



**Diseño de un horno para tratamiento térmico de recocido en aceros SAE
1045**

Melissa Zapata García

Informe de práctica para optar al título de Ingeniera mecánica

Asesor

Andrés Felipe Colorado Granda

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de ingeniería mecánica
Medellín
2023

Cita	(Zapata García,2023)
Referencia	Zapata García, M., (2023). <i>Diseño de un horno para tratamiento térmico de recocido en aceros SAE 1045, 2023</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga

Jefe de departamento: Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1 Planteamiento del problema.....	16
1.1 Antecedentes	16
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 Marco teórico	18
3.1 Hornos de recocido.....	18
3.1.1 Características de un horno de recocido.....	18
3.1.1.1 Diseño especial de mufla	18
3.1.1.2 Calefacción	18
3.1.1.3 Monitoreo y control	18
3.1.1.4 Estabilidad dimensional	19
3.2 Tratamiento térmico	19
3.2.1 Recocido.....	19
3.2.2 Recocido sub crítico	19
3.2.3 Recocido blando	20
3.2.4 Recristalización	20
3.2.5 Normalización	20
3.2.6 Temple.....	20

3.2.7	Revenido.....	20
3.2.8	Bonificado	21
3.2.9	Carbonizado	21
3.3	Defectos por tratamientos térmico	21
3.3.1	Descarbonización	21
3.3.2	Esfeoridizado.....	22
3.3.3	Grafitización.....	22
3.3.4	Quemado	22
3.4	Efectos de la temperatura	22
3.5	Transferencia de calor	23
3.5.1	Conducción.....	23
3.5.2	Convección.....	24
3.5.3	Radiación.....	25
3.6	Perdidas de calor	25
3.7	Curva de temperatura	25
3.8	Aceros.....	25
3.8.1	Clasificación de los aceros aleados	25
3.8.1.1	Aceros para herramientas.....	26
3.8.1.2	AISI 1018.....	26
3.8.1.3	AISI 1045.....	26
3.8.1.4	AISI 8620.....	26
3.8.1.5	AISI4140.....	26
3.8.1.6	AISI 4340.....	26
3.8.1.7	AISI TIM6V.....	27

3.8.1.8	Aceros estructurales	27
3.8.1.9	ASTM A36.....	27
3.8.1.10	ASTM A572.....	27
3.8.1.11	ASTM A516.....	27
3.8.1.12	Aceros especiales	27
3.8.1.13	Acero inoxidable	28
3.8.1.14	Acero 8620.....	28
3.8.1.15	Acero 12L14	28
3.8.1.16	Aceros anti-desgaste	28
4	Metodología.....	29
4.1	Diseño preliminar	30
4.2	Valoración cualitativa (Requerimientos del diseño)	30
4.3	Valoración cuantitativa	35
4.3.1	Cadenas y transporte	36
4.4	Planteamiento de diseño.....	36
5	Desarrollo del proyecto.....	41
5.1	Proceso y ejecución.....	41
5.2	Manual de usuario	46
5.2.1	Encendido horno	46
5.2.2	Encendidos quemadores	47
5.2.3	Apagado de emergencia	48
5.2.4	Apagado controlado	50
5.2.5	Programación curva de recocido	51
5.2.6	Apagado de solo un quemador	56

5.2.7	Ingreso y salida de la mesa de alimentación	57
5.3	Lista de piezas	59
5.4	Sistema de alimentación	60
6	Resultados	64
7	Discusión.....	68
8	Conclusiones	71
	Referencias	72
9	ANEXOS	73
9.1	Ficha de mantenimiento	77
9.1.1	Mantenimiento preventivo generalizado	78
9.1.1.1	Junta de la puerta:	78
9.1.1.2	Calidad del sellado de la puerta	78
9.1.1.3	Limpieza interior de la cámara:	79
9.1.1.4	Ventilador:	79
9.1.1.5	Motores y juntas del eje del motor:.....	79
9.1.1.6	Conexiones eléctricas:	79
9.1.1.7	Resistencias eléctricas:.....	79
9.1.1.8	Calibración del controlador principal:	79
9.1.1.9	Tensión de alimentación eléctrica:.....	80
9.1.1.10	Limpieza de cadena:	80
9.1.1.11	Limpieza de carcasa y estructura del horno:.....	80
9.1.1.12	Limpieza chimenea:	80
9.1.1.13	Tensado de la cadena:	81
9.2	Tabla de resumen	81

9.2.1 Información de proveedores82

9.2.2 Repuestos y herramientas críticas84

Lista de tablas

Tabla 1	Requerimientos expresados por el cliente y necesidades específicas. Elaboración propia.....	30
Tabla 2	Dureza antes y después del recocido	44
Tabla 3.	Componentes principales de la fabricación.	
Tabla 4.	Primera toma de datos de temperaturas superficiales.	
Tabla 5.	Curva programada para el recocido #1.	
Tabla 6.	Curva final preestablecida de recocido.	
Tabla 7.	Ficha técnica horno de recocido HR3	
Tabla 8.	Tabla de mantenimiento preventivo de componentes principales del sistema	
Tabla 9.	Calendario para programación de mantenimiento preventivo.	
Tabla 10.	Tabla de proveedores principales para cada uno de los componentes enunciados en la tabla anterior.	
Tabla 11.	Repuestos críticos para stock y herramienta básica para mantenimiento.	

Lista de figuras

Imagen 1. Hornos de recocido HR1 y HR2.	14
Imagen 2. Desviación de estructura en ladrillos del horno de recocido actual de la empresa.	32
Imagen 3. Quemador y chimenea de horno de recocido HR2 de la empresa Ferrocortes. ...	33
Imagen 4. Estiba en el sistema de rodamiento.....	34
Imagen 5. Foto tomada en diagonal de la puerta, bisagras y estiba metálica.....	35
Imagen 6. Perfil inicial, vista trifurcada, lateral izquierda, frontal y superior. Software: Inventor Autodesk 2022.....	37
Imagen 7. Vista diagonal entre superior y frontal. Elaboración propia, Software: Inventor Autodesk 2022.....	37
Imagen 8. Vista diagonal, lateral derecho, frontal y superior. Software: Inventor Autodesk 2022.....	38
Imagen 9. Vista inferior diagonal, trifurcación de inferior, frontal y lateral derecha. Software: Inventor Autodesk 2022.	38
Imagen 10. Vista inferior. Software: Inventor Autodesk 2022..	39
Imagen 11. Vista frontal. Software: Inventor Autodesk 2022.....	39
Imagen 12. a) Diseño de HR1 con ladrillo refractario como pared aislante. b) diseño con manta térmica como aislante.....	41
Imagen 13. Armado a) Carcaza y b) Mesa de alimentación base.	42
Imagen 14. a) Marcación para corte de material y biselado. b) Armado de estructura del horno.....	42
Imagen 15. Armado mesa estiba para la cama de cemento.....	41
Imagen 16. a) Anclaje de mesa en el suelo. b) Instalación del control por parte de Logitec.,	42
Imagen 17. Sistema de transmisión con cadenas ya ensambladas y listas para funcionamiento.....	42
Imagen 18. Tablero de control automático.....	43
Imagen 19. Carga de recocido antes de encendido del horno. Primera toma de dureza. Elaboración propia.....	44
Imagen 20. Carga de recocido después de tratamiento térmico. Segunda toma de dureza.....	45
Imagen 21. a) Centro de control del horno apagado. b) Centro de control encendido.....	46
Imagen 22. Llave de paso para encendido de quemadores. Derecha se encuentra abierta.	47

Imagen 23. Tablero de PID. a) Selección para inicio de programación. b) Botón a dejar presionado.....	48
Imagen 24. Freno de emergencia.....	49
Imagen 25. Variador de velocidad formateado por paro de emergencia.....	49
Imagen 26. Variador de velocidad en funcionamiento normal, mientras no activan el sistema de transmisión.....	50
Imagen 27. Reinicio de curva de recocido. a) Control general del tablero en funcionamiento con la curva apagada. b) Verificación de control.....	50
Imagen 28. Menú de configuración pantalla PID.....	52
Imagen 29. Menú, segunda opción para ingreso en ProG.....	52
Imagen 30. Segmento actual en el que se encuentra la curva actualmente.....	53
Imagen 31. Tiempo del segmento en que se encuentra. Indica cuanto tiempo en total lleva en la curva.....	53
Imagen 32. Número de segmentos que tendrá la curva que se está programando.....	54
Imagen 33. Temperatura indicada por el control en el segmento 1.....	54
Imagen 34. Tiempo que se demorará en subir por medio de escalas hasta temperatura de control.....	55
Imagen 35. Tiempo que sostendrá esta temperatura, considerando un rango alto de $+50^{\circ}\text{C}$ en consideración del quemador ON/OFF que se tiene.....	55
Imagen 36. Sistema de breakers dentro de la caja transformadora del control del horno de recocido HR1.....	57
Imagen 37. Caja de control con el posicionamiento de botón para movimiento de cadena.....	58
Imagen 38. Sistema de alimentación, rieles dentro del HR1.....	61
Imagen 39. Sistema de alimentación ruedas grandes, de baja capacidad los rodamientos.....	61
Imagen 40. Sistema de ejes y piñones para HR3.....	62
Imagen 41. Sistema de cadenas para alimentación del horno, conexión con motor reutilizado de Ferrocortes.....	62
Imagen 42. Evidencia de toma con infrarrojo la temperatura de paredes laterales.....	65
Imagen 43. Resultado final del HR3 después de última inspección de calidad.....	67
Imagen 44. Tercera carga de recocido, primera carga con parámetros controlados.....	67
Imagen 45. Costos de proceso, máquinas y operación en el horno. Software:ERP EPICOR.....	68
Imagen 46. Diagrama Sankey. Elaboración propia con datos obtenidos por EPM.....	69

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
cm.	Centímetros
ERIC	Education Resources Information Center
Esp.	Especialista
UdeA	Universidad de Antioquia
HR1	Horno de recocido 1 (pequeño)
HR2	Horno de recocido 2 (grande anterior)
HR3	Horno de recocido 3 (nuevo, después de modificación)

Resumen

Diseño de un Horno con Sistema Innovador para Mejorar el Tratamiento Térmico en Ferrocortes, Empresa Líder en el Sector Metalmecánico de Medellín.

El presente proyecto de grado tiene como objetivo mejorar la calidad de los productos fabricados por Ferrocortes mediante el desarrollo de un horno con un sistema de alimentación innovador para el tratamiento térmico de recocido de metales. Se busca garantizar la estandarización del proceso al controlar la curva de temperatura y el tiempo necesario para el recocido.

En aras de optimizar costos, se ha empleado el reuso de piezas de maquinaria disponibles en la empresa para la construcción del equipo. Este horno se ha sometido a pruebas comparativas con el equipo previo utilizado en la empresa.

Los resultados obtenidos a través del análisis del desempeño del nuevo equipo demuestran una mejora significativa en la calidad del producto final. Esto se evidencia mediante pruebas de dureza, donde se ha alcanzado un valor óptimo que cumple con los estándares del tratamiento térmico.

En conclusión, el horno diseñado ha mostrado ser una solución efectiva para mejorar la calidad de los productos metalmecánicos en Ferrocortes. La implementación de este sistema innovador de tratamiento térmico ha permitido obtener resultados superiores en comparación con el equipo anterior. Este avance representa un importante logro para la empresa y potencia su posición en el competitivo mercado metalmecánico de la ciudad de Medellín.

Palabras clave: recocido, rediseño, cliente interno, sistema de alimentación.

Abstract

The aim of this thesis project is to improve the quality of Ferrocortes' products by developing an oven with an innovative feeding system for metal annealing heat treatment. The goal is to ensure process standardization by controlling temperature curves and treatment time accurately.

To optimize costs, existing machinery parts within the company have been reused in constructing the oven. The performance of this new equipment has been compared with the previously used system.

The results obtained from the analysis of the new oven's performance demonstrate a significant improvement in the quality of the final product. This improvement is evident through hardness tests, where an optimal value was achieved, meeting the heat treatment standards.

In conclusion, the designed oven has proven to be an effective solution for enhancing the quality of metal products at Ferrocortes. The implementation of this innovative heat treatment system has yielded superior results compared to the previous equipment. This advancement represents a significant achievement for the company, enhancing its position in the competitive metalworking market in the city of Medellin.

Keywords: annealing, redesign, internal customer, feeding system.

Introducción

En la empresa Ferrocortes G.M y CIA S.A.S se importa, comercializa y transforma láminas y perfiles metálicos de las siderurgias más grandes a nivel mundial. Manejando unos precios muy accesibles en este mercado que permiten una buena competencia comercial. Además de esto, en su portafolio se ofrecen procesos de conformado como el rolado, perforado, doblado, corte y procesos extras como soldadura y recocido; siendo este último de vital importancia, puesto que es el que permite manejo de los materiales con mayor dureza (en este caso son aceros de tipo 1045 o anti-desgaste). A partir de este tratamiento térmico las piezas quedan con una mayor maquinabilidad permitiendo la liberación de tensiones internas para ofrecer mayor recuperación de la estructura.

Actualmente se cuenta con dos hornos de mediano tamaño, que ofrecen una capacidad máxima de 1600 kg entre ambos (Ver Imagen 1.) los cuales cumplen la función programada. Primero, se tiene el horno más pequeño (HR1), el cual tuvo una reestructuración hace poco tiempo en la que se logró automatizar mayor parte del proceso para tener un mejor control sobre la curva de temperatura efectuada en los productos.



Imagen 1. Hornos de recocido HR1 y HR2.

Del total de material recocido, alrededor de un 95% se trabaja en el horno de mayor tamaño por su capacidad, abriendo el paso a cuantificar cual sería el rendimiento a nivel de producción que se podría ofrecer al público con un horno aún más grande. En base a esto, se busca una ampliación del horno de manera que se pueda ofrecer un volumen de 3.4 m³ que hace referencia a 6000 kg solamente en dicho horno. Dando una mejora en el portafolio de servicios de la empresa y permitiendo la maquinabilidad de muchos más productos.

Se diseñará llevando en consideración los requerimientos de producción y de esta manera se garantiza una propuesta óptima para la función que permita ser realmente un valor agregado a los productos. Sin dejar de lado el factor de costo, tratando de que sea el menor y dando una segunda vida a la mayor cantidad de partes que sea posible. Se tendrá, además, un acompañamiento de un asesor externo para garantizar la aceptabilidad del trabajo.

1 Planteamiento del problema

En la empresa Ferrocortes GM y CIA S.A.S se cuenta con dos hornos de recocido en los que actualmente se procesa alrededor de 8 a 10 toneladas al mes de lámina 1045 en diversos formatos dependiendo del uso que se les da finalmente. Actualmente, en el horno de mayor capacidad (HR1) se pueden realizar recocidos hasta de 1.7 ton de material con unas dimensiones de 1m x 1m en su área superficial, esto crea un descontento con el producto considerando que la mayoría de piezas de maquinaria que se pueden fabricar en la misma empresa son de capacidad y dimensiones mucho más grandes; se ha estado implementando ciertas malas prácticas como lo es el sobre esfuerzo del personal, el calentamiento a puertas abiertas e inclusive el enfriamiento rápido bajo consideraciones no buenas para el material.

Por estas medidas, en la empresa actualmente se busca la manera de lograr obtener una mejor capacidad para ampliar su portafolio e incursionar a la venta de láminas para moldaría, ya sea cerámica o polimérica. Para esto se requiere un análisis del sector y del proceso de recocido de la misma empresa, para poder acomodar los tiempos de producción y dar la mejor recomendación para el mismo proyecto.

1.1 Antecedentes

En 2022 se realiza la reforma del HR2, siendo un caso exitoso que presenta una gran mejoría y apoyo para el área de producción. Desde aquí se tiene la posibilidad sobre la mesa de hacer una reforma similar en la que se pueda ampliar tanto la capacidad volumétrica, como la dimensional del horno de recocido de mayor dimensión, haciendo una comparación con los resultados obtenidos con el HR2 y esperando que sean exponenciales a los beneficios que le conllevaría a la empresa una expansión de este nivel.

También, se aprovecha la ocasión para hacer un sistema más ergonómico pensando en la salud ocupacional del personal, no solo como encargados directos de la manipulación del horno, sino como parte esencial de la empresa.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar un horno para procesos de recocido considerando la capacidad de producción que tiene la empresa y mejorando la calidad del material obtenido.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar los parámetros actuales de la empresa y de los sistemas de aplicación para el recocido de manera que se permita hacer el análisis de los requerimientos de diseño.
- Utilizar el mayor número de partes posibles extraídas de equipos antiguos de la empresa.
- Rediseñar el sistema de alimentación del horno haciendo más accesible el alistamiento del proceso para los operarios.
- Redimensionar el horno de manera que se puedan trabajar moldes de hasta 2000mm de largo
- Realizar el análisis térmico del horno comprendido por la eficiencia térmica de calentamiento.

3 Marco teórico

3.1 Hornos de recocido

Considerado un equipo para calentar material a altas temperaturas de manera que se pueda sostener en la temperatura deseada, provocando un cambio en sus propiedades de dureza y resistencia a conveniencia y deseo del cliente. Se debe considerar que siempre el recocido implica una reestructuración de tensiones internas evitando al máximo las fallas del producto dando un acero más homogéneo y uniforme.

3.1.1 Características de un horno de recocido

3.1.1.1 Diseño especia de mufla

Destinado para la cocción de los productos ingresados al horno. Normalmente usado en calcinación de sustancias, secado, fundición o procesos de control sobre propiedades mecánicas.

3.1.1.2 Calefacción

Se conoce los tipos de calefacción dependiendo su inyección como lo son hornos de gas o de electricidad. Dependiendo de este se haría el centrifugado del material. Es muy importante considerar el tipo de material a calentar antes de seleccionar su modelo de inyección, ya que esta depende de las propiedades deseadas finalmente.

3.1.1.3 Monitoreo y control

Normalmente los quemadores funcionan con un sistema On/Off que permite el encendido hasta cierto nivel de temperatura, una vez allí se apaga el quemador para dejar estabilizar la cámara. Cuando llega al punto máximo del rango en el que puede descender se vuelve a encender y así sucesivamente. Es muy importante tener bien graduado tanto la curva como el control del sistema para que permita correctamente el paso y cierre de calor en las piezas. Finalmente, en este punto es que se puede seleccionar las propiedades deseadas para el producto.

3.1.1.4 Estabilidad dimensional

Los hornos convencionales son de mayor tamaño y consecuentemente mayor durabilidad, pero se debe considerar que las dimensiones están asociadas al resto del proceso. Por ejemplo, la capacidad máxima estará ligada a la potencia del quemador, el tiempo de cocción a la contracción final deseada de la pieza y la ubicación de los diferentes sensores al volumen de espacio cubierto por el horno.

3.2 Tratamiento térmico

Es un proceso bajo un control graduado, por el cual se varía en la temperatura en un material, comúnmente usado en metales y sus diferentes aleaciones. Que se utiliza con el fin de modificar su microestructura para obtener mejores propiedades físico-mecánicas como una mayor dureza superficial, ductilidad, entre otras. En general se mejora la vida útil del componente a tratar según su aplicación en específico.

3.2.1 Recocido

Con este tratamiento térmico en el que se busca que el material a tratar disminuya su dureza, de este modo es posible obtener una mejor ductilidad y así mismo eliminar las tensiones internas que se generan durante el proceso de templado. Al tener mayor flexibilidad de trabajo en el material, es posible realizar procesos de maquinado sobre la misma, además de obtener otras mejoras en sus propiedades mecánicas.

De forma técnica, el material es llevado a altas temperaturas, hasta su punto de austenización, el cual varía según cada metal entre 750°C a 950°C, con un enfriado de forma paulatina.

3.2.2 Recocido sub crítico

Este tipo de recocido se caracteriza por ejecutarse en una temperatura inferior a la eutectoide (alrededor de 723°C para aceros al carbono), de tal forma que no se presenta formación de austenita.

3.2.3 Recocido blando

Este tipo de recocido consiste en reducir al máximo la dureza de un material, con el fin de que su estructura sea blanda, a su vez facilitando la maquinabilidad que esta presenta. [3]

3.2.4 Recristalización

Es un proceso donde a través del calentamiento se consigue que los granos deformados en la pieza sean reemplazados por otros los cuales forman su núcleo, y dan crecimiento hasta ocupar totalmente el espacio de los anteriores. Se aplica en metales que fueron trabajos en frío para que sea posible el proceso de nucleación y durante el crecimiento no se presenten cambios de fase. Tiene alta eficacia al ser aplicado igualmente en aceros endurecidos, puesto que en los dos casos la estructura se recristaliza para formar granos de ferrita, los cuales cumplen la función explicada.

3.2.5 Normalización

Su objetivo es brindar una estructura uniforme y de grano fino al metal, siendo más refinado. Con este tratamiento es posible predecir el comportamiento de la microestructura y garantizar las propiedades mecánicas del material acorde a las necesidades establecidas. Esto se permite llevando al acero caliente a una temperatura de 40-50 °C por encima de su temperatura crítica.

3.2.6 Temple

Este proceso es a partir de un endurecimiento de una aleación ferrosa por austenizado (Siendo calentado por debajo de la temperatura crítica) y enseguida enfriada lo suficientemente rápido, de tal manera que parte a toda la austenita se transforme a martensita.

La pieza no se usa directamente, esto debido a la alta dureza y fragilidad que presenta en el momento el acero, normalmente se acompaña de un revenido para evitar sus fracturas.

3.2.7 Revenido

Es un tratamiento térmico que se ejecuta en un rango bajo de temperatura, entre 150°C a 650°C con el fin de eliminar tensiones y fragilidad, causadas por un enfriamiento descontrolado o de forma rápida. Normalmente es aplicado después de algún proceso de temple, entre otros. Para

mejores resultados se puede realizar un revenido a bajas temperaturas, luego el temple y por último otro revenido a altas temperaturas, de esta manera garantizamos que el acero tenga unas buenas propiedades mecánicas.

3.2.8 Bonificado

Es considerado uno de los tratamientos térmicos más importantes en la actualidad, dado que su ejecución, permite aumentar la resistencia y tenacidad del acero de manera uniforme, con la diferencia entre otros procesos, al poder sostener una elasticidad considerable, de modo que es recomendado en componentes que están sometidos a grandes esfuerzos a tracción.

3.2.9 Carbonizado

Este tratamiento térmico absorbe el carbono del metal desde su superficie mientras su calentamiento sube a una temperatura deseada. Este carbono forma una capa muy delgada en su cara superior. Normalmente, la operación se mezcla con un temple posterior, para modificar las propiedades de endurecimiento obtenidas. Entre mayor tiempo de cementación, va a aumentar el rango de difusión.

3.3 Defectos por tratamientos térmico

Son aquellos defectos físico-mecánicos, los cuales son adquiridos por el metal debido a través de tratamientos térmicos, donde las propiedades no fueron las adecuadas, las cuales pueden estar relacionadas con un mal procedimiento frente al control de temperatura o una mala combinación de estos, teniendo en cuenta que las propiedades para cada metal son diferentes. Es enfático en este punto hablar sobre la importancia que tiene el control de temperatura, ya que a partir de este se puede saber con qué resultados se obtendrán las piezas.

3.3.1 Descarbonización

Su significado va desde la metalurgia, donde se describe la disminución de contenido de carbono en los aceros, este se produce cuando el material sube altas temperaturas por tramos muy largos de tiempo, produciendo que el carbono de su superficie se junta con el oxígeno e hidrógeno

de la atmosfera, produciendo un carburo duro que, aunque puede ablandar el material no lo deja con las propiedades optimas.

3.3.2 Esfeoridizado

Proceso en el que se permite al cementita tener una estructura esferoidal, esto siempre y cuando se caliente a una temperatura baja por un tiempo largo, considerando la temperatura baja por debajo de la zona critica de temperatura. A pesar de no conseguir romper todos los esfuerzos internos, se considera muy buen tratamiento térmico cuando la única y principal función del metal, va enfocada a su maquinabilidad, ya que este factor si presenta mejora.

3.3.3 Grafitización

Proceso donde se corroe el metal, lo que conlleva un daño en su estructura. Normalmente los productos son lixiviados o productos de corrosión sin alteración en su cadena de grafito.

3.3.4 Quemado

Se considera una mala ejecución de los parámetros del tratamiento térmico, entre los cuales la velocidad de enfriamiento y la temperatura usada en el proceso, son las más destacadas como principales causantes. También hay otras variables que son considerados factores periféricos, aunque no de tan gran peso, uno de ellos es la composición del aire del horno, el cual puede estar contaminado por factores como el uso de piezas sucias, uso de gases de baja pureza, fugas en el sistema de gas, incorrecto diseño del horno en relación volumen/caudal o fallas del horno sin reparar.

3.4 Efectos de la temperatura

Los tratamientos térmicos aplicados a las piezas acabadas (diferentes tipos de acero, aleaciones metálicas de hierro o cobre) permiten mejorar sus propiedades superficiales (dureza, resistencia a la corrosión y al desgaste).

En algunos casos, también pueden utilizarse para obtener una modificación de las características visuales (coloración de la superficie, brillo, etc.). Esto es especialmente relevante

cuando se trata, por ejemplo, de utensilios de cocina (cuchillos, tenedores, cucharas) en los que la resistencia a la corrosión y la apariencia son de gran importancia para los consumidores.

3.5 Transferencia de calor

Se conoce la transferencia por ser aquella energía que se desplaza entre cuerpos que conllevan un diferencial de temperatura entre ellos, buscando ese punto de equilibrio. En los procesos de tratamiento térmico del acero, se empiezan a reconocer ciertos puntos críticos de la estructura haciendo un análisis directamente dependiente del calentamiento como del enfriamiento del cuerpo a estudiar. Sus propiedades mecánicas estarán regidas por los niveles de temperatura alcanzados en ambos puntos de la curva. Por esto, a lo largo del tiempo se ha reconocido la estructura como una consecuencia en relación con las condiciones de formación. En un horno de tratamiento térmico tiene lugar varios procesos al tiempo: La radiación de la llama y el gas a la pared en manta, la convección del gas a la manta, la conducción entre la cama de cemento y el material en acero, la acumulación de calor en el horno, la generación de energía interna en los aceros a recocer, el intercambio en convección y radiación en la parte de afuera del horno, entre muchas más. Primero, se estará analizando que son los conceptos básicos sin especificar en estos métodos de la transferencia.

3.5.1 Conducción

Existen varios tipos de hornos, entre ellos se puede conocer los hornos por conducción de los cuales se transfiere el calor de una fuente a través de cierto contacto directo con la pieza, en este caso el tratamiento completo de recocido buscará realizar un equilibrio de energías internas entre la cámara y la lámina a recocer, donde se estará basando el análisis en la ecuación:

$$\text{Calor que entra} + \text{Calor que se genera} = \text{Calor que sale} + \text{Calor que se acumula}$$

Donde:

$$Q_{entra} = Q_{conducción} + Q_{convección} + Q_{radiación}$$

desde acá se genera:

$$Q_{generado} = q * v \rightarrow Q_{sale} = Q_{conducción}$$

A partir de esto se realiza el análisis de sistema de transmisión por convección y se especifica para próximos análisis en el presente trabajo la congruencia de esta investigación con la conducción y la radiación que puede obtener el mismo proceso.

Se conoce que la razón de conducción será proporcional al espesor de material como lo enuncia la ley de Fourier que se presenta en la siguiente ecuación

$$\dot{Q}_{conducción} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Donde k es la conductividad específica del material a analizar, en este caso AISI SAE 1045, mientras A es el área de transferencia del calor perpendicular a la dirección donde se recibe aquel delta de temperatura, para terminar con dT/dx que enuncia el gradiente de temperatura por el que está pasando la pieza.

3.5.2 Convección

La convección retoma el principio de que en el tratamiento térmico se relaciona directamente con un fluido el cual hace el papel de transmisor de energía, en este caso el calor producido por los quemadores genera una alteración en las partículas del fluido predilecto que es una mezcla de gas natural y aire. A partir de este aire caliente soplado a través de los conductos y de la ventilación, se puede asociar con el calor radiante que pueden producir esta misma mezcla. Esta forma de calentamiento presenta ventaja en los tratamientos térmicos, ya que busca que en el espacio este uniformemente distribuido el aire caliente, considerando que va a tender a querer ascender, al igual que trata de buscar los espacios de fuga para salir de la respectiva cámara. Las propiedades de la lámina 1045 se consideran constantes con la temperatura por temas académicos. La ley de enfriamiento de Newton presenta la tasa de conducción obtenida por el calor en el método de la convección.

$$Q_{conv} = A_s h (T_s - T)$$

Siendo el h el coeficiente de transferencia de calor por convección, A_s el área superficial donde se da la transferencia, T_s la temperatura de la superficie y finalmente T la temperatura con la que se contrarrestara o mejor llamada, temperatura del fluido.

3.5.3 Radiación

Aunque en la conducción y la convección se precisa de un gradiente de temperatura a través de una materia, este método no requiere como tal materia fija para replicar cierta energía. Este tiene mucha relevancia en el proceso industrial a analizar, pensando en la manera en que la combustión a partir de ese combustible fósil genera energía.

3.6 Perdidas de calor

En un sistema, se puede representar esta pérdida desde varios puntos, inicialmente por las paredes como se puede presentar en el horno en esos lugares de no sello; luego, las pérdidas por apertura de compuertas, pérdidas por combustión incompleta (que desperdicia parte del combustible) y finalmente pérdidas en los gases de combustión, sea porque se realiza una combustión completa o sea por combustión incompleta.

3.7 Curva de temperatura

Es una curva que proporciona información sobre la temperatura en cierto espacio y como es su comportamiento a través del tiempo. En el caso de los hornos es un registro que se realiza mediante el uso de termocuplas las cuales van conectadas a algún dispositivo electrónico que recolecta dichos datos y construyen la curva, con el fin de regular tanto la entrada como la salida del calor. Además, se busca con ello optimizar el proceso en caso de presentar deficiencias, sea por altas pérdidas de energía, o, por el contrario, un exceso de flujo el cual sobrepasa lo requerido en el espacio de trabajo.

3.8 Aceros

Es una aleación de carbono 2% junto con hierro en hasta 0.03%. Normalmente se integran otros elementos a la aleación para mejorar propiedades mecánicas, esto en base a la aplicación que con lleve. En general, las aleaciones que contengan carbono entre 0.03-1.76% tienen las características más demarcadas y conllevan toda la denominación de acero.

3.8.1 Clasificación de los aceros aleados

3.8.1.1 Aceros para herramientas

Se usan aceros de baja aleación que sean versátiles en reparaciones o construcciones de maquinaria en general. Usados en general para cortar y modelar, con la excepción que pueden ser metales o no metales.

3.8.1.2 AISI 1018

Aleación con bajo porcentaje de carbono, que puede tener un agregado de cobre, silicio, magnesio. Tiene buena maquinabilidad y esto puede trascender de que su conformado puede ser tanto en frío como en caliente.

3.8.1.3 AISI 1045

El acero más versátil que contiene carbón y a la vez es templable. Para aplicaciones donde se requiera soportar esfuerzos por encima de los 600MPa, contenido medio-bajo de carbono.

3.8.1.4 AISI 8620

Acero que tiene muy poca proporción de aleación entre níquel-cromo y molibdeno. Se admite temple solamente de manera superficial, es típico para cementación y tiene una gran tenacidad en el núcleo que se mantiene.

3.8.1.5 AISI 4140

Acero de contenido medio de carbono, con un poco de aleación de cromo y molibdeno, muy buena resistencia al esfuerzo en relación con su accesibilidad por su costo. Tiene un comportamiento muy homogéneo gracias a sus granos, siendo consecuente en una muy buena resistencia al desgaste.

3.8.1.6 AISI 4340

Contenido medio de carbono, con aleación entre cromo, níquel y molibdeno. Alta templabilidad y resistencia a la fatiga, no tiene fragilidad después del revenido, pero muy poca soldabilidad.

3.8.1.7 AISI TIM6V

Barra perforada con características de su micro aleación, ya que puede ser tratable tratamiento superficial para obtener una estabilidad gigante y propiedades mecánicas superiores a ab carbonización.

3.8.1.8 Aceros estructurales

Aquellos empleados en parte de máquinas como engranajes, ejes, palancas y demás estructuras y herramientas de ferretería pesada y construcción.

3.8.1.9 ASTM A36

Acero más comercial de calidad estructural, fabricado con un punto mín. de cedencia de 36000psi. De lo más recomendado para diseñar y construir estructuras y equipos no tan pesados. Su mayor aplicación es en el campo de la construcción siendo moldeado en perfiles y láminas usadas en edificios o instalaciones industriales.

3.8.1.10 ASTM A572

Pala de acero de alta resistencia con muy baja aleación, con mayor resistencia que las placas tradicionales de acero al carbón. Tiene de condición micro-aleantes Niobio y Vanadio.

3.8.1.11 ASTM A516

Caracterizada por ser placa de calidad para recipientes a presión por su capacidad de resistencia a elevadas presiones con diferentes temperaturas. Fácil de soldar y con muy buena resiliencia.

3.8.1.12 Aceros especiales

Grupo en el que entran todos los aceros inoxidable y con contenido de cromo igual o mayor a 12%. Tienen propiedades en las que destacan la dureza, la resistencia a temperaturas, resistencia a corrosión como turbinas de vapor.

3.8.1.13 Acero inoxidable

Acero austenítico con facilidad para expandir su tenacidad inclusive a temperaturas relativamente bajas, su principal propiedad es que tiene muy buena soldabilidad, ductilidad y conformado.

3.8.1.14 Acero 8620

Aleado para cementación específicamente, en este estado es que se garantiza sus propiedades como dureza superficial y gran tenacidad en el núcleo.

3.8.1.15 Acero 12L14

Para buena maquinabilidad por su contenido de plomo y azufre, distribuido en su matriz metálica de ferrita. Tienen muy poca soldabilidad, aunque su superficie da un buen acabado.

3.8.1.16 Aceros anti-desgaste

Normalmente en láminas conformadas en caliente, especialmente para uso industrial o zonas que puedan presentar alto riesgo y tráfico, por ser tan duradero y a su vez antideslizante. Su grano es fino de manera que sus bordes permitan su propiedad de resistencia al desgaste.

4 Metodología

En el pasado año 2022, la empresa Ferrocortes tuvo una producción de aproximadamente 110.5 ton de metal entre anti-desgaste y AISI SAE 1045, comúnmente láminas y discos de espesores entre 3/8 y 10 pulgadas utilizados en diferentes industrias, ya sea para piñonería, engranajes, cilindros, pinzas y/o moldes para fabricación. De este total, un 95% fue recocido en el horno de mayor capacidad, el cual, a pesar de ser en comparación de mayor tamaño, cuenta con una capacidad muy limitada en la demanda que tiene actualmente este mercado. Se debe esclarecer de antemano que el recocido es un valor agregado al comprar dichas piezas con la misma empresa, por lo que está incluido en su servicio de compra y no tiene un valor comercial actualmente.

Por el tiempo que lleva en funcionamiento sus partes se encuentran muy deterioradas y con una apariencia física no muy llamativa, desde una inspección visual se puede conocer un poco de la disfuncionalidad que tienen muchos de sus componentes; por otro lado, tenemos la poca practicidad tanto para mantenimiento del horno como para su alistamiento cotidiano, ya que está ubicado en un punto donde no alcanza a llegar el puente grúa, dejando como única opción el montacargas o inclusive la fuerza de los operarios encargados (es de mucho cuidado y más considerando todos los accidentes que se pueden ocasionar).

Para el seguimiento del horno, se hará inicialmente un análisis cualitativo, donde se tendrá la inspección visual tanto del horno como de las piezas terminadas, también, se hará el seguimiento de mantenimiento de sus partes y la referencia de sus operarios. Una vez obtenidos los requerimientos básicos para el correcto funcionamiento, se procederá a hacer el análisis cuantitativo, haciendo un seguimiento con el sistema de control del horno sobre la curva de temperatura actual en comparación con los valores esperados. Consecutivo a esto, se hará una inspección de las propiedades mecánicas del material, comenzando por aquellas que se pueden realizar en la empresa como lo son dureza y calidad visual, pasando por una prueba de material grafía y aquellas que permitan información del comportamiento nuevo del material después del proceso de recocido.

Se selecciona la metodología mixta porque permite la apreciación e integración de las diferentes áreas de la empresa en el proyecto, apropiándose aún más del proceso y de su sostenimiento a lo largo del tiempo, pero, por otro lado, se permitirá cuantificar el gasto, la inversión y el ahorro energético que este proyecto puede proyectar en la empresa, sin considerar que abrirá una brecha de negociación muy fuerte con sus clientes antiguos y nuevos.

Para la medición de propiedades mecánicas se evalúa un subcontrato con una agencia externa que permitirá hacer un informe total de estos mismo, para así al final poder comparar cuantitativamente las mejores generado en la operación de los operarios y por el proceso de la máquina.

4.1 Diseño preliminar

Se empieza el diseño del horno a partir de la capacidad que se necesita según requerimientos, se realiza un modelado de lo que se desea para la empresa tanto en herramientas como en maquinaria. Se tiene en consideración la parte de salud y seguridad del trabajador; para abarcar todas las sugerencias expresadas por el personal que se establecen como consejeros en el tema de los procesos hechos en la planta. Inicialmente, se empieza con un sondeo sobre que se necesita y a su vez que requerimientos tendría.

4.2 Valoración cualitativa (Requerimientos del diseño)

Los requerimientos iniciales del diseño se basan en el problema central de recocer láminas de mayor tamaño geométrico, considerando los espesores en los que se presentan los materiales de 1045 y anti-desgaste. Con esto en mente, pensando en lo que significa las láminas más grandes, debe cambiar el sistema de alimentación, la seguridad del proceso y la estandarización del recocido producido para llevarlo a láminas más grandes.

Este primer reconocimiento juega el papel principal en este análisis, puesto que de saber como es el proceso y cada característica y componente que posee y ayudan a su correcto funcionamiento, es que se puede realizar un desglose de procesos paralelos que complementarían la función mejorada del nuevo horno de recocido, integrando las partes más complicadas como es el sistema

de combustión, con la importancia del proceso operativo como el conocimiento de la curva de recocido, sin restarle importancia a ninguno de los requerimientos exigidos por la empresa.

No.	PLANTEAMIENTO DEL CLIENTE	PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD	IMPO
1	“Que el sistema sea controlado “	Control autosuficiente	2
2	“Que sea más accesible a los operarios”	Accesibilidad	2
3	“Fácil de montar y desmontar para mtto”	Manejo de mantenimiento	2
4	“Fácil interacción”	Accesibilidad	1
5	“Menos tiempo de cargue y descargue del horno”	Ahorro de tiempo	1
6	“Doble motorización para abarcar mayor volumen de carga”	Control autosuficiente	2
7	“Que se pueda ingresar al recocido láminas de hasta 1.8m”	Capacidad	3
8	“Que tenga alarmas en caso de fallo”	Control autosuficiente	2
9	“Que sea más ergonómico y no necesite de ser empujado”	Accesibilidad	2
10	“Que se cumpla con la curva del recocido según la norma”	Control autosuficiente	2

Tabla 1. Requerimientos expresados por el cliente y necesidades específicas. Elaboración propia.

Así como se observa en la tabla 1 se hace una designación estándar por un código de números, siendo 3 un criterio de mayor criticidad y siendo 1 de menor valorización dentro del

proceso. De esta manera se pasa ese análisis cualitativo de forma cuantitativa para poder dar prioridad a las exigencias primordiales que en este caso habla de la medida del horno y la capacidad que tendrá la empresa en el recocido.

Desde la imagen 1 se puede observar la estructura física del horno en ese momento, la primera característica es que estéticamente este horno no presenta lo funcional y su trabajo principal, que puede y debe tener. La parte estructural que esta en viga HEA140 no presenta problemas, pero la carcaza en ladrillo y la manta térmica que lo componen, muestran un gran deterioro como se puede observar en la imagen 2, donde se aprecia la desviación que tiene la fila de ladrillos, sin considerar que estos mismos se pueden quitar manual y muy fácilmente, ya que su aglomerante se encuentra sin mantenimiento, ya despegado de cada una de las superficies y sin presión alguna.



Imagen 2. Desviación de estructura en ladrillos del horno de recocido actual de la empresa.

En la figura 3 se puede apreciar el sistema de alimentación-expulsión de gases con el que cuenta actualmente el horno, se debe considerar que la chimenea es de piezas recicladas de tubería antes trabajada en la misma empresa, y el quemador, aunque es de referencia de 400.000 Btu no cuenta con manual de mantenimiento ni con manual operativo para conocer como es el proceso de recuperación y de combustión en el recocido. También, por ser un quemador ALTO-BAJO presenta una funcionalidad al 80% de su potencia (la cual es también un dato desconocido). Con esta chimenea se busca poder desechar aquellos gases calientes producto de la combustión, está fabricado en material inoxidable para bajar la temperatura exterior y al ser una lámina de calibre

alto y pequeño espesor debía tener por dentro una capa de manta térmica para evitar que estas temperaturas se vieran muy reflejadas en su estructura superficial. Aunque cumple con la función designada, no tienen un buen mantenimiento.



Imagen 3. Quemador y chimenea de horno de recocido HR2 de la empresa Ferrocortes.

Luego tenemos la imagen 4 que presenta el funcionamiento del carrito estibador el cual hace el proceso de sistema de alimentación, solamente la mesa en estructura puede pesar alrededor de 1 ton, sumado con 1600kg que es su capacidad máxima, se habla de que se carga aproximadamente con 2.6ton; estructuralmente esta sobredimensionado pues podría cargar mucho más peso con ese diseño, pero el tema de espacio dimensional es el que no proporciona ayuda para este aumento. La altura desde el suelo es aproximadamente 840mm, lo cual hace más fácil su cargue considerando que es manual y que hasta este punto de la empresa no llega a totalidad el puente grúa, por lo que el cargue debe hacerse con una pluma de peso o con la fuerza del operario.

Este error es muy comúnmente encontrado en la industria puesto que pasan por alto normas básicas de salud y seguridad en el trabajo, como el esfuerzo excesivo por parte de los operadores, sin considerar las consecuencias que pueda tener después legalmente la compañía. Además, el sistema de rodamiento que tenían funcionaba por accionamiento manual, cuando los empleados

empujando, sin olvidar que la plataforma estaba a menos de 1m de altura, por lo que debían inclinarse para hacer dicha fuerza. También el mismo calor hacía que ocurrieran fallas y desgastes en los rodamientos, al estar expuestos directamente. Esto también en correlación con la falta de mantenimiento.



Imagen 4. Estiba en el sistema de rodamiento.

La lámina de la puerta como las láminas de la estiba estaban pandeadas por la onda de calor que se producía en la hora de recocer, este proceso era normal, pero funciona al tener respectivo mantenimiento frecuente, como la empresa no contaba con un mantenimiento infraestructural para esta máquina, varias veces ocurrieron accidentes como el que se cayeran las puertas, se atoraran bisagras e inclusive se sobrecalentarán algunas piezas.



Imagen 5. Foto tomada en diagonal de la puerta, bisagras y estiba metálica.

4.3 Valoración cuantitativa

Se pasa a realizar una estimación técnica en el cual se consideren los parámetros actualmente ofrecidos por el diseño planteado, alrededor de estos se realiza un análisis de costos y se presentan dos propuestas.

En ambos estudios hechos se analiza un horno nuevo, de dimensiones mayores, y con el mayor material posible de material reciclable, pero conociendo que por ser una estructura más grande saldría en la mayoría de los casos más costoso sacar el material usado que usar nuevas vigas o cortes de material. Para la primera opción, se hablaba de un presupuesto con ladrillo refractario y solo una capa de manta térmica, esta opción salía más costosa considerando el precio unitario de cada ladrillo de estos. Segundo, se tenía la propuesta de un horno moderno, hecho únicamente con manta térmica en las paredes en forma de sandwich con tornillos de inoxidable y la lámina de acero en la parte superficial.

Finalmente, por decisión de la gerencia de la empresa, se elige la segunda opción y se comienza con estimación matemática para las principales funciones necesarias.

4.3.1 Cadenas y transporte

Para la parte del sistema de alimentación se hace una estimación considerando el peso de la capa y el peso que se requiere con el cual va a funcionar el sistema de tracción.

$$C_p = 9.81 * \mu_c [(2.05 * W_c * L) + W](N)$$

$$K = (C_p * V)/1000$$

Considerando

L como longitud de la cadena que es igual a 3m

Wc como peso de la cadena y de transporte=30 kg/m

W es el peso de la carga por cadena que sería 6000kg/2 = 3000kg

Uc sería el coeficiente de fricción con lubricación que sería según literatura de 0.15

$$C_p = 9.81 * 0.15 [(2.05 * 30 * 3) + 3000]$$

$$C_p = 1.4715[3184.5]$$

$$C_p = 4685.99 N$$

Factor de seguridad

$$\frac{4685.99 * 8}{2} = 18743.967 N$$

Esta es la carga que debe soportar cada cadena, dándonos por el catalogo de la Reynold una cadena de BS27 de diámetro de sproket de 31.8 mm para un paso de 1”.

Para el factor de combustión se considera ambos quemadores de 400.000 BTU después de aprobación de gerencia para la compra del nuevo quemador, y se hará una subcontratación con la empresa LOGITEC SAS para la cálculo, diseño e instalación del sistema de control de ambos quemadores.

4.4 Planteamiento de diseño

Se realiza un diseño preliminar, el cual obtiene varias modificaciones tanto del área de producción como de mantenimiento, para empezar la puesta a punto del horno. A continuación, se verán las partes principales que componen la máquina.

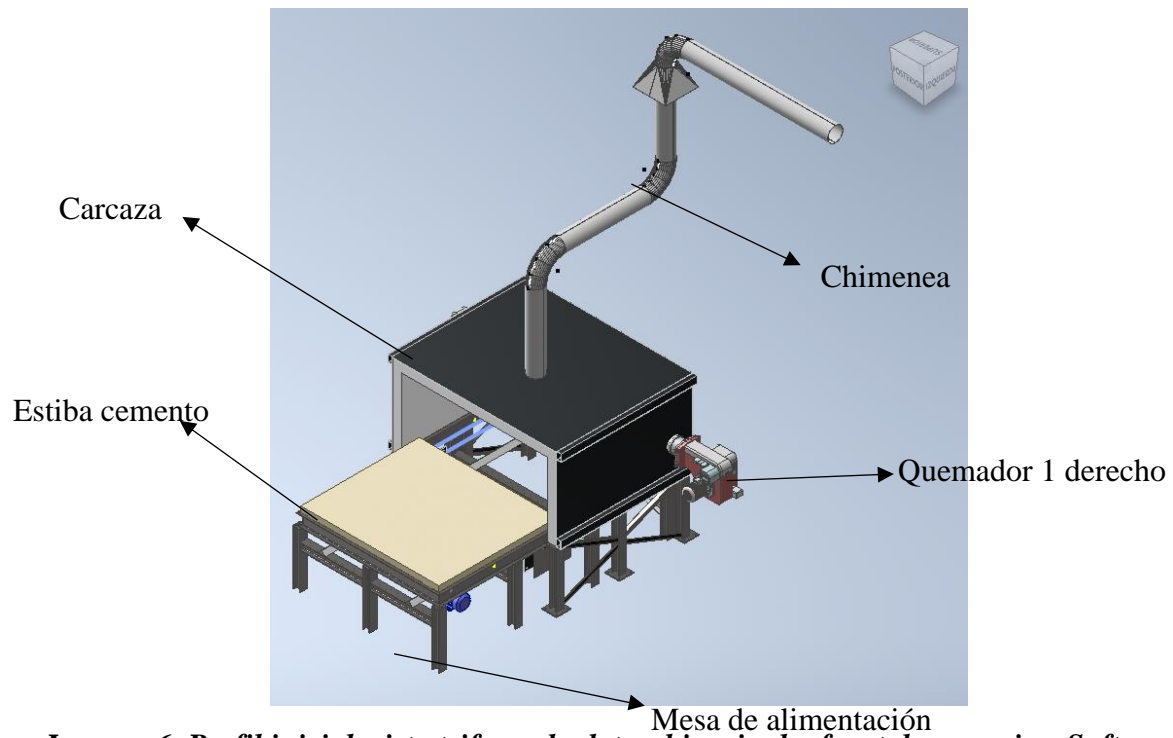


Imagen 6. Perfil inicial, vista trifurcada, lateral izquierda, frontal y superior. Software: Inventor Autodesk 2022.

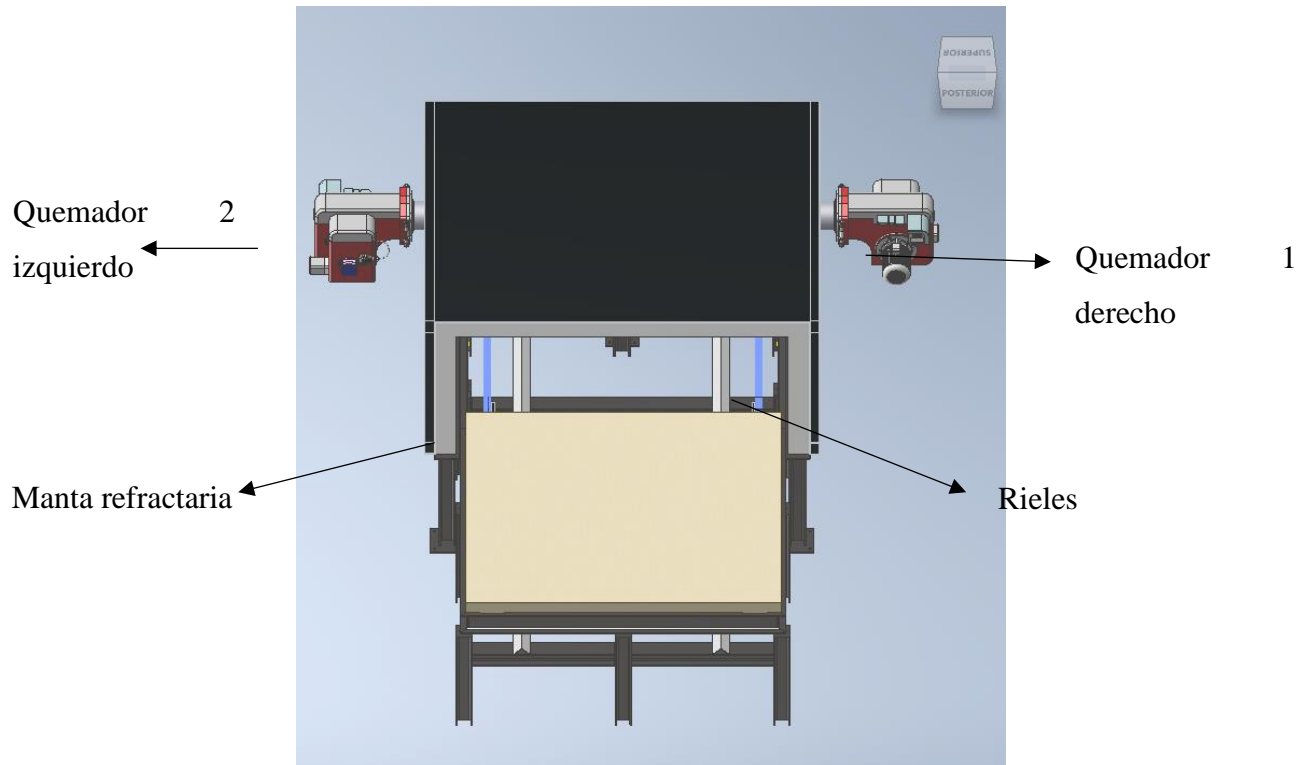


Imagen 7. Vista diagonal entre superior y frontal. Software: Inventor Autodesk 2022.

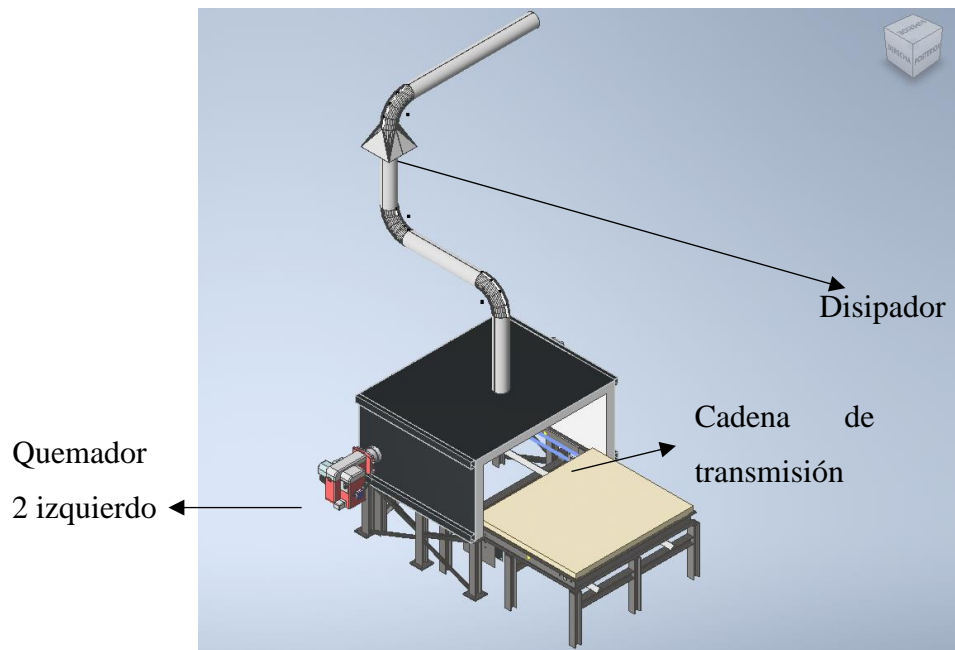


Imagen 8. Vista diagonal, lateral derecho, frontal y superior. Software: Inventor Autodesk 2022.

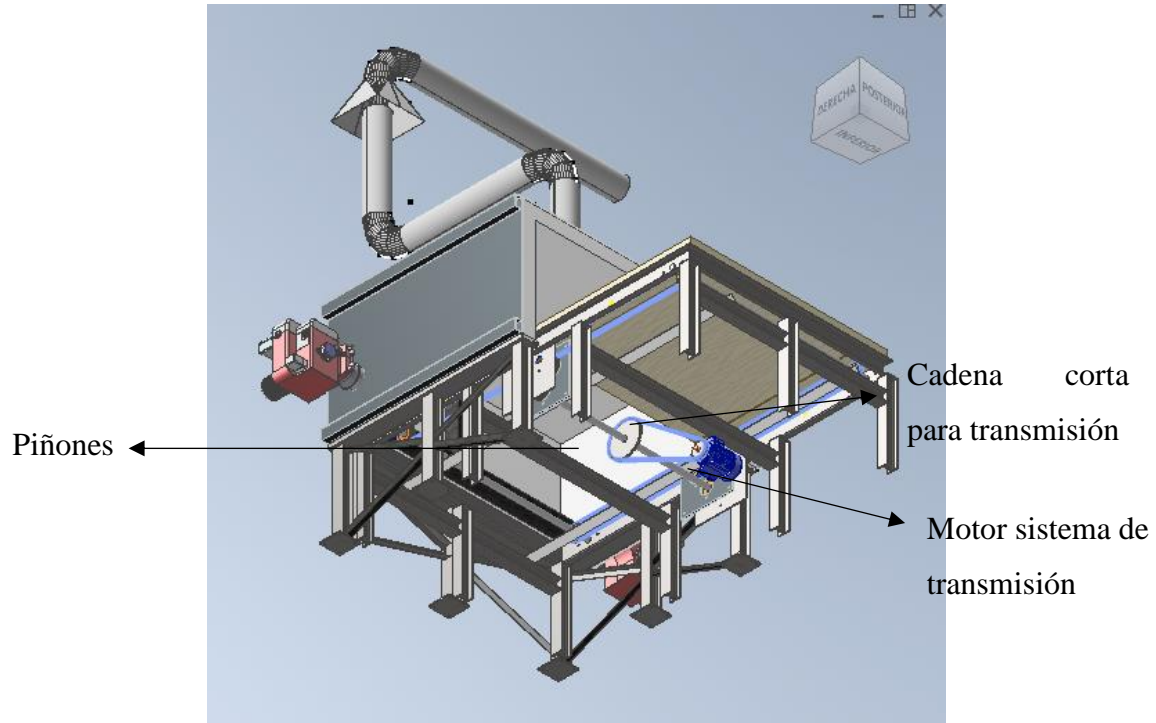


Imagen 9. Vista inferior diagonal, trifurcación de inferior, frontal y lateral derecha. Software: Inventor Autodesk 2022.

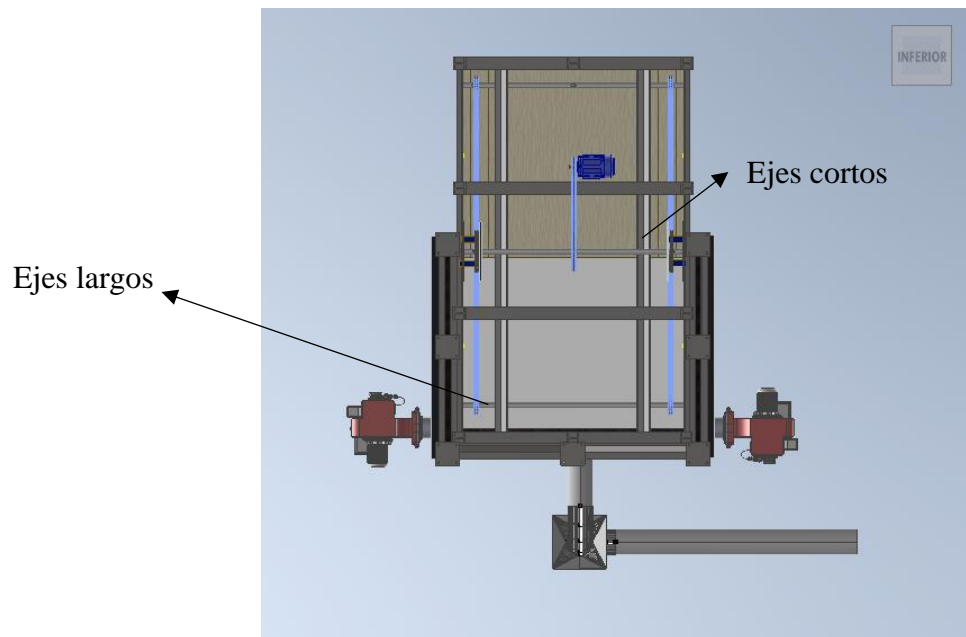


Imagen 10. Vista inferior. Software: Inventor Autodesk 2022.

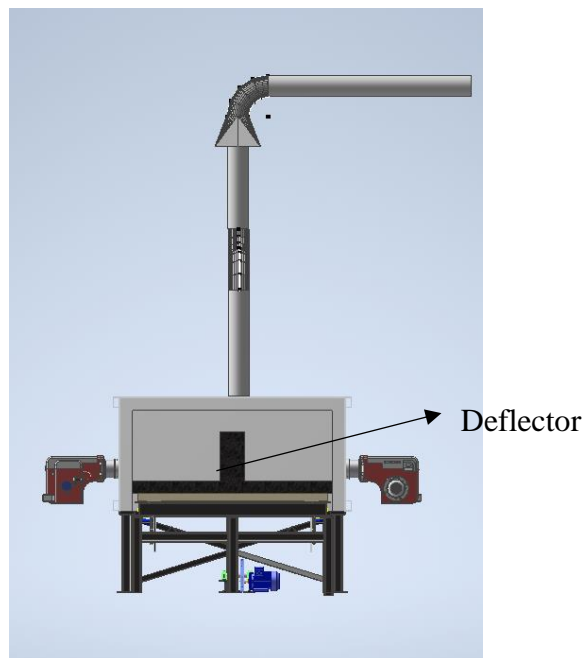


Imagen 11. Vista frontal. Software: Inventor Autodesk 2022.

Se espera lograr un entregable que sea totalmente funcional y con su respectiva ficha técnica para sostenimiento y control. Transversal a este, se ha buscado reducir la curva de temperatura

permitiendo un recocido de mayor eficiencia con una menor descarbonización de piezas el cual se verá en las propiedades mecánicas de los diferentes metales procesados.

También, se establecerá una condición de trabajo más apto física y ergonómicamente para cada uno de los trabajadores, pensando en su accesibilidad y el alistamiento que implica cada cargue y descargue del horno actual. Todo esto, se verá reflejado en un factor económico, con el ahorro de gas perdido en fugas, el valor del tiempo de alistamiento, inclusive el tiempo de recocido propiamente.

Finalmente, se tiene pensando en compartir toda la información obtenida de este diseño para hacer claridad sobre los riesgos del funcionamiento del actual horno y las normatividades que se están omitiendo en esta producción.

5 Desarrollo del proyecto

5.1 Proceso y ejecución

El proceso se realizó de manera principal por Ferrocortes, tanto en material como en maquinaria; pensando en la misma empresa como el cliente principal de este uso. Como se puede observar en la imagen 1 tenemos el horno con el que contaba producción. A partir de este modelo que fue hecho empíricamente, se empieza con un diseño y un bosquejo inicial en el que se toman dos opciones para decidir, una es presentar un diseño similar al que se tenía en base al conocido LADRILLO REFRACTARIO y otra se basa en una nueva herramienta llamada MANTA CERÁMICA. Finalmente, en conjunto se decide por la manta como una tecnología innovadora, por su bajo costo en comparación con el ladrillo refractario y fácil instalación.

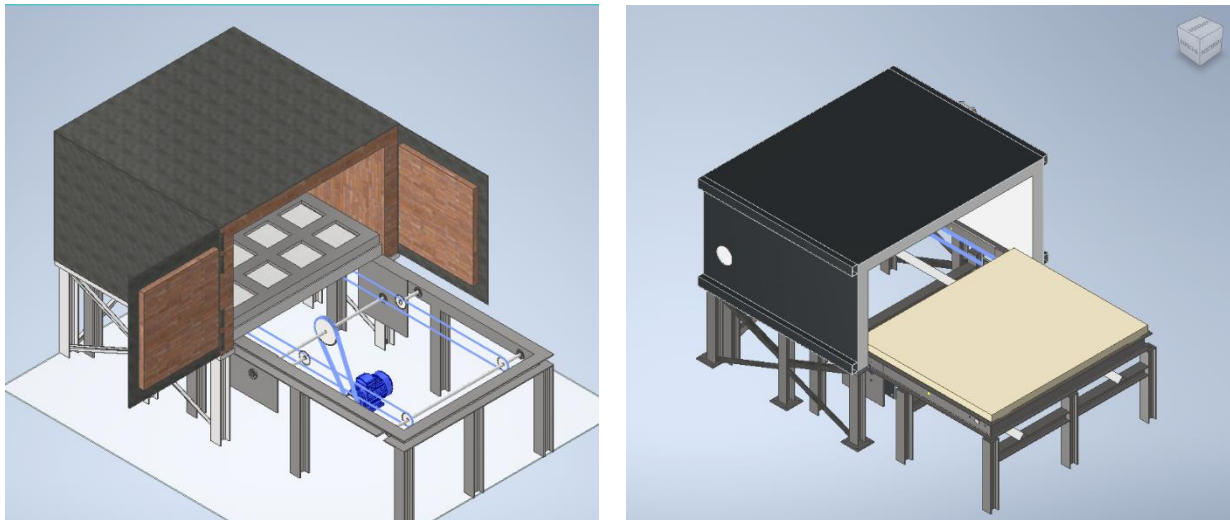


Imagen 12. a) Diseño de HR1 con ladrillo refractario como pared aislante. b) diseño con manta térmica como aislante.

Apartir de esta selección se empieza la fabricación del horno, como se puede ver en la imagen 3. Se realiza la fabricación con materiales suministrados por la misma empresa. Se tercerizan los mecanizados con la empresa Industrias CAMU.

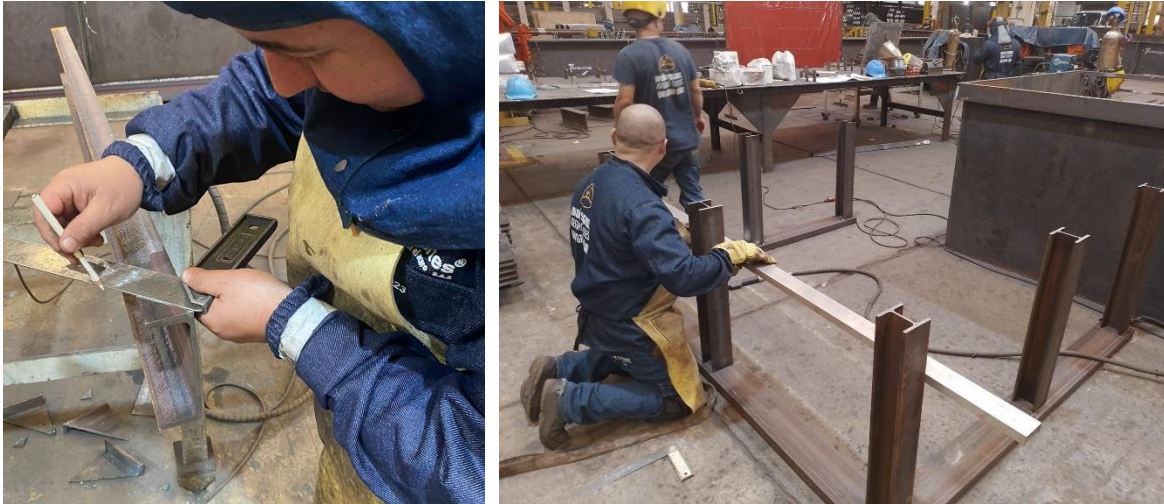


Imagen 13. Armado a) Carcaza y b) Mesa de alimentación base.

Participaron las áreas de corte y transformación, en conjunto con ensamble; las cuales pertenecen al proceso de producción de la compañía. En el proceso se fueron haciendo mejoras en base a la experiencia que se tenía en la empresa sobre este tipo de fabricación.



Imagen 14. a) Marcación para corte de material y biselado. b) Armado de estructura del horno.

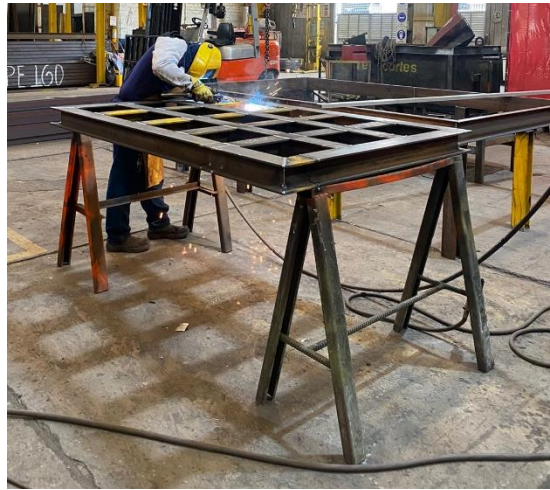


Imagen 15. Armado mesa estiba para la cama de cemento.

Una vez se contaba con la estructura inicial lista, se pasó al anclaje y posteriormente al sistema de alimentación guiado por una transmisión mecánica para empezar a hacer pruebas técnicas en base a lo diseñado. Con el apoyo del personal de mantenimiento de la empresa se instaló el sistema de tracción para la alimentación del horno, este valor agregado es considerando que el horno contendrá hasta 6 toneladas de material a recocer y debe ser fácil y ergonómico su cargue-descargue para el personal encargado.



Imagen 16. a) Anclaje de mesa en el suelo. b) Instalación del control por parte de Logitec.

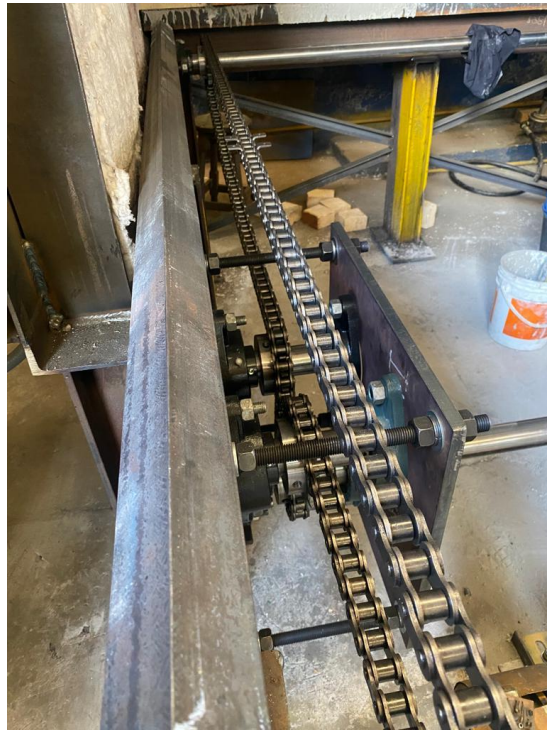


Imagen 17. Sistema de transmisión con cadenas ya ensambladas y listas para funcionamiento.

Por último, tenemos la intervención de la empresa LOGITEC contratada para el diseño y fabricación del sistema de control del horno, además de la programación del nuevo quemador y el mantenimiento y puesta a punto del anterior quemador que se reutilizará en el montaje. Los ingenieros de LOGITEC también realizaron el control del sistema de transmisión para la



Imagen 18. Tablero de control automático.

alimentación el horno ya que esta quedaría desde el mismo tablero de control de los quemadores. Se tuvo la intervención de Andres Cardona Cardona y Camilo Andres Sanchez, ingenieros de la empresa LOGITEC. Finalmente, se puso en marcha el sistema de transmisión y se hizo la calibración de la curva de recocido a partir de los resultados de dureza de las piezas antes y después del recocido, como se muestra en la tabla a continuación. En estos resultados se puede ver una disminución de hasta el 37% de dureza, lo cual basados en la literatura está en lo permitido del proceso de recocido, siendo un tratamiento térmico de reducción de al menos el 25% de dureza.

DUREZA	
ANTES	DESPUÉS
345	253
335	251
341	251
300	258
372	302
285	253
285	251
300	258

Tabla 2. Dureza antes y después del recocido..



Imagen 19. Carga de recocido antes de encendido del horno. Primera toma de dureza.



Imagen 20. Carga de recocido después de tratamiento térmico. Segunda toma de dureza.

5.2 Manual de usuario

5.2.1 Encendido horno

Inicialmente se debe verificar que los breakers se encuentran hacía arriba dando paso magnético, a su vez, se debe garantizar que la planta tenga energía (por parte de la acometida general). Para realizar el encendido general es necesario solamente dar giro a la llave que se encuentra en el medio de la caja de control. Inmediatamente se escuchará el funcionamiento de los kits de ventilación los



Imagen 21. a) Centro de control del horno apagado. b) Centro de control encendido.

cuales tienen como funciones recircular el aire para limpieza de las boquillas y evitar que los gases calientes se devuelvan por el circuito del quemador dañando el dispositivo. Observar imagen 16.

5.2.2 Encendidos quemadores

Para los quemadores inicialmente debemos verificar que este abierta la llave de encendido general (para esto, devolverse al punto 4.1.1 Encendido horno).

Luego, se debe verificar que la llave de paso de chispa este hacia el lado derecho en donde se permitirá empezar a generar el calor correspondiente a la combustión



Imagen 22. Llave de paso para encendido de quemadores. Derecha se encuentra abierta.

Una vez la llave es abierta, se debe dar la señal de inicio de la curva de recocido que es producida al dejar el botón de la flecha hacia arriba sostenido, como se observa en la ilustración 17. Una vez



Imagen 23. Tablero de PID. a) Selección para inicio de programación. b) Botón a dejar presionado.

se enciende el aviso de “PRG” se puede dejar de hundir el botón.

5.2.3 Apagado de emergencia

En la parte superior del tablero de control se halla un botón rojo conocido como freno de emergencia (Observar ilustración 19). Este botón permite interrumpir todo el funcionamiento del sistema tanto en la transmisión como en la combustión. Se debe considerar que este freno de emergencia será usando realmente en una emergencia puesto que su reactivación debe ser manual y con acceso al sistema de control, además, de considerar que desactiva todo el sistema, incluyendo los kits de ventilación, lo cual puede llegar a ser muy peligroso para ambos quemadores si se presenta con la temperatura de la cámara por encima de 100°C.



Imagen 24. Freno de emergencia.

Para la activación nuevamente se debe desbloquear el freno que se encuentra en la parte superior del tablero de control, verificando que no esté presionado, sino que se encuentre en su posición inicial, una vez se asegure esto, se debe abrir la caja de control y reiniciar manualmente el variador de velocidad.



Imagen 25. Variador de velocidad formateado por paro de emergencia.

En la pantalla encontraremos el texto “ESAF “, oprimiremos el botón “STOP-RESET” hasta que la pantalla este nuevamente en 00.0



Imagen 26. Variador de velocidad en funcionamiento normal, mientras no activan el sistema de transmisión.

Ahí se podrá volver a las funciones normales del control.

NOTA: Asegurarse de cerrar bien nuevamente la caja de control.

5.2.4 Apagado controlado

En caso de necesitar reiniciar la curva o hacer un paro en el recocido se debe cancelar la orden dada por la programación y hacer un reinicio de la curva. Esta forma de parar el recocido es igualmente la óptima, considerando que, de esta manera, aunque los quemadores se apaguen no se desconecta el sistema de ventilación que protege del aire caliente el sistema interno del mismo quemador.

Para hacer un apagado, debemos oprimir la tecla de la flecha hacia abajo “↓” y al mismo tiempo la tecla “f/s”, como se muestra en la ilustración 22.



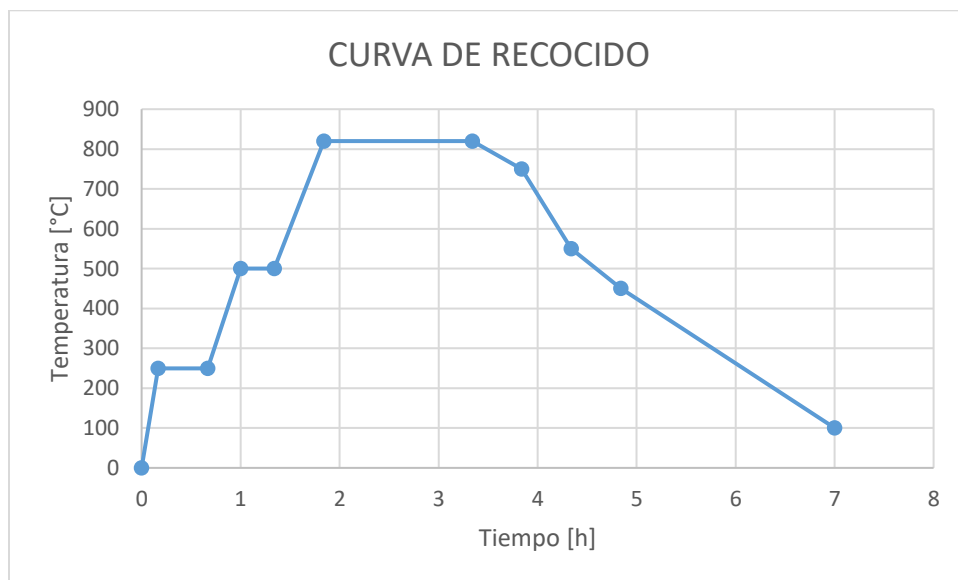
Imagen 27. Reinicio de curva de recocido. a) Control general del tablero en funcionamiento con la curva apagada. b) Verificación de control

Para confirmar que se realizó correctamente el indicador de “PRG” debe quedar apagado y la indicación del control en cero absoluto.

5.2.5 Programación curva de recocido

El tratamiento térmico de recocido permite un ascenso lento en la temperatura hasta el punto eutectoide de los aceros, que está por encima de los 750°C, para luego tener un enfriamiento controlado y muy lento que permita que sus granos puedan quedarse distribuidos de forma más pequeña, esto es lo que permitirá que sea más maleable el comportamiento de la pieza. Considerándolo, se puede variar la curva de forma que sea óptima para el recocido dependiendo de los materiales que se ingresen. Por ejemplo, se puede bajar el tiempo de recocido con piezas muy delgadas considerando que se mantendrá el espacio más caliente y viceversa. Esta curva es la que se ingresa manualmente en la programación de control de manera que permita la regulación de temperatura; se debe considerar que de preferencia esto los debe hacer el personal capacitado y con conocimiento sobre la curva para este tratamiento térmico.

En la gráfica 1 se puede observar la curva programada inicialmente en el horno y a continuación se explicará cómo se accede a su programación.



Gráfica 1. Curva de recocido con los niveles o escalas preestablecidas.

Para empezar, se da clic sostenido en el botón llamado “f/s”, nos dirigirá a una lista, donde con la flecha hacia el lado “←” y empezará a parpadear el letrero “uSEr” en pantalla. Esto significa que podremos cambiar la variable en la que estamos posicionados.



Imagen 28 Menú de configuración pantalla PID

Una vez acá nos dirigiremos con la flecha hacia abajo “↓” al menú presente; allí buscaremos el parámetro “ProG” y daremos clic en el botón de ingresar “f/s”.



Imagen 29. Menú, segunda opción para ingreso en ProG

Estando allí nos aparecerá la pantalla principal de la curva de recocido, donde inicialmente nos mostrará en que segmento se está en el momento. Si el horno no está en funcionamiento mientras realizamos este cambio, debe aparecer que se encuentra en el segmento 0.



Imagen 30. Segmento actual en el que se encuentra la curva actualmente.

Damos clic a “f/s” para aceptar esta información y nos aparece la pantalla del tiempo en el que nos encontramos. De nuevo, si no está en funcionamiento debe aparecer el tiempo en 0.00, **se debe considerar que el tiempo en la pantalla MAXTHERMO esta designado por horas antes del punto y minutos después del punto.**



Imagen 31. Tiempo del segmento en que se encuentra. Indica cuanto tiempo en total lleva en la curva.

Una vez corroboremos la información, se da de nuevo clic en “f/s” y nos ingresará a la pantalla en que nos preguntará cuantos segmentos queremos obtener en la curva programada. Por la programación hecha inicialmente, según la curva de la gráfica 1 la cual es la que se encuentra

ingresada en el sistema, estará dividida en 6 segmentos de recocido. En caso de necesitar cambiarla se da clic en el botón “←” y empezará a titilar, esta es la señal de que podemos editar el valor; para hacerlo, se puede desplazar por los números con la tecla “←” y cambiar su valor con “↑” o “↓”.



Imagen 32. Número de segmentos que tendrá la curva que se está programando.

Una vez terminemos, se debe dar clic nuevamente en “f/s” para aceptar los segmentos establecidos. Nos dirigirá la pantalla a la entrada de datos del primer umbral de la curva de temperatura.



Imagen 33. Temperatura indicada por el control en el segmento 1.

En esta pantalla se debe editar el valor de la primera escalera de temperatura en la curva. Para editarlo se realiza como se explicaba anteriormente: se da clic en el botón “←” y empezará a titilar, esta es la señal de que podemos editar el valor; para hacerlo, se puede desplazar por los

números con la tecla “←” y cambiar su valor con “↑” o “↓”. Luego, se da clic nuevamente en f/s.



Imagen 34. Tiempo que se demorará en subir por medio de escalas hasta temperatura de control

Por último, se presentará una pantalla el ingreso de tiempo, pero en este caso es para el tiempo de sostenimiento en este segmento de la curva. Se debe tener muy presente que este tiempo es el que se mantendrá en la temperatura establecida. Una vez se acepta esto, se oprime nuevamente el botón “f/s” y la pantalla volverá a aparecer la acción de la ilustración 30 pero con el segundo intervalo de temperatura que indicará el tiempo de sostenimiento en esa temperatura. Una vez se termina, se presiona “f/s” para dar ENTER y allí reaparecerá la ilustración 30 pero con el intervalo 2; así sucesivamente hasta completar los datos de los 6 intervalos.



Imagen 35. Tiempo que sostendrá esta temperatura, considerando un rango alto de $\pm 50^{\circ}\text{C}$ en consideración del quemador ON/OFF que se tiene.

Finalmente, para salir de la edición, se dejará sostenido el botón de flecha hacia arriba “↑” y con esto también de inmediato se hará dicha programación para el inicio del calentamiento.

5.2.6 Apagado de solo un quemador

Es importante tener en consideración que los quemadores manejan una combustión inteligente, en donde ellos preestablecen un valor de temperatura y procuran llegar hasta este rango, al momento de llegar se apagan por su sistema ON-OFF, haciendo que empiece a bajar la temperatura. Al llegar al límite inferior del rango establecido, envían inmediatamente la orden para iniciar nuevamente.

Por este calentamiento sumado con la posición que se encuentran los quemadores, es necesario considerar que siempre debe permanecer de alguna forma sellada la entrada del quemador que no se estará usando, para evitar el ingreso de aires calientes en el sistema del quemador.

Para encender solo un quemador debemos acceder a la caja de control, allí debemos identificar los breakers generales del sistema, iniciando por los dos verdes que hacen referencia a ambos quemadores. BKQ1 es el quemador #1 instalado de lado derecho del horno y BKQ2 es el quemador #2 instalado en la parte izquierda del horno, al bajar cualquiera de los dos estaremos desactivando totalmente el sistema en función, esto implicaría también el kit de ventilación y el medidor de dicho quemador.

Con bajar uno de los dos breakers tendríamos el horno en funcionamiento con solo 1 quemador, finalmente, se accedería como es de costumbre al horno. En caso de no recordarlo dirigirse al punto 5.2.1 y 5.2.2.



Imagen 36. Sistema de breakers dentro de la caja transformadora del control del horno de recocido HRI.

Los breakers están designados por colores y tienen la función de evitar daños específicos en el sistema por una excesiva corriente. Los describiremos por sus colores: ROSADO, hace referencia al breaker general, en caso de algún falló en alguno de los breakers específicos este será la protección final; GRIS, protege al control específicamente, aunque tienen su sistema de fusibles; VERDES, enunciados anteriormente hacen la administración de corriente para los quemadores y finalmente, AZUL, quién regula la corriente del motor y a su vez del variador para lograr un funcionamiento regular del sistema de alimentación.

5.2.7 Ingreso y salida de la mesa de alimentación

Como valor agregado, el horno cuenta con un sistema semiautomático para facilitar la carga y descarga del mismo. Cuenta con un motor y sistema de transmisión por cadenas que proporciona una reducción en el trabajo hecho por el mismo motor, considerando que es un sistema de tracción expuesto se debe tener total prevención en su manejo, en el momento de poner la estiba en funcionamiento con la cadena, se debe asegurar que no haya nadie en la parte interior del horno, ni haciendo contacto de alguna extremidad con la propia cadena ya que puede ser susceptible de un atrapamiento.

Inicialmente con la estiba cargada y lista para ingresar al horno, se presiona el botón “ADELANTE” ubicado en la parte inferior del tablero como se puede apreciar en la imagen 34, se debe dejar presionado hasta el tope. Se debe procurar que la estiba llegue hasta el fondo que se encontrará con la cama de ladrillos para asegurar un sellado inferior. Finalmente, se cierran las puertas del horno y se puede pasar al sistema de combustión.



Imagen 37. Caja de control con el posicionamiento de botón para movimiento de cadena.

Una vez sea necesario retirar el material y sacar la estiba del horno, se tendrá el mismo proceso, pero para este caso inicialmente se deben abrir las puertas en totalidad, para que no obstaculice el paso de la carga. Luego, se debe presionar el botón “ATRÁS” hasta nuevamente encontrar el tope delantero.

Se debe realizar el descargue con apoyo del puente grúa y si el caso lo amerita, con el montacargas.

5.3 Lista de piezas

Para esta fabricación, se utilizó una lista extensa de materiales que se presenta en la tabla a continuación. Estructuralmente en el horno buscan satisfacer el objetivo de reutilizar la mayor cantidad de piezas posibles, por lo que usaron láminas, tubería, vigas, motores e inclusive uno de los quemadores.

PIEZA	REFERENCIA	PROCEDENCIA
QUEMADOR 1	400.000 BTU	Se extrae de HR1
QUEMADOR 2	400.000 BTU MARCA RIELLO	Compra en plaza
KIT DE VENTILACIÓN	Código 3010094	Compra en plaza
MANTA CERÁMICA	MANTA CERÁMICA X1500	Compra en plaza
LÁMINA HR	A572, A36	Ferrocortes
LÁMINA INOX	304	Ferrocortes
VIGAS Y PERFILES	HEA 100, IPE 100, ÁNGULO 1"x1"	Ferrocortes
CHIMENEA	C12 GALV	Ferrocortes
CHUMACERAS	CHUMACERAS FL 205	Compra en plaza
RODAMIENTO	RODAMIENTO UC2"	Compra en plaza
RODAMIENTOS	RODAMIENTO 6308	Compra en plaza
EJES 1020	1020	Ferrocortes
EJES 1020	1020	Ferrocortes
EJES 1020	1020	Ferrocortes
EJES 1020	1020	Ferrocortes
PIÑONES	B17	Compra en plaza
RELÉS	Générico	Compra en plaza
MOTOR	RPM _e =1750, RPM _s =165, 2.4 hp	Ferrocortes

CADENAS	80-B17	Compra en plaza
TUBERÍA	1"	Compra en plaza
GANCHO	HR de ½"	Compra en plaza
ADITAMENTOS	80 K1-Limpieza	Compra en plaza
CABLEADO	Générico	Compra en plaza
RUEDAS	Ruedas eje de 40mm. 5 pulgadas diámetro ext.	Ferrocortes
VARIADOR DE VELOCIDAD	FR-D700	Compra en plaza

Tabla 3. Componentes principales de la fabricación.

Al implementar esta estrategia, se logró reducir considerablemente los costos de producción al utilizar retales sobrantes de procesos de fabricación anteriores y reutilizar materiales del horno anterior, considerando su vida útil restante. No obstante, es fundamental mantener un estricto programa de mantenimiento debido a los ciclos de uso previos del equipo. Esta estrategia no solo optimiza los costos, sino que también contribuye a prácticas sostenibles al reducir los desperdicios y maximizar la eficiencia de los recursos disponibles.

5.4 Sistema de alimentación

Esta reforma ha sido una de las más significativas, ya que previamente a esta mejora, la empresa enfrentaba desafíos en el proceso de carga y descarga del material. Debido a la ubicación obstruida del HR1, los puentes grúas no podían llegar hasta allí, lo que obligaba a recurrir a carretas o sistemas de izaje más pequeños. Los operarios encargados del proceso tenían que asumir riesgos significativos para su salud e integridad física al realizar estas tareas peligrosas.

Una vez que los materiales se encontraban en la estiba, se requería el esfuerzo conjunto de 2 o 3 operarios para empujar la mesa con la ayuda de ruedas para colocar las piezas en su lugar antes de iniciar el recocido.

Además, en situaciones excepcionales donde se debían recocer piezas de gran tamaño, se improvisaba una guarda para realizar el recocido con las puertas abiertas, lo que implicaba no cumplir con las normativas de salud y seguridad en el trabajo.



Imagen 38. Sistema de alimentación, rieles dentro del HRI.



Imagen 39. Sistema de alimentación ruedas grandes, de baja capacidad los rodamientos.

La implementación de esta reforma ha tenido un impacto significativo, permitiendo una carga y descarga más segura y eficiente del material, reduciendo riesgos laborales y garantizando el cumplimiento de las normativas de seguridad.

Luego remitidos a un catálogo genérico de cadenas, usamos la Reynold para definir la cadena BS27 como la más apta para el sistema, una vez hecha esta elección, se busca el asesoramiento de un asesor de la empresa Cadenas y Complementos para homologar esta selección a una cadena genérico eligiendo finalmente la cadena de la marca DID 80-B17 de un paso de pulgada y sus respectivos piñones.



Imagen 40. Sistema de ejes y piñones para HR3.

A partir de este montaje, se trata de reducir el trabajo directo que deben hacer las cadenas para el funcionamiento deslizante de la mesa hacia atrás y hacia adelante; reduciendo el trabajo realizado por los operarios considerablemente y mejorando los tiempos de cargue y descargue del horno.



Imagen 41. Sistema de cadenas para alimentación del horno, conexión con motor reutilizado de Ferrocortes

Esta mejora ha traído consigo significativas ventajas en el proceso de recocido, permitiendo que el tiempo sea aprovechado en otras labores, lo que a su vez reduce los costos asociados con la necesidad de tener uno o varios operarios dedicados exclusivamente a esta tarea. Además, gracias a la implementación de esta reforma, los operarios han adquirido un mayor conocimiento del proceso y comprenden la importancia de cada uno de los factores involucrados, como el cuidado de la manta, la seguridad en el cargue, el sellado del horno y los tiempos de enfriamiento, entre otros. Todo esto ha contribuido a optimizar el rendimiento y la eficiencia del proceso de recocido en la empresa.

6 Resultados

Con lo anterior se busca diagnosticar como estuvo el cambio asociado a la redimensión del HR3, tenemos en consideración la temperatura en diferentes zonas del horno, iniciando por la parte media de las puertas que es la zona donde más se presentaron fugas de sellado de la estructura con la manta térmica. Durante estas pruebas se hizo seguimiento tanto exterior como interno gracias a la instalación de termocuplas en puntos estratégicos dentro de la cámara de combustión, como la empresa no cuenta con dispositivo que registre y guarde automáticamente estos datos, se uso un medido láser de temperatura con el que contaba el área de calidad para la toma de pruebas END en el material recocido.

El resultado de la primera prueba tomada se presenta en la tabla 3, la cual esta tomada después de la calibración del equipo de temperatura y con el control manual de un seguimiento durante el tiempo de recocido. La curva a la cuál operaba en ese momento el horno se presenta en la tabla 4.

CURVA	HORA	TEMPERATURA						
		CONTROL	PROMEDIO	PUERTAS	QUEMADOR1	QUEMADOR2	LATERAL IZQ	LATERAL DER
0	9:10	150	38,7	28	29	29	28,7	28,7
150	9:14	150	202	36	29	30	42	39
449	9:34	328,9	319,4	47	30	37,6	63,5	78
	9:38	355	326,3	58,2	44,3	25,3	89	89
	9:45	438	415,9	59	36,9	28,6	100	79,5
450	9:53	450	420	89	37	32,2	116	105,3
	10:16	450	359,8	112	87	44,7	136	134,2
599	10:39	563	424,4	147	71,8	61,2	151,5	179,8
	10:43	585,5	577,4	148,3	75,4	52,4	175,3	164,6
	10:47	600	585	152	76,7	54	191,6	191,6
600	10:50	600	585,4	193	91	42	192	197,5

Tabla 4. Primera toma de datos de temperaturas superficiales.

CURVA			
TEMEPRATURA	SUBIDA	MANTIENE	UNIDAD
100	0	10	MIN
450	30	30	MIN
600	30	30	MIN
850	60	60	MIN

Tabla 5. Curva programada para el recocido #1.

Se realiza una serie de medidas, con diversas variaciones. En la primera toma se solucionan unos problemas de sellado captado a través del pirómetro y la inspección visual de ciertas juntas. Una

vez la máquina estaba totalmente fría se procedió en apoyo del equipo de producción para realizar dichos ajustes.

Una vez solucionados los problemas relacionados con la estructura física del sistema, se procedió a iterar en el control de la curva de temperatura para obtener la mejor combinación de parámetros para el recocido, considerando las propiedades requeridas por los materiales. Sin embargo, surgió un nuevo desafío debido al sistema de combustión rediseñado. Los quemadores se colocaron uno frente al otro, lo que requirió la instalación de un kit de ventilación para garantizar el flujo de aire dentro de ellos y evitar posibles accidentes internos. Sin embargo, este kit, al estar en modo ON-OFF, expulsaba aire a temperatura ambiente cuando los quemadores estaban apagados, lo que causaba una disminución rápida e indeseada de la temperatura interna en la cámara de combustión.

Para abordar este problema, se llevó a cabo un nuevo control de temperatura superficial del horno, asegurando que no excediera los 80°C para evitar riesgos de contacto con el personal. Además, se ajustó el flujo de los gases de salida para mejorar la eficiencia y el rendimiento del horno. Estas mejoras y ajustes en el control y regulación del sistema de combustión han contribuido significativamente a la optimización del proceso de recocido, garantizando un funcionamiento más seguro y eficiente del horno en su conjunto.



Imagen 42. Evidencia de toma con infrarrojo la temperatura de paredes laterales.

Este problema lo solucionamos agregando una regulación de la bajada de temperatura en la curva del recocido, es decir, no solamente se controlaría la curva en su subida, sino también en la bajada, para al menos en las primeras horas de enfriamiento que son las más críticas para el crecimiento y la formación de grano, se logre obtener un buen resultado proyectado en su dureza. Así como se observa en la tabla 5 queda programada la curva de recocido del HR3.

CURVA FINAL			
TEMEPRATURA	SUBIDA	MANTIENE	UNIDAD
420	40	0	MIN
650	10	30	MIN
850	30	110	MIN
750	10	20	MIN
550	10	20	MIN
450	10	20	MIN

Tabla 6. Curva final preestablecida de recocido.

Se obtiene con estos cambios una mejoría considerable en el recocido del SAE1045, por lo que se decide dejar este como predilecto. En este punto se socializa con el equipo de transformación sobre este proceso y se explica en general el porqué de cada paso. A continuación, se presenta el resultado obtenido estructuralmente.



Imagen 43. Resultado final del HR3 después de última inspección de calidad.



Imagen 44. Tercera carga de recocido, primera carga con parámetros controlados.

7 Discusión

Finalmente, se puede decir que se obtuvo un resultado exitoso en cuanto a la fabricación del horno, cumpliendo con cada uno de los requerimientos estipulados en el comienzo. Se hace una evaluación del costo de la máquina para comparar el proceso considerando que los materiales obtenidos por la empresa que es al menos un 50% y la mano de obra casi al 80% son a precio costo.

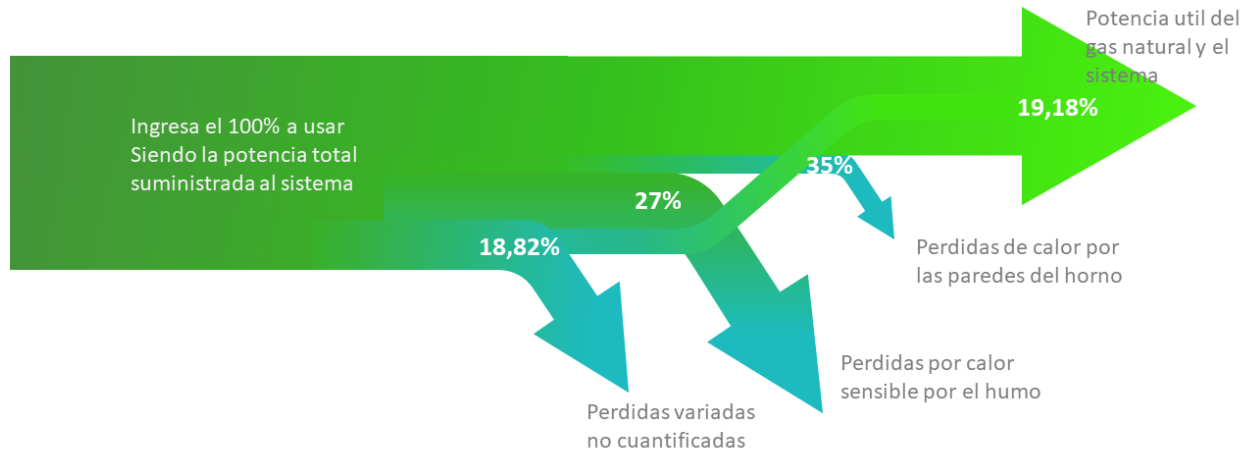
Este nivel	Estimado	Elementos de costo	Elementos de fab.	Total real	Detalle de material
Material	24.356.190,90465	32.250.676,75000	1.589.034,25000	33.839.711,00000	33.820.141,21000
M. obra	2.073.553,08926	11.087.037,76000	0,00000	11.087.037,76000	6.475,12000
Gast. gen.	1.676.905,00000	2.572.593,39000	0,00000	2.572.593,39000	13.094,67000
Subcontrato	5.685.000,00000	5.685.000,00000	0,00000	5.685.000,00000	0,00000
Gastos grales. mat.	15.537.158,06109	439.426,76000	154.210,24000	593.637,00000	
Total	49.328.807,05500	52.034.734,66000	1.743.244,49000	53.777.979,15000	33.839.711,00000

Imagen 45. Costos de proceso, máquinas y operación en el horno. Software:ERP EPICOR

Con lo anterior tenemos que el horno presenta un costo total de \$53'777.980 los cuales fueron suministrados por la empresa Ferrocortes en total confianza del proceso. Se debe considerar que el 33% de este valor hace referencia al precio del subcontrato con LOGITEC, empresa que nos suministró la programación, instalación y los materiales del nuevo control, además, la sincronización del nuevo quemador con el antiguo que tenían en la empresa.

La composición química del gas natural suministrado en Ferrocortes, fue brindada por al Transportadora de Gas Internacional (TGI), que es la empresa encargada por epm. De allí pudimos extraer el diagrama Snakey respectivo para el sistema como se puede observar en la imagen 22.

Sankey Diagram



Designed by PoweredTemplate

Imagen 46. Diagrama Sankey. Elaboración propia con datos obtenidos por EPM

Una vez se conoce la eficiencia con la que se trabaja el combustible, en este caso gas natural, se debe ver como se efectúa en las piezas. Con ayuda al laboratorio de metrología de la empresa, se logra hacer el estudio de la dureza antes y después del proceso de recocido, ajustando los parámetros más significativos de manera que se vea representado en las propiedades del material de la manera que se esperaría.

Los parámetros a su vez están alterando directamente esos consumibles mismos del horno, hablando tanto del gas de red, como del espacio, del tiempo usado, de la modalidad para la programación del horno e inclusive se habla de la electricidad gastada por el equipo.

Los hornos instalados en la empresa operan usando gas natural de red como combustible. Todos estos factores se tienen en cuenta para considerar el horno apto y apoyado por un número tangible de consumibles, que van a promover su funcionalidad en totalidad.

El consumo de gas en promedio era 41 m³ por ciclo, lo que aumento a casi 60 m³ por ciclo, lo cual es razonable por la combustión del segundo quemador y el volumen que se debe llenar para obtener buena temperatura en la cámara. De igual modo mientras el área ocupada por el horno era aproximadamente 3.5 m², aumento significativamente a casi 4.3 m², lo cual significa un rubro de costo solamente por tener el horno en el predio de Ferrocortes.

Se espera de esta nueva máquina, poder ofrecer un servicio de recocido, no solo como valor agregado para los clientes directos de la empresa, sino que, también incursionando en el proceso de recocido de la ciudad de Medellín, haciendo un sondeo que muestra que no es tan común este proceso y por el contrario, presenta muchos beneficios para la empresa.

8 Conclusiones

En síntesis, se logró el principal objetivo que era el poder fabricar un nuevo horno de recocido en compañía del área de producción en la empresa, en junio del 2023 se entregó un horno totalmente funcional, con un sistema de alimentación estable para al menos 4ton aparte de su misma estructura y con un control programado para una curva de recocido funcional hasta para 6 ton.

Se logró la capacitación del personal, sobre los tratamientos térmicos, la importancia de respetar el proceso tanto de calentamiento como de enfriamiento del material, para mejorar las prácticas posteriores al reconocido como tal. Hablando de operarios capaces de reconocer o conocedores del proceso térmico y el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema.

El sistema de alimentación contó con un motor que es la base de la energía, este motor fue una de las piezas que logramos reutilizar de Ferrocortes, aliviando costos de manera que nos permita también hablar de una seguridad en el trabajo y un cuidado del operario como principal cliente del uso del horno.

Se cumplió satisfactoriamente los ítems del requerimiento de diseño, inclusive se mantuvo bajo la cadena de costos propuestas inicialmente. Para concluir, se realizó una investigación de mercado en donde se apuntó a averiguar el cuanto hubiera costado este mismo horno si se hubiera elegido comprarlo o contratar en totalidad una empresa externa; en lo que se estimó que este diseño, con sus componentes y su total funcionalidad, tendría un precio de hasta \$140.000.000, realizando este proyecto con un 37% del valor que tendría en el mercado.

Referencias

- [1] Abott, "Hornos de Recocido" Furnace Company, 2020. [En línea]. Available: <https://www.abbottfurnacemexico.com/pagina-principal/productos-de-hornos-industriales/hornos-de-recocido>. [Último acceso: 13 02 2023].
- [2] A. E. E. S. F. Z. J.L. Amorós, "ESTABILIDAD DIMENSIONAL EN PIEZAS DE, Asociación de Investigación de las Industrias Ceramicas (AICE)". ed., España.
- [3] BodyCote, "PLC" 2022. [En línea]. Available: <https://www.bodycote.com/es/servicios/tratamiento-termico/#:~:text=El%20tratamiento%20t%C3%A9rmico%20es%20un,vida%20%C3%BAtil%20de%20un%20componente..> [Último acceso: 01 2023].
- [4] P. M. Solá, Tratamientos térmicos de los metales, Madrid: Marcombo, 1991.
- [5] ALCALÁ, "TEMPLES INDUSTRIALES B81933368- C/ Uranio nº 8, P.I Sonsoles de" 2020. [En línea]. Available: <https://www.templesindustrialescalca.es/politica-proteccion-datos/>. [Último acceso: 01 2023].
- [6] B. Iraola Sáenz, Optimization of graphene dispersion and functionalization processes for the development of different composites., España, 2017.
- [7] G. Nordberg, "METALES: PROPIEDADES" de ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, 2019, p. 63.21.
- [8] FERROCORTES, GUÍA Y TABLAS TÉCNICAS DE LOS ACEROS, Medellín: LIBRO ARTE, 2022.
- [9] Gerardo Rodriguez, "Tratamientos térmicos" 2023. [En línea]. Available: <https://formacionmecanizado.com/que-son-los-tratamientos-termicos-mecanizado/>. [Último acceso: 01 2023].
- [10] Condeaceros SA, "Aceros y servicios" [En línea]. Available: <https://coldeaceros.com/aceros-especiales/#1511972407913-06a33da7-e046>. [Último acceso: 27 01 2023].
- [11] Ocampo, Arturo Molina. "TRATAMIENTOS TÉRMICOS."
- [12] Malishev, A., G. Nikolaiev, and Yu Shuvalov. "Tecnología de los metales." Mir, 1965.

9 ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica

Anexo 2. Ficha de mantenimiento

Anexo 3. Flyer publicitario

Anexo 4. Planos de taller del horno

ANEXO 1.
FICHA TÉCNICA
HORNO DE
RECOCIDO 3

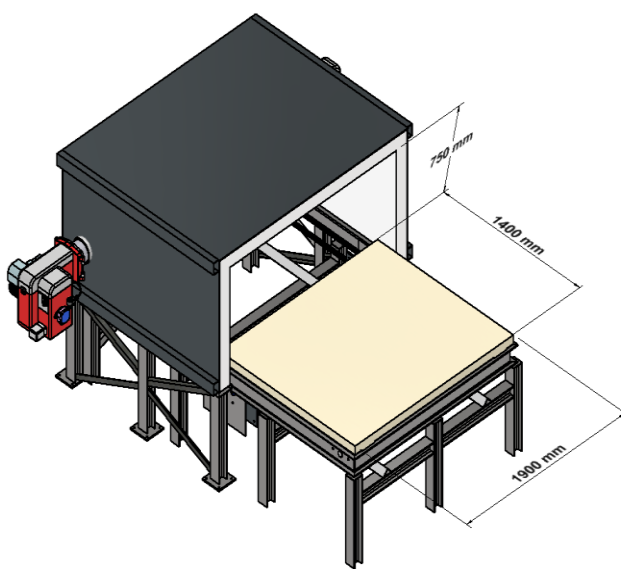
FICHA TÉCNICA					
REALIZADO POR	MELISSA ZAPATA	FECHA ULT MODIFICACIÓN	02/06/2023		
EQUIPO	HORNO DE RECOCIDO HR1	UBICACIÓN	ZONA DE FABRICACIONES		
FABRICANTE	FERROCORTES	SECCIÓN	PRODUCCIÓN		
MODELO	V1	CÓDIGO EPICOR	HR1		
MARCA	FERROCORTES				
CARACTERÍSTICAS DE CAPACIDAD MÁXIMA					
CAPACIDAD EN PESO	6ton	ALTURA	0,8 m	ANCHO	1,95 m
LARGO	1,45 m	COLOR	N/A	ANCLADO	No
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HORNO					
PESO	N/A	ALTURA	1,7 m	ANCHO	3,5 m
LARGO	1,8 m	COLOR	N/A	ANCLADO	Sí
FUNCIÓN			IMAGEN DEL SISTEMA		
RECOCIDO PARA WL ALIVIO DE TENSIONES INTERNAS DE LAS PIEZAS PRODUCIDAS EN LA MISMA EMPRESA.					
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
Dimensiones máximas: 750 x 1400 x 1900 mm					
Máxima temperatura: 820°C (según programación)					
Número de quemadores: #2					
Capacidad de quemadores: 400,000 btu					
Sistema de transmisión de la carga: hasta 6 toneladas					
Material estructura y carcasa: Láminas y perfiles de acero de bajo carbono, refuerzos de acero inoxidable					
Recubrimiento refractario: con manta cerámica y cemento Concrax.					
Sistema de transmisión: Piñones 80B17, Cadena CHJC, ejes 1020-4143, chumaceras y sus rodamientos de 2".					

Tabla 7. Ficha técnica horno de recocido HR3

ANEXO 2.
FICHA DE
MANTENIMIENTO
PARA HR3

9.1 Ficha de mantenimiento

PARTE	UBICACIÓN	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
		ESPECIFICACIONES	TIEMPO ESTIMADO
QUEMADOR 1	DERECHA	400.000 BTU	6 meses
QUEMADOR 2	IZQUIERDA	400.000 BTU MARCA RIELLO	6 meses
KIT DE VENTILACIÓN	MOTORES	Código 3010094	6 meses
MANTA CERÁMICA	RECUBRIMIENTO	MANTA CERÁMICA X1500	6 meses
LÁMINA HR	ESTRUCTURA	Verificación que no haya grietas	6 meses
LÁMINA INOX	ESTRUCTURA	Verificación que no haya grietas	1 año
VIGAS Y PERFILES	ESTRUCTURA	Verificación	1 año
CHIMENEA	ESTRUCTURA	Verificación que no haya grietas	1 año
CHUMACERAS	ESTRUCTURA	Lubricación	1 vez al mes
		Limpieza	3 meses
RODAMIENTOS	ESTRUCTURA	Lubricación	1 vez al mes
		Limpieza	3 meses
EJES 1020	ESTRUCTURA	2" x 2.4m	6 meses
EJES 1020	ESTRUCTURA	2" x 200mm	6 meses
EJES 1020	ESTRUCTURA	1" x 100mm	6 meses
PIÑONES	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Lubricación	1 vez al mes
		Limpieza	3 meses

MOTOR	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	RPM _e =1750, RPM _s =165, 2.4 hp	1 año
CADENAS	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Lubricación	1 vez al mes
		Limpieza	3 meses
GANCHO	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	HR de ½"	6 meses
ADITAMENTOS	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	80 K1-Limpieza	3 meses
RELÉS	SISTEMA DE CONTROL		1 año
CABLEADO	SISTEMA DE CONTROL		1 año
RUEDAS	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Ruedas eje de 40mm. 5 pulgadas diámetro ext.	6 meses
TUBERÍA	EMT	Para cableado	1 año
VARIADOR DE VELOCIDAD	MITSUBISHI	FR-D700	1 año
CHIMENEA	FERROCORTES	Limpieza al interior	6 meses

Tabla 8. Tabla de mantenimiento preventivo de componentes principales del sistema

9.1.1 Mantenimiento preventivo generalizado

9.1.1.1 Junta de la puerta:

Inspeccione la junta de la puerta, esta no debe tener fisuras, golpes, desviaciones considerables, etc.

Tiempo de inspección: 1 mes

9.1.1.2 Calidad del sellado de la puerta

Compruebe que la puerta cierra de manera uniforme en todo su perímetro para evitar la pérdida de calor. Ajuste los cierres de puerta o bisagras si es necesario.

Período de Inspección: 3 Meses

9.1.1.3 Limpieza interior de la cámara:

Limpie el interior de la cámara con cepillo de cerdas finas suavemente, recuerde no mojar, ni agregar productos químicos. Barrido en seco.

Período de Inspección: 3 Meses

9.1.1.4 Ventilador:

Inspeccione y limpie los ventiladores. Asegúrese de que gira libremente y este está sujeto al eje del quemador y giran solidariamente.

Período de Inspección: 1 año.

9.1.1.5 Motores y juntas del eje del motor:

Revisar que el motor al accionar este girando libremente, de ser necesario lubricar. Revise los sellos y las juntas del eje del motor para evitar el deterioro.

Período de Inspección: 6 meses

9.1.1.6 Conexiones eléctricas:

Inspeccione el interior del panel de control y el compartimiento de resistencias y motor de ventilación para revisar las conexiones eléctricas localizar y sustituir si es necesario los cables pelados, componentes sueltos u otros problemas potenciales.

Período de Inspección: 6 meses

9.1.1.7 Resistencias eléctricas:

Inspeccione las resistencias eléctricas en el interior de la cámara de aire y verifique que las resistencias están en su lugar que no se ha roto ningún aislador o verifique otros defectos.

Período de Inspección: 6 meses.

9.1.1.8 Calibración del controlador principal:

El controlador de temperatura y los termopares de temperatura deben ser comprobados y ajustados en el controlador. Por favor, consulte el manual de usuario del equipo PID MaXthermo para obtener

más información. De ser contratado con externo considerar proveedores iniciales del control: LOGITEC.

Período de Inspección: 1 año

9.1.1.9 Tensión de alimentación eléctrica:

Medir la tensión de alimentación del horno y verifique que se encuentra dentro de la tolerancia de $\pm 10\%$ establecido para los valores de tensión recomendados.

Período de Inspección: 6 meses

9.1.1.10 Limpieza de cadena:

Retirar la suciedad o polvo que se note con un cepillo de cerdas finas o con un trapo limpio y seco, luego se aplica el desengrasante para cadenas y se deja reposar. Finalmente, se frota suavemente ese desengrasante para quitar suciedad incrustada, este proceso incluye dientes de piñones, eslabones y aditamentos. Para terminar, se usa el trapo limpio para secar y se le vuelve a agregar lubricante.

Período de inspección: 6 meses

9.1.1.11 Limpieza de carcasa y estructura del horno:

¡Importante! NUNCA use una solución de limpieza que contiene iones de cloruro o fluoruro. Estos iones son agresivos y altamente corrosivos para el acero inoxidable. Tampoco agregar jabones o desinfectante por su reacción a altas temperaturas. Solo se permite el uso de jabón en la superficie de la caja de control (caja gris).

Sacuda bien todas las superficies de preferencia en seco y haga un barrido exhaustivo de sobrantes de material.

Período de inspección: Al menos 1 vez al menos

9.1.1.12 Limpieza chimenea:

La chimenea debe estar de vía abierta, se debe revisar con frecuencia que no haya objetos o desperdicios que puedan obstruirla. También, se puede apoyar de un cepillo deshollinador para hacer la limpieza interior. Recordar, que esto debe realizarse solo cuando este el horno apagado y totalmente a temperatura ambiente.

Periodo de inspección: Al menos 1 vez cada 6 meses.

9.1.1.13 Tensado de la cadena:

Se detecta cuando empieza a tener tirones la cadena de manera repetitiva, haciendo un reflejo de golpe y un impulso forzoso por parte del motor. Puede deberse a cargas externas muy pulsantes, un eslabón atorado o en pérdida de flexibilidad y/o muy poco tensado de la cadena.

Período de inspección: 6 meses

9.2 Tabla de resumen

A continuación, se hará la separación del mantenimiento por épocas especificadas en 1 año normal sin variación alguna. NOTA: En caso de tener un fallo o algún correctivo, hacerle seguimiento al menos en el mes siguiente antes de volver al calendario recomendado de mantenimiento.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO CALENDARIO			
MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
Lubricación chumaceras	Limpieza chumaceras	Revisión quemadores	Mantenimiento lámina INOX
Lubricación rodamientos	Limpieza rodamientos	Revisión kit de ventilación	Mantenimiento vigas y perfiles
Lubricación piñones	Limpieza piñones	Mantenimiento manta cerámica	Limpieza y mantenimiento de chimenea
Lubricación cadenas	Limpieza cadenas	Mantenimiento lámina HR	Mantenimiento motor
Junta de la puerta	Mantenimiento aditamentos	Revisión y lubricación ejes	Rectificado ejes (de ser necesario)
Limpieza general	Lubricación ruedas	Revisión gancho de anclaje del sistema de transmisión	Limpieza y revisión tubería EMT para cableado

	Calidad del sellado de la puerta	Mantenimiento ruedas	Calibración variador de velocidad
	Limpieza interior de la cámara	Revisión paralelismo y nivel de rieles	Limpieza ventilación
		Revisión de conexiones y resistencias eléctricas	Calibración controladora principal
		Revisión tensión de alimentación eléctrica	
		Limpieza cadena	
		Tensado de cadena	
		Limpieza interior de chimenea	

Tabla 9. Calendario para programación de mantenimiento preventivo.

9.2.1 Información de proveedores

PARTE	UBICACIÓN	PROVEEDORES	OBSERVACIONES
QUEMADOR 1	DERECHA	DESCONOCIDO	Se homologa con el quemador izquierdo
QUEMADOR 2	IZQUIERDA	RIELLO, LOGITEC	Fabricante, comerciante
MANTA CERÁMICA	RECUBRIMIENTO	SUMINISTROS INGENIERIA Y SOLUCIONES SA, Reframetal, CALORCOL	
LÁMINA HR	ESTRUCTURA	Ferrocortes	

LÁMINA INOX	ESTRUCTURA	Ferrocortes	
VIGAS Y PERFILES	ESTRUCTURA	Ferrocortes	
CHUMACERAS FL 205	ESTRUCTURA	Giramos, SKF	
RODAMIENTO UC2"	ESTRUCTURA	Giramos, SKF	Rodamiento chumacera
RODAMIENTO 6308	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Giramos, SKF	Rodamiento ruedas
RODAMIENTO	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Giramos, SKF	
EJES 1020	ESTRUCTURA	Ferrocortes	
EJES 1020	ESTRUCTURA	Ferrocortes	
EJES 1020	ESTRUCTURA	Ferrocortes	
PIÑÓN 80B17	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Cadenas y complementos	
MOTOR	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Reutilizados de puente grúa DESCONOCIDO	Actualmente 2.4hp, 1850 rpm(entrada), 164rpm(salida)
CADENA CHJC 80-1	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Cadenas y complementos	
RELÉS	SISTEMA DE CONTROL	LOGITEC	
CABLEADO	SISTEMA DE CONTROL	LOGITEC	
RUEDAS	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Sobre Ruedas	
TUBERÍA	EMT	LOGITEC	

VARIADOR DE VELOCIDAD	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	LOGITEC	FR-D700
CHIMENEA	ESTRUCTURA	Ferrocortes	

Tabla 10. Tabla de proveedores principales para cada uno de los componentes enunciados en la tabla anterior.

9.2.2 Repuestos y herramientas críticas

ARTÍCULO	UBICACIÓN	REFERENCIA	CANTIDADES MIN
RODAMIENTO UC2"	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	CHUMACERAS	4 UND
RODAMIENTO 6308	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	RUEDAS	2 UND
RUEDAS	SISTEMA DE TRANSMISIÓN		1 UND
MOTOR	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	REPUESTO EN TALLER MTTO	1 UND
MANTA TÉRMICA	RECUBRIMIENTO	1400°C	150 in x 12 in
CADENA	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	CHJC 80-1	2 m
LUBRICANTE FRIXO 147	MTTO	FRIXO 147 PARA ALTAS TEMPR	2 galones
EXTRACTOR RODAMIENTOS	MTTO	-	1 UND
CUÑA	MTTO	½" x ½	200 mm
DESTORNILLADORES	MTTO	ESTRELLA Y PALA	1 UND C/U
LLAVES HEXAGONALES	MTTO	VARIADAS	1 UND C/U
SOPLADOR	MTTO	Para limpieza	1 UND

Tabla 11. Repuestos críticos para stock y herramienta básica para mantenimiento.

ANEXO 3.

FLYER

PUBLICIATARIO

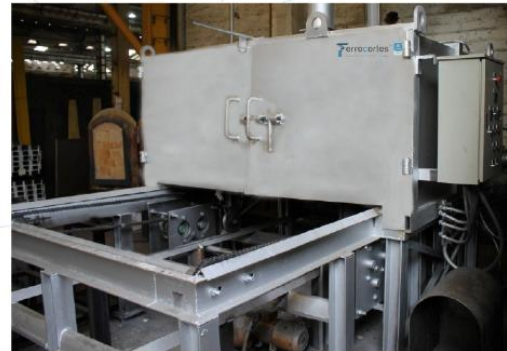


Sede Guayabal Calle 8 Sur 50 FF - 123 Medellín
Sede Belén - Calle 29D 55-205 Unidad Industrial - Medellín
Sede Cartagena Diagonal 30N° 54-98 Sector Ceballos
Línea Gratuita 01 8000 41 4340 ---- **PBX:** 448 4340
www.ferrocortes.com.co

HORNO INDUSTRIAL DE RECOCIDO

Tenemos una capacidad útil de
2200 mm x 1600 mm
y hasta **900 mm** de altura.

De hasta:
8 toneladas de material



SERVICIO DE RECOCIDO

En Ferrocortes SAS. , abrimos en nuestro portafolio de servicios **el recocido de piezas de gran tamaño** , a través de nuestro nuevo horno industrial de recocido.

El recocido le dará una mayor maquinabilidad a sus piezas, reduciendo los defectos, al eliminar las tensiones internas que pueda tener desde el conformado inicial.



¡PREGUNTA POR EL SERVICIO DE RECOCIDO!

SÍGUENOS EN: @Ferrocortessas



Contáctanos
+57 3122450947

ANEXO 4.

PLANOS DE TALLER