico del aire, $m^3 \cdot kg^{-1}$

α coeficiente en exceso del aire,

L_0 : cantidad teórica del aire para la combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

Más adelante se emplea el cálculo de la cantidad y composición de los productos de la combustión, con el empleo de las siguientes fórmulas.

$$V_{CO_2} = 0.0187C^T \quad 2.10$$

donde:

V_{CO_2} : volumen de los productos de combustión; %

C^T : cantidad de carbono en la composición química del combustible; %.

$$V_{H_2O} = 0.112H^T + 0.0124 W^T - 0.0124d_h \quad 2.11$$

donde:

V_{H_2O} : volumen de los productos de combustión; %,

H^T : cantidad de hidrógeno en la composición química del combustible; %,

W^T : cantidad de humedad en la composición química del combustible; %,

d_h : contenido de humedad en el aire seco; %.

$$V_{SO_2} = 0.007 * S^T \quad 2.12$$

donde:

V_{SO_2} : volumen de los productos de combustión; %,

S^T : cantidad de azufre en la composición química del combustible; %.

$$V_{O_2} = \frac{O_s}{100} \cdot (\alpha - 1) \cdot L_o \quad 2.13$$

donde:

V_{O_2} : volumen de los productos de combustión; %,

O_s : contenido de oxígeno en el soplado, % (volumétrico),

α coeficiente en exceso del aire,

L_0 : cantidad teórica del aire para la combustión,

$$V_{N_2} = 0.008N^T + \left(1 - \frac{O_S}{100}\right) \cdot L_0 \quad 2.14$$

donde:

V_{N_2} : volumen de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

O_S : contenido de oxígeno en el soplado, % (volumétrico),

L_0 : cantidad teórica del aire para la combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

N^T : cantidad de nitrógeno en la composición química del combustible, %

Cálculo del volumen total de los productos de combustión:

$$V_a = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} \quad 2.15$$

donde:

V_a : volumen total de los productos de combustión; %

V_{CO_2} : volumen de los productos de combustión; %

V_{H_2O} : volumen de los productos de combustión; %

V_{SO_2} : volumen de los productos de combustión; %

V_{O_2} : volumen de los productos de combustión; %

V_{N_2} : volumen de los productos de combustión; %

Cálculo de la composición de los productos de la combustión. Cálculo volumétrico.

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_a} * 100 \quad 2.16$$

donde:

CO_2 : composición de los productos de la combustión, % (volumétrico)

V_{CO_2} : volumen de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

V_a : volumen total de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_a} * 100 \quad 2.17$$

donde:

H_2O : composición de los productos de la combustión, % (volumétrico)

V_{H_2O} : volumen de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

V_a : volumen total de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

$$SO_2 = \frac{V_{SO_2}}{V_a} * 100 \quad 2.18$$

donde:

SO_2 : composición de los productos de la combustión, , % (volumétrico)

V_a : volumen total de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

V_{SO_2} : volumen de los productos de combustión, $m^3 \cdot kg^{-1}$

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_a} * 100 \quad 2.19$$

donde:

O_2 : composición de los productos de la combustión, % (volumétrico)

V_a : volumen total de los productos de combustión, , $m^3 \cdot kg^{-1}$

V_{O_2} : volumen de los productos de combustión, , $m^3 \cdot kg^{-1}$

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_a} * 100 \quad 2.20$$

donde:

N_2 : composición de los productos de la combustión,

V_a : volumen total de los producto de combustión,

V_{N_2} : volumen de los productos de combustión,

En el epígrafe 2.6 se realiza el cálculo de balance de energía, donde se demuestra que toda la energía que entra al sistema es igual a la energía que sale del sistema más la energía que se pierde, que no es más que la aplicación de la pirometalurgia.

2.5. Metodología para el balance térmico del horno.

El balancetérmicoserealizapor el principiodeconservacióndelaenergía,es decirtodoel calorqueentraesigualal quesaledel horno.Basados eneste principio se determinaelconsumodecombustible necesario parael trabajo normal delhorno, el cual se realiza a partir de las ecuaciones 2.21 a 2.30.

Q_1 : calor de combustión del Combustible; kJ

$$Q_1 = PCI \cdot X \quad 2.21$$

donde:

PCI: poder calórico del combustible; kJ/kg,

PCI=42683,53 KJ/kg

X: Masa del combustible; kg.

Q_2 :calor físico de la pieza, KJ

$$Q_2 = M_p \cdot C_p \cdot T_{ent} \quad 2.22$$

donde:

M_p : masa de la pieza, kg

C_p : capacidad calorífica de la pieza, KJ/kg ·grado

T_{ent} : temperatura de entrada, °C

Q_3 : calor físico del aire, KJ

$$Q_3 = L_a \cdot C_p \cdot T_{ent} \cdot X \quad 2.23$$

donde:

L_a : cantidad práctica del aire, , $m^3 \cdot kg^{-1}$

C_p : capacidad calorífica del aire, pieza, $KJ/kg \cdot grado$

T_{ent} : temperatura de entrada, $^{\circ}C$

X : Masa del combustible, kg

Q_4 : calor físico del combustible, KJ

$$Q_4 = X \cdot C_p \cdot T_e \quad 2.24$$

donde:

X : Masa del combustible, kg

C_p : Capacidad calorífica, $KJ/kg \cdot grado$

T_e : temperatura de entrada del combustible, $^{\circ}C$

Para calcular los calores de salida,

Q_5 : Calor físico de la pieza, KJ

$$Q_5 = M_p \cdot C_p \cdot T_s \quad 2.25$$

donde:

M_p : masa de la pieza, kg

C_p : capacidad calorífica de la pieza, $KJ/kg \cdot grado$

T_s : temperatura de la pieza, $^{\circ}C$

Q_6 : calor para el calentamiento de la cuba o carretilla de tratamiento hasta la temperatura de salida, KJ

$$Q_6 = M_C \cdot C_P \cdot (T_S - T_e) \quad 2.26$$

donde:

M_C : masa de la cuba o carretilla, kg

C_p : capacidad calorífica de la cuba o carretilla, KJ/kg · grado

T_S : temperatura de salida, °C

T_e : temperatura de entrada, °C

Q_7 : Calor absorbido por el revestimiento del horno, KJ

$$Q_7 = M_r \cdot C_{pr} \cdot (T_{m\acute{a}x} - T_{inic}) \quad 2.27$$

donde:

M_r : masa del revestimiento, kg

C_{pr} : capacidad calorífica del revestimiento, KJ/kg·grado

$T_{m\acute{a}x}$: temperatura máxima que alcanza el revestimiento, °C

T_{inic} : temperatura inicial del revestimiento, °C

Q_8 : Pérdida de calor por el revestimiento del horno, KJ

$$Q_8 = \frac{(T_{int} - T_{ext})}{\frac{\sum \delta}{\lambda}} \quad 2.28$$

donde:

T_{int} : temperatura del interior del horno, °C

T_{ext} : temperatura del exterior del horno, °C

Sumatoria de las temperaturas de salida, °C

λ : espesor de las capas del horno; W/m* grado

δ : espesor del revestimiento; m.

Q9: Pérdida de calor con los gases salientes,kJ

$$Q9=X\cdot(\Sigma \cdot Vg \cdot Cp) \cdot Ts \quad 2.29$$

donde:

X: masa del combustible, kg

Sumatoria del volumen de los gases salientes del combustible, m³/kg

Vg: volumen de los gases, m³/kg

Cp: capacidad calorífica de los gases, kJ/m³ °C

Ts: temperatura de salida de los gases, KJ/m³ °C

Q9: pérdida de calor por los gases salientes, kJ/m³ °C

Σ: sumatoria de todos los volúmenes de los gases de salida,m³/kg

Cálculo de la cantidad de combustible (X).

$$X=\frac{(M_P \cdot C_P \cdot T_S)+(M_C \cdot C_P \cdot (T_S-T_e))+(M_r \cdot C_{Pr} \cdot (T_{MAX}-T_{MÍN}))+((T_{INT}-T_{EXT})/(\Sigma S/\lambda))-(M_P \cdot C_P \cdot T_E)}{(PCI+L_a \cdot C_P \cdot T_e+C_P \cdot T_e-V_g \cdot C_P \cdot T_S)}$$

2.30

Para otros tipos de tratamiento también se utilizó la misma metodología de cálculo, aunque estos fueran con otras piezas u otro tipo de material, los que nos permitieron conocer su consumo de combustible.

2.6 Análisis económico.

El horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición poseía un consumo de combustible de 1970 – 2000 kg, los parámetros técnicos constructivos se perfeccionarán con el objetivo de poder llevarlo al diseño original diseñado por los rusos en el principio de su explotación, con este mejoramiento se logrará un menor consumo de combustible en cada tratamiento que en este se dé.

Para saber el costo del consumo del combustible aproximado del horno se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_{comb}=P \cdot C \quad 2.31$$

donde:

P: El precio actual del kg del Mazut; CUC,

C: El consumo de combustible del horno; en cada tratamiento térmico, como el normalizado para las volantas para la construcción es de 1180,14 kg; en el tratamiento térmico de temple para las bolas del molino de Clinker es de 1180,73 kg y en el tratamiento térmico de revenido para esta misma pieza tuvo un consumo de 167,65 kg; el consumo en el tratamiento térmico de temple para las placas usadas en la construcción el consumo de combustible es de 1066,22 kg y en el tratamiento térmico de recocido de esta misma pieza el consumo de combustible es de 145,27 kg.

C_{comb} : Precio total del consumo de combustible; 0,4011 kg.

Por lo que para cada proceso de tratamiento tendría un consumo diferente.

2.6.1 Evaluación Económica para el perfeccionamiento de los parámetros técnicos constructivos del horno de tratamiento térmico de la UEB de Fundición.

En esta parte se analizará todos los recursos y medios que se debieron utilizar para poder modificar el horno y llevarlo a su diseño original en cuanto al gasto en moneda libremente convertible.

Se utilizó la fórmula:

$$X= X1+X2+X3 \quad 2.32$$

dónde:

X: Gasto total de la reparación.

X1: Subtotal Gastos de Mano de Obra.

X2: Gasto Total de materiales.

X3: Gastos indirectos de la Reparación.

2.7 Conclusiones del capítulo.

1-Las piezas seleccionadas para la determinación del consumo de combustible son en estos momentos las de mayor demanda en la UEB.

2-Los métodos, técnicas y metodología empleada son adecuados para el cumplimiento de los objetivos del trabajo.

CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos del balance de energía, el consumo de combustible del horno y los procesos de tratamiento térmico para diferentes piezas. Se expone el estado actual del horno basado en las modificaciones y reparaciones efectuadas. Finalmente se hace una valoración económica basada en las modificaciones realizadas al horno, consumo de combustible para cada pieza con el tratamiento que lleva y el costo en CUC de este combustible.

3.1. Estado actual del horno.

La tabla 3.1 muestra las principales modificaciones que se le hicieron al horno para llevarlo a su diseño original.

Tabla 3.1. Principales modificaciones realizadas en el horno.

Operaciones efectuadas	Secuencia de las operaciones
Instalación de termopares	4 colocados y dos existentes
Automatización	Se restableció el sistema de alumbrado, las conexiones eléctricas, se instaló un lazo de medición, el sistema de encendido automático, se perfeccionó el panel de control de la temperatura del combustible, se midió el rango de presión del horno.
Mantenimiento y reparaciones	Se repararon las paredes y fisuras del techo, la bandeja de los cables de alimentación de la energía eléctrica, hermetización de la puerta, reposición de ladrillos refractarios, instalación de las tuberías de aire y se insularon las del combustible, se montaron 4 quemadores Prior y se colocó una bomba para el combustible de estos quemadores.

Instalación de termopares: Se instalaron 4 termopares en los laterales, con el objetivo de regular y registrar la temperatura cerca de los quemadores, lo cual ayudará al operador a vigilar el trabajo de estos. En la parte superior del horno existen 2 termopares más para medir y controlar la temperatura de los gases salientes, estos 2 quemadores se mantienen del diseño anterior, solamente se ajustaron para un mejor trabajo.

Para la automatización del horno se restableció el sistema de alumbrado en el área de los quemadores por la falta de iluminación existente. Se restablecieron las conexiones eléctricas según las normas existentes. Se instaló un lazo de control y de medición de la presión y del flujo para los gases de salida. Se reparó el sistema de encendido automático de los quemadores, basado en un circuito de bloqueo para evitar que se enciendan los quemadores sin que el combustible alcance la temperatura de trabajo. Se perfeccionó el panel de control de la temperatura del tanque de mazut para detener el calentamiento del combustible cuando llegue a 120⁰ C. Finalmente se midió el rango de presión con que trabajó el horno para la colocación de los instrumentos de medición.

En cuanto al mantenimiento y reparaciones se repararon todas las paredes y fisuras del techo, se hermetizó la puerta de entrada con juntas de gomas, se alinearon las guías de la puerta para que cerrara sin dificultad, todo esto para evitar el escape de los gases y calores del proceso. Se eliminó la puerta trasera del horno y se selló con ladrillos de magnesita.

Se sellaron todas las grietas existentes en el interior del horno, se colocaron 630 ladrillos en sustitución de los que ya tenía, siendo estos de magnesita igual a los existentes. Para facilitar el mantenimiento de la chimenea y accionamiento del Damper se colocó una escalera en la parte lateral del horno.

Se instaló una tubería para alimentar aire al encendido de los quemadores, colocándole un cheque para evitar un pase de petróleo a la línea de aire. El resto de las tuberías se les dio mantenimiento de limpieza, se pintaron con pintura anticorrosiva y se revistieron con lana de vidrio para mantener la temperatura del

mazut; las tuberías que estaban dañadas por la corrosión se sustituyeron por nuevas, se eliminaron tuberías sin uso, las cuales estaban en la parte derecha del horno para el retorno del mazut, simplificándose el sistema. Se destupieron los conductos de los gases de salida.

Se reparó la bandeja por donde circulan los cables de alimentación de energía eléctrica que está encima del ducto de salida de los gases. Se colocó aislante térmico en la parte inferior de la bandeja para evitar el calentamiento de los cables.

Se montaron 4 quemadores Prior con el objetivo de una mejor operación del horno, alcanzar el perfil de temperatura diseñado por tipo de tratamiento térmico, disminuir el tiempo de calentamiento, disminuir el consumo de combustible y mejorar la productividad del horno y del taller. En cuanto a los 2 quemadores existentes se montaron las partes del accionamiento que estaban desmontadas, se instaló una varilla de control de válvula a cada quemador. Se repararon las tapas para fijar los quemadores a la cámara de combustión, se fabricaron además 4 tapas nuevas para los 4 quemadores adicionales.

Se colocó una bomba para alimentar el combustible a los quemadores, se reparó el motor y se dio mantenimiento. El tanque de combustible fue reparado y se le instaló una resistencia eléctrica la cual se encarga de calentar el combustible a la temperatura de 110 a 120⁰ C. Se le colocó pieles nuevas al freno de la carretilla que alimenta las piezas al horno, se reparó el riel por donde circula la misma. Además se le dio mantenimiento a las boquillas de los quemadores Prior.

3.2. Análisis de los resultados del balance de energía para las diferentes piezas y tratamientos.

En el presente acápite se realizará la valoración de los resultados del balance de energía en el horno de tratamiento térmico del taller de fundición de la empresa Mecánica del Níquel. Para el cálculo de cada uno de los calores de aportes y consumos de energía en el horno. A continuación se mostrarán los diferentes resultados que se tuvieron en cuenta para ver el consumo de combustible del horno en el tratamiento térmico de diferentes piezas.

3.2.1 Resultados del balance de Energía de las bolas AC-70X para molinos, durante el proceso de TEMPLE.

Este proceso de templado se realiza a una temperatura de 890 °C, y en tiempo de 100 minutos con el objetivo de incrementar la dureza de las aleaciones de hierro que se encuentra en las bolas de Clinker, por lo que después se le realizará un enfriado rápido en aceite, y continuará con el proceso de revenido.

En la tabla 3.2 se muestra los principales resultados del resumen de balance de energía, en el que se puede observar que el calor consumido por el revestimiento del horno representa el 63,52 % del calor total, al igual que la pérdida de energía a través de los gases de salida del horno también representa un elevado porcentaje (27,53 %). Lo que significa que para el tratamiento térmico de las piezas se consume mucha energía en calentar los elementos del horno.

Tabla 3.2. Resumen de balance de energía para el proceso de temple de las bolas AC-70X para molinos.

Calores	Energía; kJ	%
Calor de combustión del Combustible	50397906,83	98,31
Calor físico de la pieza	100000,00	0,20
Calor físico del aire	545582,10	1,06
Calor físico del combustible	220797,31	0,43
Total	51264286,24	100
Calores de salida		
Calores útiles		
Calor físico de la pieza	3440000,00	6,71
Calor para el calentamiento de la cuba	1043750,00	2,04
Calor absorbido por el revestimiento	32565000,00	63,52
Pérdidas de calor		
Pérdida de calor por el revestimiento	101395,03	0,20
Pérdida de calor con los gases salientes	14114141,21	27,53
Total	51264286,24	100

Dados los resultados analizados anteriormente se determinó que el cálculo teórico de combustible para este proceso fue de 1180,734 kg.

3.2.2 Resultados del balance de Energía de las bolas AC-70X para molinos en el proceso de Revenido.

Este proceso de revenido realizado a la pieza durante un tiempo de 60 minutos y a una temperatura de 190°C, se realiza después del temple y a veces se considera como el mismo proceso, ya que un acero templado y no revenido es poco utilizable. El revenido en esta pieza es para lograr un calentamiento del metal a temperatura media para devolverlo a un estado resistente.

En la tabla resumen 3.3 se muestran los resultados de los cálculos realizados en este proceso donde el comportamiento de la pérdida de energía por el revestimiento del horno y los gases salientes sigue siendo alto, pero sin embargo el consumo de combustible es menor ya que este tratamiento es dado minutos después de un tratamiento de temple donde ya el revestimiento del horno no está frío y absorbe menos energía. Por lo que si los tratamientos en el taller no se realizaran esporádicamente y fuese un horno que tuviese una explotación constante se aprovecharía más el calor perdido por el revestimiento.

Tabla 3.3. Resumen del balance de energía del proceso de revenido a las bolas AC-70X para molinos.

Calores	Energía kJ	%
Calor de combustión del Combustible	7155822,67	98,16
Calor físico de la pieza	25000,00	0,34
Calor físico del aire	77465,30	1,06
Calor físico del combustible	31350,24	0,43
Total	7289638,20	100
Calores de salida		
Calores útiles		
Calor físico de la pieza	190000,00	2,61
Calor para el calentamiento de la cuba	206250,00	2,83
Calor absorbido por el revestimiento	6435000,00	88,28
Pérdidas de calor		
Pérdida de calor por el revestimiento	9886,02	0,14
Pérdida de calor con los gases salientes	448502,18	6,15
Total	7289638,20	100

Este proceso de revenido para las bolas de AC-70X o de acero al cromo, tiene un consumo teórico de combustible de 167,648 kg.Lo que significa que cuando se aprovecha parte del calor de otros tratamientos, entonces el consumo de combustible es mucho menor, lo que favorece al proceso económicamente.

3.2.3 Balance de Energía de las placas para la construcción AC-110 Mn, en el proceso de TEMPLE.

Este proceso se realiza en un tiempo de 110 minutos, a una temperatura de 800 °C, para mejorar la dureza de la cristalización interna de la placa ya que esta va a ser utilizada para la pulverización del cemento en la industria de la construcción, luego esta atravesará en un proceso de enfriamiento en aceite y luego es sometido al revenido.

En la tabla 3.4 se resume el balance de energía, en la que se muestra cómo influyen las pérdidas de calores a través del revestimiento, los gases desprendidos, y el alto consumo de energía que este proceso ocasiona.

Tabla 3.4. Resumen de balance de energía para el proceso de temple en las placas para la construcción AC-110 Mn.

Calores	Energía; kJ	%
Calor de combustión del Combustible	45510014,77	98,29
Calor físico de la pieza	100000,00	0,22
Calor físico del aire	492668,27	1,06
Calor físico del combustible	199383,06	0,43
Total	46302066,09	100
Calores de salida		
Calores útiles		
Calor físico de la pieza	3200000,00	6,91
Calor para el calentamiento de la cuba	968750,00	2,09
Calor absorbido por el revestimiento	30225000,00	65,28
Pérdidas de calor		
Pérdida de calor por el revestimiento	103169,44	0,22
Pérdida de calor con los gases salientes	11805146,65	25,50
Total	46302066,09	100

Este proceso de temple de las placas para la construcción AC-110 Mn o de acero al manganeso tuvo un consumoteórico de combustible de 1066,220 kg.

3.2.4 Balance de energía del Revenido en las placas para la construcción AC-110 Mn.

En este proceso se tiene en cuenta el tiempo de permanencia de la pieza dentro del horno que es de 35 min, aprovechando que este proceso se realiza acto seguido del temple a una temperatura de 170 °C y se economiza más el consumo de combustible, ya que el revestimiento tiene una temperatura alta y hay menos pérdidas de energía, el cual se muestra en la tabla resumen 3.5.

Tabla 3.5. Resumen de balance de energía para el proceso de revenido en las placas de acero AC-110 Mn.

Calores	Energía; kJ	%
Calor de combustión del Combustible	6200757,58	98,11
Calor físico de la pieza	25000,00	0,40
Calor físico del aire	67126,25	1,06
Calor físico del combustible	27166,02	0,43
Total	6320049,85	100
Calores de salida		
Calores útiles		
Calor físico de la pieza	170000,00	2,69
Calor para el calentamiento de la cuba	181250,00	2,87
Calor absorbido por el revestimiento	5655000,00	89,48
Pérdidas de calor		
Pérdida de calor por el revestimiento	4879,64	0,08
Pérdida de calor con los gases salientes	308920,21	4,89
Total	6320049,85	100

Para este proceso el cálculo del consumo teórico de combustible fue de 145,273 kg.

3.2.5 Balance de Energía del proceso de Normalizado para volantas de acero Ac-35.

Este proceso de normalizado es realizado en un tiempo de 100 minutos y a una temperatura de 850°C. Es un tratamiento térmico que se emplea para dar al acero una estructura y características tecnológicas que se consideran el estado natural o final del material, el cual fue sometido a trabajos de laminación y se hace como preparación de la pieza para el temple.

El procedimiento consiste en calentar la pieza hasta 850°C y mantener esa temperatura el tiempo suficiente para conseguir la transformación completa en austenita, a continuación se deja enfriar en aire tranquilo, obteniéndose una estructura uniforme. Con esto se consigue una estructura perlítica con el grano más fino y más uniforme que la estructura previa al tratamiento, consiguiendo un acero más tenaz.

La tabla 3.6 muestra el resumen de los factores que se tuvieron en cuenta para poder calcular el consumo de combustible en el proceso de normalizado para las volantas de construcción AC-35 o de acero al carbono.

Tabla 3.6. Resumen del balance de energía del proceso de normalizado para las volantas de acero Ac-35.

Calores	Energía kJ	%
Calor de combustión del Combustible	50372610,54	98,28
Calor físico de la pieza	116250,00	0,23
Calor físico del aire	545308,25	1,06
Calor físico del combustible	220686,48	0,43
Total	51254855,28	100
Calores de salida		
Calores útiles		
Calor físico de la pieza	3952500,00	7,71
Calor para el calentamiento de la cuba	1031250,00	2,01
Calor absorbido por el revestimiento	31175000,00	62,77
Pérdidas de calor		
Pérdida de calor por el revestimiento	100127,59	0,20
Pérdida de calor con los gases salientes	13995977,69	27,31
Total	51254855,28	100

Para este proceso el horno de tratamiento térmico tiene un consumo teórico de combustible de 1180,142 kg.

Como se muestra anteriormente en las tablas desde 3.2 hasta la 3.6, para todos los tratamientos térmicos realizados a los diferentes materiales en el horno, el consumo

de energía es más pronunciado para lo que se necesita en el calentamiento de las paredes del horno y la cuba (carretilla) de depósito de las piezas. Sin embargo, el consumo de la pieza para su tratamiento representa un bajo por ciento.

En la figura 3.1 se representa la comparación del consumo de combustible del horno de tratamiento térmico (T.T.), con dos cámaras de combustión en períodos anteriores (C.C. Antes), con seis cámaras en trabajo real (C.C. actual) y los resultados del cálculo teórico (C.C. Teórico).

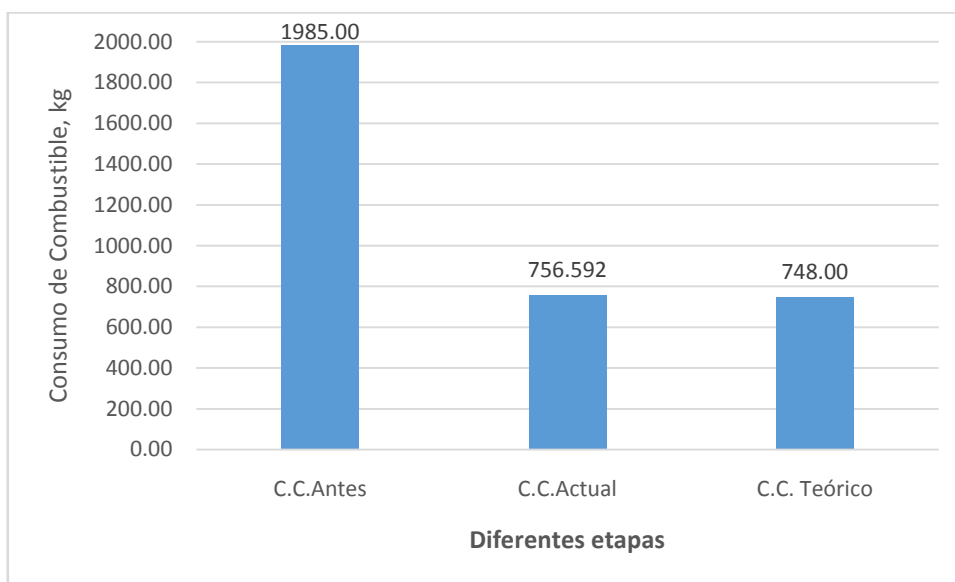


Figura 3.1. Comparación del consumo de combustible del horno de tratamiento térmico.

En la figura se puede observar que el aumento de los números de quemadores Prior hasta llegar a 6, como es el diseño original de los rusos, el proceso se hace más económico (desde el punto de vista del consumo de combustible) que si se mantiene en 2 quemadores; ya que este con la modificación consume casi un tercio del combustible y se realizan los tratamientos térmico en menor tiempo.

Al igual que mantener el diseño original en cuanto al número de quemadores, pero no en la marca ya que cuando los rusos los montaron eran del modelo Prior SSB, y con las transformaciones del campo socialista, el país decide montar los quemadores

Prior SSB7, los cuales son un modelo más económico en cuanto al ahorro de combustible, por lo que mantendrían la misma marca de los quemadores.

Se puede considerar que existe correspondencia en el cálculo teórico de la cantidad de combustible como promedio (748 kg) con lo que se consume realmente, también como promedio en la actualidad para los diferentes tratamientos realizados a las piezas (756,592 kg. Por lo que se considera aceptable la metodología utilizada para la realización del balance, ya que la diferencia en el consumo es de 8,59 kg como se muestra en la figura 3.1.

3.3. Valoración económica.

A continuación se analizarán los diferentes gastos tanto técnicos como constructivos que tendrá la modificación del horno de tratamiento térmico de la UEB Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel, con el objetivo de llevarlo a su diseño original creado por los rusos, dónde este ayudará con su uso más eficiente a la economía del país en cuanto al consumo de combustible. En otras palabras, analiza las decisiones relacionadas entre los recursos de los que se dispone (limitados), y las necesidades de la UEB Fundición.

En la siguiente tabla se relacionan los principales gastos.

Tabla 3.7. Gastos realizados en el horno de tratamiento térmico.

Gastos	Total (CUP)
Gastos de mano de obra de fabricación	374,87
Gastos de mano de obra por montaje y reparación mecánica, eléctrica, trabajos misceláneos, lubricación e instrumentación.	7080,71
Gastos de mano de obra por trabajos de pailería, soldadura, tubería.	349,20
Subtotal en gastos de mano de obra.	7804,78
Gasto total de materiales	15426,98
Gastos indirectos a la reparación	24477,77
Gasto total de la reparación capital	47709,53

Como se muestra en la tabla el subtotal de gastos de mano de obra es de 7804,78 CUP, este gastos se suma a los gastos del total de materiales, a los gastos indirectos de reparación y se obtiene un gasto total de reparación capital de 47 709,53 CUP.

Comparando el gasto total de reparación capital del horno actual (47709,53 CUP) contra el gasto total de reparación capital del propio horno en el año 1999 (15666 CUP), la modificación actual es mayor en 32043,53 CUP. Económicamente los gastos de la modificación actual son más elevados porque los precios de todos los materiales en la actualidad son mucho más caros que en el año 1999.

Desde el punto de vista del ahorro de combustible y tiempo de tratamiento térmico en el horno, en el año 1999 cuando se decide llevar a 2 quemadores el consumo promedio de combustible era de 1985 kg, realizando todos los tratamientos térmicos

deseados y el tiempo para realizar un tratamiento a la temperatura adecuada era de hasta 6 horas; sin embargo con la propuesta actual el horno tiene un consumo promedio de combustible de 748 kg, en un tiempo máximo de 1 hora y 40 minutos, por lo que el diseño actual tiene un ahorro de combustible promedio de 1237 kg, ahorrando en 4 horas y 33 minutos el tiempo del tratamiento térmico.

En la tabla 3.8 se muestra el costo total del tratamiento térmico para cada pieza, en relación con el consumo de combustible. La relación es, 1 kg de combustible = 0.4011 CUC.

Tabla 3.8. Costo del tratamiento térmico para cada pieza

Pieza y Material	Tratamiento y temperatura, °C	Tiempo de permanencia en el horno, min	Cantidad de Combustible; kg	Costo Total para cada tratamiento térmico, CUC
Volantas para la construcción (AC-35)	Normalizado- 850	100	1180,142	473,35
Bolas para el molino de Clinker (AC-70X)	Temple- 860	100	1180,731	473,59
Bolas para el molino de Clinker (AC-70X)	Revenido- 190	60	168,648	67,64
Placas para la construcción (AC-110 Mn)	Temple- 800	110	1066,220	427,66
Placas para la construcción (AC-110 Mn)	Revenido- 170	35	145,273	58,27

Como se muestra en la tabla los tratamientos térmicos de temple tienen un mayor costo; 427,66 CUC para las placas de construcción y 473, 59 CUC para las bolas para el molino de Clinker, los elevados costos están relacionados por el alto consumo de combustible (1066,220 y 1180,731 kg respectivamente) que tiene el

horno al ser calentados desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de temple; con respecto al revenido en ambos casos existe un ahorro en el costo del tratamiento térmico de 58,27 CUC y 67,64 CUC respectivamente, esto está dado porque el revenido se da siempre después del temple, por tanto, el horno ya posee una temperatura determinada la cual es aprovechable para el revenido, ahorrando combustible al no tener que calentar el horno desde la temperatura ambiente.

Con respecto al normalizado de las Volantas para la construcción tiene un costo de 473,35 CUC, motivado fundamentalmente porque el horno para este tratamiento es calentado desde la temperatura ambiente hasta llegar a los 800 °C (temperatura de temple), alcanzando un elevado consumo de combustible de 1180,142 kg.

Una cuestión fundamental en los altos costos del normalizado y del temple es que el horno trabaja de forma esporádica y no de forma continua; si el horno trabajara de forma continua se podría aprovechar parte de la temperatura existente en el horno del tratamiento anterior.

3.4 Conclusiones del capítulo 3

1. Se caracterizaron las modificaciones constructivas hechas al horno de tratamiento térmico.
2. El balance de energía permitió establecer el consumo de combustible teórico para cada tratamiento térmico, el que concuerda con el consumo real actual.
3. Se determinó el costo estimado de la modificación del horno.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizan varias modificaciones para llevar el horno de tratamiento térmico al diseño original: como la instalación de termopares para la medición de la temperatura en las diferentes partes del horno, así como en la automatización o en el mantenimiento y principales reparaciones respectivamente.
- ✓ El balance de energía realizado al horno de la UEB de Fundición permitió determinar la cantidad de combustible promedio consumido para los procesos de tratamiento térmico. El que arrojó un valor de 748kg de Mazut, que se corresponde con el consumo real promedio que es de 756,592 kg.
- ✓ El costo total de reparación capital del horno de tratamiento térmico después de instalado los 6 quemadores de combustible es de \$ 47709,53. Las Volantas para la construcción en el normalizado tienen un costo de 473,35 CUP. Las Bolas para el molino de Clinker en el temple y en el revenido tienen un costo de 473,59 y 67,64 CUP respectivamente. Las Placas para la construcción en el temple y el revenido tienen un costo de 427,66 y 58,27 CUP respectivamente.

RECOMENDACIONES

A través de la continua investigación de este trabajo se recomienda:

1. Realizar un mantenimiento adecuado y sistemático de las boquillas de los quemadores.
2. Controlar y mejorar la relación aire-combustible, para evitar un exceso del mismo.
3. Realizar un trabajo relacionado con el horno en el cual se pueda llegar a la homogeneidad de la temperatura dentro de la cámara del horno de tratamiento térmico de la UEB de fundición con 6 quemadores Prior.
4. Realizarle las modificaciones técnicas y constructivas para llevar el horno al diseño original ya que este permitiría un ahorro de combustible de un 60% en el tratamiento térmico en la producción de piezas en la UEB Fundición del Combinado Mecánico del Níquel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1-Abramos, G. G. Manual del Joven fundidor (fundición en moldes de arena- arcilla). Editorial Escuela Superior de Moscú. 1968.
- 2-Belay, G. E. Tecnología de fundición. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, 1970.
- 3-Castro 2001: Modelación computacional de tratamientos térmicos, Universidad de Buenos Aires, facultad de ciencias exactas., tesis de grado.
- 4-Capello, E. Tecnología de fundición. Editorial Gustavo Gili, S. A. (3ra edición). Barcelona, 1980.
- 5-Chag Antonio. R. 1991: Cálculo de los principales procesos en los hornos metalúrgicos.
- 6- Datos técnicos adquiridos en la Empresa Mecánica del Níquel Combinado Mecánico Gutavo Mahín.
- 7-Duarte Barrero y Vargas Álvarez, 2018: Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada, Facultad de ingeniería mecánica, trabajo de grado.
- 8-Flores 2007: Diseño y construcción de un horno de Crisol para Fusión de Metales de Inducción. Universidad de San Francisco de Quito.
- 9-García Suárez Luís. Monografías, “Combustibles Hornos y Refractarios”.10-Goyos, P. L. y Martínez, R. H. Tecnología de la fundición II. Editora ISPJAE. 1991.
- 11-Guliaev, B. B. Teoría de los Procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Leningrado, 1976.
- 12-Ivanov, V. N. Diccionario Manual para fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Moscú, 1988.
- 13-Kumanin, I. B. Cuestiones de la teoría de los procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinarias. Moscú, 1976.
- 14-Lenin Andrés Montero Vizcáino, 2015: Diseño y construcción de un horno de mufla para la realización de tratamiento térmico en los aceros. Trabajo de grado previo a la obtención del título ingeniero en Mecatrónica. Universidad técnica del Norte de Facultad de ingeniería de Ciencias aplicadas.

- 15-López Pérez y Ramírez Montedeoca, 2011: Diseño de un horno de tratamiento térmico del rodete de la tubería Francis, en opción al título de ingeniero, escuela Superior de Chimbarazo, Facultad de Mecánica.
- 16-Mogilev, V. K. y Lev, O. I. Manual del fundidor. Editorial Construcción de Maquinaria. Moscú, 1988.
- 17-Torres Alpízar Dr, 2004: Apuntes acerca del tratamiento térmico y la clasificación general de los aceros, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, facultad de ingenierías químicas y mecánicas.
- 18-Pavlov K.F. Problemas y Ejemplos Para el Curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química.
- 19-Pedro Estrada Veliz, *Fundamentos de hornos y combustibles*.
- 20-Perry Robert H. "Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition". 13- Vestislka, A. y otros. Fundamentos teóricos de la tecnología de fundición. Editorial Superior. Kiev, 1981.
- 21- Yisel Silot Montero, 2014: Obtención de Bolas para la Molienda de Cemento a partir una nueva Tecnología para la Fundición. En opción al título de ingeniera metalúrgica. Instituto superior minero metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez", Facultad Metalurgia y Electromecánica, departamento de metalurgia.
- 22-<http://www.wikipedia.org/wiki/Hornos>.
- 23-<http://www.HornosdeCámara>.
- 24-<http://www.google.com/cu/search?q=Precio+del+fuel+oil&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox-a>.



