

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO AL VACÍO PARA TRATAMIENTOS
TÉRMICOS

JONATHAN JAVIER NIÑO CARREÑO
JOHN ALEXANDER ROSAS ALARCÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE METALURGIA
TUNJA
2018

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO AL VACIO PARA TRATAMIENTOS
TERMICOS

JONATHAN JAVIER NIÑO CARREÑO
JHON ALEXANDER ROSAS ALARCÓN

Trabajo de investigación realizado como requisito para obtener el título de
INGENIERO METALÚRGICO

Director

FABIO RAÚL PÉREZ VILLAMÍL
Ingeniero Metalúrgico, Msc
. Metalurgia y Ciencia de los Materiales

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE METALURGIA
TUNJA
2018

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja, 31 agosto 2018

La autorización científica de la facultad ingeniería reside en ella misma, por tanto, no responde por las opiniones expresadas en este proyecto de investigación.

No se autoriza su uso, ni reproducción

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida... mi Padre UBALDO que desde el cielo se ha convertido en mi guía, protector, un ángel que siempre estará conmigo... mi Señora madre Isaura Niño y mi hermano Omar Alexander quienes siempre han sido un apoyo cada día de mi vida... Mi novia Lorena González quien en los últimos meses ha estado a mi lado en todo lo he necesitado.

Al señor gobernador Carlos Andrés Amaya Rodríguez por la oportunidad laboral brindada durante este tiempo... a mi Jefe Demetrio Puerto Calixto por el apoyo, las enseñanzas, paciencia que tuvo durante este tiempo.

A cada uno de mis amigos (Juan Carlos, Edward R. A, David S, Jonnathan A, Kevin B, Edward R, Antonio J, Juan Manuel R, Ricardo A, Iván N, Yuli Camacho) que he encontrado en este camino de formación profesional siempre bendiciones y éxitos en sus proyectos.

Por las personas que en los momentos complicados fueron gran colaboradores (Esperanza A, Humberto F, Elsa, Darío F, Claudia C, Padre Santiago, Katherine V) infinitas gracias.

JONATHAN JAVIER NIÑO CARREÑO

DEDICATORIA

En primera medida a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto.

A mis padres, José Domingo Rosas Pérez y Margarita Alarcón Díaz. Por su perseverancia, fe y entusiasmo al momento de darme su apoyo en todo aspecto, a ellos les dedico este logro que para mí significa una meta más a lo largo de mi vida y con dicho logro sé que estarán orgullosos.

Mis hermanos, Diana Patricia Rosas Alarcón y Freddy Rosas Alarcón. Por brindarme la fortaleza para no desistir en mi carrera y ayudarme casi siempre a lo largo de ella, mis sobrinos, Jeison Santiago Zamora Rosas, Juan José Zamora Rosas y Carol Estefany Rosas Ortegón, a quienes les dejare ver un ejemplo en mí y espero ser uno a superar por ellos.

Finalmente a María Lolita Ordoñez Céspedes, quien por su insistencia y comprensión en los últimos semestres permitieron poder cumplir esta meta.

JOHN ALEXANDER ROSAS ALARCON

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a las personas que de una u otra forma fueron de gran ayuda para realizar este proyecto... nuestro director de tesis el Ingeniero Fabio Raúl Pérez Villamil por sus enseñanzas en las aulas de clase y los conocimientos aportados en este proyecto... a los jurados por aclararnos las dudas generadas... al Ingeniero Pedro Jaimes, Vicente Cárdenas y Marcos Moreno por facilitarnos los laboratorios y herramientas para desarrollar este proyecto y a cada uno de los docentes que nos enseñaron para nuestra formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
JUSTIFICACIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO.	18
1.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS AL VACÍO.	18
1.2 HORNO AL VACÍO.	20
1.2.1. Principios del proceso	20
1.3 TEMPLE VACÍO.	22
1.4 ACERO AISI-SAE 1045.	24
2. ESTADO DEL ARTE.	25
3. DISEÑO DEL HORNO.	27
3.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.	27
3.2 IDENTIFICACIÓN DE ANTECEDENTES.	27
3.3 DISEÑO.	27
3.3.1 Diseños horno de vacío.	27
3.3.2 Planos y diseños eléctricos.	31
3.4 FÓRMULAS PARA LOS CÁLCULOS DE LA RESISTENCIA DE KANTHAL A1.	34
3.5 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LA RESISTENCIA DE KANTHAL A1.	35
4. CONSTRUCCIÓN.	38
4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.	38
5. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA.	50
5.1 MONTAJE SISTEMA ELÉCTRICO.	50
5.2 CONEXIÓN DE RESISTENCIA Y PRUEBA DE TEMPERATURA.	51
5.3 CONEXIÓN DE BOMBA PARA VACÍO A CÁMARA DE VACÍO.	53
5.4 PUESTA EN MARCHA Y TOMA DE DATOS.	56

6.1 DATOS DE DUREZA ACERO AISI-SAE 1045 ANTES DE LOS TRATAMIENTOS.	59
6.2 TRATAMIENTO TÉRMICO CONVENCIONAL.	60
6.3 TRATAMIENTO TÉRMICO AL VACÍO.	63
6.4 MICROGRAFÍA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.	65
6.4.1 tratamiento térmico convencional.	65
6.4.2 Micrografías tratamientos al vacío. 500X.	67
6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS REALIZADOS.	67
7. CONCLUSIONES.	69
8. RECOMENDACIONES.	70
BIBLIOGRAFIA	71
ANEXOS	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Hornos al vacío	19
Figura 2. Diseño y cotas de corte de tapa donde van la resistencias de KANTHAL A1 conectadas en serie.	28
Figura 3. Diseño y cotas de sistema para generar las aperturas en donde van las resistencias de KANTHAL A1.	28
Figura 4. Diseño y cotas de abrazadera 1 común.....	29
Figura 5. diseño y cotas de abrazadera 2 común.	29
Figura 6. Diseño y cotas de tapa con bulbo o termo pozo para termocupla tipo K.	30
Figura 7. Diseño y cotas de tapa 2 con sistema para extracción de aire (válvula).	30
Figura 8. Diseño y cotas de tubo API N80 en donde se genera el vacío.	31
Figura 9. Diseño final del horno terminado.	31
Figura 10. Diagrama eléctrico con accesorios	32
Figura 11. Plano eléctrico con convenciones.....	33
Figura 12. Ley de Ohm.	34
Figura 13. Circulo de ley de Ohm.	34
Figura 14. Calculo para energía eléctrica según tiempo.....	35
Ilustración 15. Datos tomados de la línea de suministro 220 Vac de laboratorio.	35
Figura 16. Construcción soporte camisa de concrax para resistencia de KHANTAL A1.	38
Figura 17. Preforma antes de vaciado de concrax 1700.....	39
Figura 18. Concrax vaciado en molde con preforma.	39
Figura 19. Camisa echa en concrax sin secado.	40
Figura 20. Rampa de calentamiento para camisa de concrax.	40
Figura 21. Camisa de concrax efectuada la rampa.....	41
Figura 22. Estado final de camisa de concrax luego de enfriado.....	41
Figura 23. Resistencia de KANTHAL A1.	42
Figura 24. Tubo de API N80.	42
Ilustración 25. Encamisado en concrax 1700 al tubo API N80 finalizado.	43
Figura 26. Hechura de sujetadores de tubo cold roll.....	43
Figura 27. Abrazaderas comunes montadas en el sistema de sujeción para vacío.	44
Figura 28. Abrazadera tipo clamp.	44
Figura 29. Tapa de acero inoxidable 304 con sistema de extracción de aire.	45
Figura 30. Termocupla tipo K.....	45
Figura 31. Tapa de acero inoxidable con sistema de termocupla.....	46
Figura 32. Manguera de transporte de alma de nylon.	46

Figura 33. Bomba marca EDWARDS RV12.	47
Figura 34. Empaques en asbesto.	47
Figura 35. Abrazaderas para manguera.	48
Figura 36. Conector macho para manguera en latón de 3/8" a 1/2".	48
Figura 37. Conector mecanizado en aluminio.....	49
Figura 38. Válvula de cierre para gas.	49
Figura 39. Contactor, controlador y conexión de cables.	50
Figura 40. Caja madera, controlador y selector.	50
Figura 41. Conexión preliminar de resistencia en sistema de aislamiento.....	51
Figura 42. Simulación en solidworks de radiación por temperatura en tubo API N80 vista frontal.....	51
Figura 43. Simulación en solidworks de radiación por temperatura en tubo API N80 vista isométrica.	52
Figura 44. Prueba de temperatura.	52
Figura 45. Comportamiento del tubo expuesto a temperatura después de hecho el vacío.	53
Figura 46. Bomba conectada a sistema auxiliar para comprobar vacío.....	54
Figura 47. Limpieza de cámara de vacío.	54
Figura 48. Conexión de bomba para vacío a cámara de vacío.....	55
Figura 49. Datos generados en transcurso del calentamiento.	58
Figura 50. Sistema completo apagado de horno al vacío para tratamientos térmicos.	58
Figura 51. Probeta sin tratamiento.....	59
Figura 52. Diagrama Fe-C, temperatura AC3, ubicación acero 1045.	60
Figura 53. Tratamiento térmico convencional.	61
Figura 54. Diagrama de rampa de calentamiento para el tratamiento térmico.	61
Ilustración 55. Durómetro.....	62
Figura 56. Tratamiento térmico realizado en horno al vacío.	63
Figura 57. Diagrama de rampa de calentamiento para el tratamiento térmico al vacío.	64
Ilustración 58. Durezas tratamiento al vacío.	65
Figura 59. Diagrama TTT acero AISI SAE 1045.....	66
Figura 60. Micrografías acero 1045 tratado convencionalmente. 500 X.....	66
Figura 61. Micrografía acero 1045 tratado al vacío.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades mecánicas AISI-SAE 1045.....	24
Tabla 2. Lectura de voltaje por medio de multímetro.	36
Tabla 3 . Cálculos y datos respecto formula de la figura 12. De ley de ohm.	36
Tabla 4.Cálculos y datos respecto a formula de la figura 13. Circulo de ley de Ohm	36
Tabla 5. Cálculos y datos respecto a fórmula de la Figura 14. Calculo para energía eléctrica según tiempo.	37
Tabla 6. Parámetros de funcionamiento de bomba EDWARDS RV 12.	55
Tabla 7. Datos de rendimiento general de bomba EDWARDS RV 12.....	55
Tabla 8. Durezas antes del tratamiento.	59
Tabla 9. Durezas tratamiento térmico convencional.	62
Tabla 10. Durezas acero AISI-SAE 1045 tratado al vacío.	64

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO AL VACÍO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Las necesidad de incursionar en nuevos procesos industriales y de ir a la par de la innovación metalúrgica, surge la idea desde el grupo de investigación de materiales siderúrgico (GMS) de diseñar y construir un horno al vacío para tratamientos térmicos donde se aportara al crecimiento y formación académica de los futuros ingenieros metalúrgicos.

Los tratamientos térmicos como rama importante de la metalurgia física donde observar la variación de las propiedades mecánicas, físicas y de micro constituyentes después de realizar un tratamiento térmico, gracias a esto podemos tener materiales para los usos deseados. Estos tratamientos normalmente son convencionales, sin embargo en este proyecto se buscó dejar un insumo de trabajo para tratamientos de innovación a futuro en la escuela de metalurgia.

Los hornos al vacío para tratamientos térmicos están empezando a tener un auge importante hoy en día, se parte del principio de tener una cámara limpia de impurezas donde con una bomba al vacío se llegan a presiones mínimas de 10^{-2} , 10^{-3} hasta 10^{-5} mbar se hace limpieza por un tiempo determinado y posteriormente se lleva a la temperatura deseada para realizar el tratamiento deseado temple, revenido o recocido.

En este proyecto se tienen muchas expectativas, debido al gran uso que se puede tener tanto para áreas de pregrado como para estudios de maestría y de doctorado.

La probeta de acero AISI-SAE 1045 usada como muestra para el tratamiento térmico de temple mejoro en cuanto a su dureza en 5 puntos de dureza Rockwell C con el tratamiento térmico de temple en vacío en comparación de una misma probeta de acero AISI-SAE 1045, realizando el temple convencional y utilizando las mismas variables.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VACUUM OVEN FOR THERMAL TREATMENT.

The need to venture into new industrial processes, to go hand in hand with metallurgical innovation, arises the idea from the steel materials research group (GMS) to design and build a vacuum furnace for thermal treatments where it will contribute to the growth and academic training of the future metallurgical engineer.

Thermal treatments as an important branch of physical metallurgy where observe the variation of mechanical, physical and micro-constituent properties after a treatment, thanks to this we can have materials for the desired uses. These treatments are normally conventional, however, in this project we sought to leave an input of work for future innovation treatments at the metallurgy school.

Vacuum furnaces for thermal treatments are beginning to have an important boom today, it is based on the principle of having a chamber clean of impurities where with a vacuum pump reach minimum pressures of 10^{-2} , 10^{-3} to 10^{-5} mbar cleaning is done for a certain time and then it is brought to the desired temperature to carry out the desired treatment: hardening, tempering or annealing.

In this project there are many expectations, due to the great use that can be had for both undergraduate areas and for master's and doctorate studies.

The AISI-SAE 1045 steel specimen used as a sample for the thermal treatment of quenching improved its hardness in 5 points of hardness Rockwell C with the thermal treatment of quenching in vacuum compared to the same specimen of steel AISI-SAE 1045, performing conventional tempering and using the same variables.

INTRODUCCIÓN

A medida que pasa el tiempo la innovación de nuevos procesos y métodos metalúrgicos están incursionando en la industria. Desde la academia es importante estar a la par de dichas tecnologías de modo que al salir a la industria no sea algo nuevo que conocer.

Los tratamientos térmicos son una rama de la metalurgia física en la cual se proporciona unas propiedades específicas adecuadas para la conformación o el uso de un material, en un tratamiento térmico se cambian factores como tamaño de grano, distribución de micro-constituyentes estructurales que por ende cambia sus propiedades mecánicas.

El vacío no permite que haya presencia de oxígeno y esto evita pérdidas indeseadas en piezas de alta mecanización y precisión, de ahí la combinación vacío-reactor térmico y la acción de una bomba de vacío que es un equipo muy estratégico para la realización de este proyecto.

Desde el Grupo de Materiales Siderúrgicos (GMS) se observó la necesidad de realizar este proyecto para la investigación y ejecución de nuevos procesos aplicados en la industria. Es así, que se presenta este trabajo de diseño y construcción de un horno al vacío para tratamientos térmicos para realizar tratamientos térmicos de temple, revenido y recocido en una atmósfera controlada por una bomba de vacío.

Los tratamientos térmicos bajo atmósfera requieren de materiales y elementos de construcción especiales en este caso el prototipo de horno se fabricó con un elemento esencial el cual fue un tubo API N80, accesorio donde se va realizar el vacío.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un horno para tratamientos térmicos al vacío en el laboratorio de metalurgia de la UPTC.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la instrumentación necesaria y las variables fundamentales para ser utilizados en tratamientos térmicos de temple, revenido y recocido.
- Construir el horno de vacío con base en los parámetros establecidos de diseño e instrumentación.
- Comparar las modificaciones metalúrgicas en un acero tratado térmicamente al vacío y tratado convencionalmente.
- Poner a punto el horno al vacío en la ubicación de laboratorios de metalurgia de la UPTC, con uso exclusivo para la realización de los tratamientos térmicos ya propuestos.

JUSTIFICACIÓN

Mejorar propiedades en atmosfera controlada evitando oxidación y pérdidas de material. Los tratamientos térmicos son un área de los procesos de manufactura que se evalúa con ayuda de la metalurgia física en la cual se lleva un metal o aleación a diferentes temperaturas en una forma controlada y posteriormente hacemos un enfriamiento lento o rápido dependiendo el tipo de transformación que deseemos.

En un tratamiento térmico se busca modificar las propiedades mecánicas de un metal. En la industria los hornos al vacío han tenido un auge importante en los últimos tiempos, son pocas las empresas que cuentan con un horno al vacío. Por ende la construcción del horno al vacío es importante debido a que estaremos incursionando a nuevos procesos metalúrgicos y conociendo nuevos ámbitos para los metalúrgicos.

Un horno al vacío puede trabajar a presiones muy bajas en las cuales se busca tener un ambiente limpio y que los materiales a trabajar no presenten oxidación. Las temperaturas a trabajar van a ser las propicias para realizar los diferentes tratamientos térmicos.

1. MARCO TEÓRICO.

1.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS AL VACÍO.

El aire que respiramos contiene una serie de elementos que pueden reaccionar con metales en las condiciones adecuadas. La humedad, el oxígeno, el dióxido de carbono y el hidrógeno están presentes en cantidades significativas en nuestra atmósfera. Cada uno puede reaccionar en diversos grados con muchos metales diferentes. Si bien muchas de estas reacciones ocurren solo a un pequeño grado a temperatura ambiente, a menudo se aceleran mucho en presencia de calor. Considere el ejemplo de una pieza de metal pulido sostenida sobre una fuente de calor. Eventualmente se volverá azul o negro a medida que los elementos en la atmósfera reaccionan con el metal caliente.

En la mayoría de los casos, el tratante de calor intenta minimizar el alcance de estas reacciones durante el tratamiento térmico. Las reacciones provocan cambios en las propiedades de superficie del metal que pueden dar como resultado un componente tratado térmicamente con una "piel" que es mucho más suave (o más dura) que el resto del componente. Para minimizar estas reacciones indeseables, la fuente de los elementos reactivos, el aire, debe eliminarse del entorno de tratamiento térmico. Algunas veces esto se hace reemplazando el aire en una cámara de tratamiento térmico con una atmósfera no reactiva como nitrógeno, argón u otras mezclas de gases. Esto a menudo se conoce como tratamiento térmico en atmósfera controlada. Otra alternativa es tratar térmicamente en un baño de sal fundida no reactiva. Sin embargo, en el tratamiento térmico al vacío, la mayor parte del aire y sus elementos reactivos se eliminan del entorno de tratamiento térmico. Muy a menudo, esto se hace evacuando una cámara de tratamiento térmico herméticamente sellada por medio de un sistema de bombeo al vacío. Si bien el sistema de bombeo no puede eliminar todo el aire, elimina tanto que casi no queda nada para reaccionar con el metal que se trata térmicamente. Algunos sistemas de bombeo están diseñados para eliminar más aire que otros. Un horno con un sistema de bombeo mecánico solo elimina suficiente aire como para que no haya aparentes reacciones en la superficie (decoloración) durante el tratamiento térmico de los metales más comunes, como los aceros inoxidable o los aceros para herramientas. Sin embargo, los materiales altamente reactivos como el titanio y algunas súper aleaciones (Inconel) aún se decolorarán si se trata térmicamente en un horno con bombeo mecánico solamente. Para procesar estos tipos de materiales sin ninguna decoloración, se agrega una bomba de difusión de aceite al sistema de

bombeo. La bomba de difusión eliminará aún más aire de la cámara de tratamiento térmico para proporcionar un entorno de "súper limpieza" para el procesamiento. Los sistemas de bombeo por difusión también son preferidos para hornos de soldadura al vacío.¹

Figura 1. Hornos al vacío



Fuente: Vac Aero international. Inc. Diferentes tipos de horno al vacío.

Los hornos de vacío deben mantenerse adecuadamente para evitar el desarrollo de fugas. Incluso una pequeña fuga puede ser suficiente para causar la contaminación de la carga durante el tratamiento térmico. También es importante que las cestas o los accesorios utilizados para contener la carga de trabajo, así como la carga de trabajo misma, se limpien adecuadamente antes de colocarlos en un horno de vacío. Los contaminantes de accesorios o cargas de trabajo sucios pueden "quemarse" durante el tratamiento térmico, causando la decoloración de la carga de trabajo y la zona caliente del horno. Incluso cuando se emplean precauciones de limpieza adecuadas, eventualmente se acumulará cierta cantidad de contaminación dentro de la cámara de calentamiento al vacío. La práctica recomendada es "hornear" el horno vacío a intervalos regulares (quizás una vez por semana) para eliminar la contaminación. El ciclo de horneado consiste en calentar el horno vacío a una temperatura por lo menos 100 ° F mayor que su

¹ VAC AERO International. Inc. (25 de abril 2014). ¿Por qué tratar el calor en un vacío? Montreal, Quebec, Canadá.: Vac Aero. Information-resources. Recuperado de <https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/650-why-heat-treat-in-a-vacuum.html>

temperatura de funcionamiento normal y mantenerlo a esa temperatura durante un período de hasta 30 minutos. El calor hace que los contaminantes se quemen en el interior del horno y posteriormente son extraídos de la cámara por el sistema de bombeo al vacío.²

1.2 HORNO AL VACÍO.

El tratamiento térmico al vacío es probablemente el área de procesamiento de materiales en el que los mayores avances se han hecho en la última década. Avances en el diseño de hornos, junto con una conciencia creciente de la economía relativa del proceso, viene contribuido a una rápida expansión del proceso desde las áreas de materiales exóticos de alto costo para el general campo de la ingeniería.

1.2.1. Principios del proceso

El vacío se usa como una atmósfera de tratamiento térmico generalmente para uno o más de las siguientes tres razones principales:

- Como una atmósfera protectora. Titanio, circonio, berilio, aluminio y otros metales reactivos, reaccionan con gases para formar compuestos metálicos de gas no deseados durante el tratamiento térmico. El tratamiento de estos elementos como materiales base o aleaciones es el mejor llevado a cabo bajo un vacío. Cuando es considerado ese es un nivel de vacío relativamente fácil de lograr de 10^{-3} torr ($0.133 \text{ N } 1\text{m}^2$) representa un punto de rocío equivalente de 60, se sabe que el entorno de vacío es una propuesta extremadamente atractiva como protección contra la oxidación durante el ciclo térmico.
- Desgasificación en estado sólido. La absorción de gases para formar soluciones sólidas intersticiales es comúnmente un problema reconocido y en todos, excepto en algunos casos perjudiciales para las propiedades físicas del metal o aleación. (Las soluciones sólidas intersticiales son esas soluciones sólidas en las que la estructura cristalina del solvente se retiene, a medida que el elemento soluto se disuelve en el intersticio de la red cristalina).

² VAC AERO International. Inc. (25 de abril 2014). ¿Por qué tratar el calor en un vacío? Montreal, Quebec, Canadá.: Vac Aero. Information-resources. Recuperado de <https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/650-why-heat-treat-in-a-vacuum.html>

- El vacío se usa para generar una reacción reversible y favorecer la disociación en el estado sólido gobernado por el principio de concentración en equilibrio y al elevar la temperatura y reducir la presión de los elementos de soluto en la superficie del solvente sólido, la reacción está desequilibrada hacia la formación de la fase gaseosa. Los gases, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno tienen todos tamaño atómico lo suficientemente pequeño como para caber en los intersticios de los átomos de metal lo cual los hacen perjudiciales. En solución, han alcanzado el estado más bajo de energía libre y una expansión de las celdas unitarias han tenido lugar para acomodar el átomo al soluto. Un aumento en la temperatura aumenta la libre energía y la difusión de los átomos de soluto se lleva a cabo hacia la superficie hasta que se alcanza el equilibrio a punto de equilibrio final, y por lo tanto el nivel de gas final del metal depende de la presión parcial del soluto en la interfaz. Las principales aplicaciones de desgasificación en estado sólido son tratamiento de titanio para eliminar el hidrógeno, que es perjudicial para su resistencia a la fatiga y la desgasificación de componentes eléctricos hechos de materiales tales como silicio-hierro para producir bajas fuerzas coercitivas y propiedades de histéresis deseadas.
- Como un proceso de limpieza de superficies. Recocido brillante del cobre, el titanio, las aleaciones de níquel y los aceros al cromo son dependientes de la protección contra escamas y limpieza o eliminación de óxido y atmósferas a temperaturas elevadas. La mayoría de compuestos tienen presiones de disociación definidas en una determinada temperatura, pero la mayoría de los óxidos tienen relativamente altas presiones de disociación. La disociación del óxido es ayudada, sin embargo, por la difusión de hidrógeno y carbono monóxidos de materiales base. En síntesis luego reaccionan con el óxido en la superficie y los productos gaseosos son bombeados lejos. En la práctica, se encuentra que para aceros y aleaciones de níquel, la limpieza tiene lugar por encima de 960°C en niveles de vacío de hasta 10^{-2} torr ($1,33 \text{ N / m}^2$).³

³ Beadle. J.D. (Ed).1972 *Product Treatment & Finishing*. Macmillan engineering evaluations Production engineering series. Págs. 27-28.

1.3 TEMPLE AL VACÍO.

Los hornos de tratamiento en vacío disponen de la posibilidad de templar con altas presiones de gas (hasta 10-20 bares). La solucionamos la problemática de la fatiga térmica mediante el temple con parada isotérmica (martempering) que las modernas instalaciones de vacío permiten realizar utilizando las características de enfriamiento acelerado a alta presión y mantenimiento por convección a baja temperatura.

Este tratamiento térmico al vacío está orientado al siempre complejo problema del tratamiento de moldes y matrices en material 1.2343, 1.2344, y aceros equivalentes.

Para comprender mejor la influencia del tratamiento térmico en el acero, primero hay que conocer los cambios estructurales de este a diferentes temperaturas. Estos cambios tienen bastante complejidad y dependen de la cantidad de carbono presente y otros factores, que en la metalurgia se establecen con precisión en el llamado diagrama de equilibrio hierro-carbono.

Entre 0°C y 1500° C el hierro sufre diferentes transformaciones en su estructura cubica, (propiedad alotrópica), las temperaturas a las que tienen lugar estos cambios son fundamentales en tratamiento térmico y se denominan temperaturas críticas.

Hasta los 911 °C (temperatura crítica AC3), el hierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico de cuerpo centrado y recibe la denominación de hierro o ferrita. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de la aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los 770 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad; se suele llamar también AC2). Admite hasta un 0,021 % C en solución a la temperatura eutectoide. Es el constituyente más blando del acero.

Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas y recibe la denominación de hierro o austenita. Dada su mayor compacidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética. Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. La austenita

está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30 %, no es magnética.

Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico de cuerpo centrado y recibe la denominación de hierro que es en esencia el mismo hierro alfa pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

A mayor temperatura el hierro se encuentra en estado líquido. Si se añade carbono al hierro, sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro (Fe₃C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de cementita de modo que los aceros al carbono están constituidos realmente por ferrita y cementita.

Las estructuras perlíticas son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, la perlita tiene valores de dureza y ductilidad intermedios a los de la ferrita y la cementita.

Sin embargo modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes como la martensita que es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros.

Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la bainita, estructura similar a la perlita formada por agujas de ferrita y cementita pero de mayor ductilidad y resistencia que aquélla. También se puede obtener austenita por enfriamiento rápido de aleaciones con elementos gamágenos (que favorecen la estabilidad del hierro) como el níquel y el manganeso, tal es el caso por ejemplo de los aceros inoxidable austeníticos.

Antaño se identificaron también la sorbita y la troostita que han resultado ser en realidad perlitas de muy pequeña distancia interlaminar por lo que dichas denominaciones han caído en desuso.⁴

⁴ <http://www.biltra.com/tratamientos-termicos/temple-en-vacio/>

1.4 ACERO AISI-SAE 1045.

Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.⁵

Tabla 1. Propiedades mecánicas AISI-SAE 1045

Propiedades mecánicas	Dureza 163 HB (84 HRb)
	Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
	Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
	Elongación 16% (en 50 mm)
	Reducción de área (40%)
	Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
	Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

Fuente: cartilla aceros grado maquinaria. Pág. 2

⁵ Acero grado maquinaria, AISI 1045

2. ESTADO DEL ARTE.

P peawbang y A Thedsakhulwong. (2017) "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PEQUEÑO HORNO DE VACÍO." El propósito de esta investigación es diseñar y construir un pequeño horno de vacío.

Se eligió un grafito cilíndrico como material del horno, se utilizaron láminas de aluminio y cobre para evitar la radiación de calor que se transfiere desde el horno a la pared de la cámara. Utilizando una bomba rotativa, la presión del horno de grafito puede bombearse hasta 30 mTorr y calentarse hasta 700 °C por conducción por cable y la temperatura de la pared de la cámara permanece relativamente baja. Además, se analizaron las pérdidas de calor obtenidas del horno de grafito por conducción, convección y radiación. Se descubrió que la pérdida de calor dominante era causada por la radiación del cuerpo negro, que por lo tanto puede usarse para estimar la relación entre la temperatura del horno de grafito y la potencia de impulsión necesaria. El horno de grafito cilíndrico tiene un diámetro interior de 44 mm, el diámetro exterior está entre 60 mm y 45 mm de altura, los 355,5 W de potencia necesarios para conducir el horno a 700 °C.⁶

Y. Wang, X. Pei, W. Wei, L. Fan, Y. Hong B. Zhang, National Synchrotron Radiation Laboratory, USTC, Hefei, China. (2016). "SISTEMA DE VACÍO DEL ANILLO DE ALMACENAMIENTO HLS-II" Hefei Light Source (HLS) ha sido operada por más de veinticinco años. Desde 2010 hasta 2014, el proyecto de actualización de HLS se ha llevado a cabo y la nueva máquina se llama HLS-II. La principal mejora incluye: la emitancia se reduce a 40 nm·rad, se agregan 3 nuevos dispositivos de inserción (2 IVU y 1 EPU onduladores) y la energía de inyección aumenta a 800 MeV. La vida útil típica es de 300 minutos a 300mA, 800 MeV. La presión promedio del vacío estático y dinámico está por debajo de 2×10^{-8} Pa y 1.2×10^{-7} Pa respectivamente. El diseño, la instalación y la puesta en servicio del sistema de vacío del anillo de almacenamiento se detallan en este artículo.⁷

Chen, Xin-Yan. (2016) "DISEÑO DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE AGUA DE REFRIGERACIÓN EN EL HORNO DE VACÍO". Se introduce el sistema de agua de refrigeración circulante del horno de fusión por inducción a media frecuencia al

⁶ P Peawbang y A Thedsakhulwong. diseño y construcción de un pequeño horno de vacío. 2017. Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Ubon Ratchathani, Warinchamrab, Ubon Ratchathani, 34190, Tailandia. Publicado bajo licencia por IOP Publishing Ltd Journal of Physics: Conference Series, Volumen 901, conferencia 1.

⁷ Y. Wang, X. Pei, W. Wei, L. Fan, Y. Hong B. Zhang, National Synchrotron Radiation Laboratory, USTC, Hefei, China. sistema de vacío del anillo de almacenamiento HLS-II. (2016). Procedente de MEDSI, Barcelona, España.

vacío (denominado en lo sucesivo "horno de vacío"). Las condiciones de la planta reales y la calidad del agua en el proceso de diseño basado en agua, operación, métodos de control de refrigeración, incluyendo la selección de los equipos relacionados en el diseño general de la circulación de tuberías, bombas, torres de refrigeración, etc. circulante, y adoptar medidas apropiadas para asegurar la calidad del agua de refrigeración.⁸

Eshu Vishwakarma, Pappu Yadav, AchalSingh. "ESTUDIO DE MÁQUINA DE ENDURECIMIENTO EN VACÍO". El tratamiento térmico de herramientas, piezas de trabajo y componentes metálicos se ha llevado a cabo durante décadas para obtener la dureza deseada de las piezas de trabajo. El tratamiento térmico de aceros para herramientas es un proceso muy importante para obtener la dureza óptima de herramientas que se requieren para su funcionamiento eficiente. Uso del proceso de tratamiento térmico convencional como cementación, recocido, normalización, alivio del estrés, templado, endurecimiento por inducción, endurecimiento por inducción; caso el endurecimiento, etc. son los métodos más ampliamente utilizados para el tratamiento térmico. El tratamiento térmico de herramienta y trabajo en caliente aceros en hornos de vacío horizontales es la tecnología más moderna de hoy en día. En el horno de vacío de hoy una amplía la gama de piezas de trabajo se trata con calor. Debido a esta alta flexibilidad y ventajas, se utiliza el horno de vacío muy exitosamente por talleres de tratamiento térmico y fabricantes de herramientas, así como también en la industria automotriz, aviones e industria de la medicina.⁹

⁸ Chen, Xin-Yan. (2016) diseño del sistema de circulación de agua de refrigeración en el horno de vacío.2016. Información de tecnología 2016 el décimo período. Base de Datos Periódicos de Ciencia y Tecnología China. 54-55 páginas en total 2 páginas

⁹ Eshu Vishwakarma, Pappu Yadav, AchalSingh. estudio de máquina de endurecimiento en vacío. 2016. Estudiante UG, Departamento de Ingeniería Mecánica, Sandip Foundation's- Instituto Sandip de Ingeniería y Gestión, Nashik, (India). 466-475 páginas en total 9 paginas.

3. DISEÑO DEL HORNO.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.

El constante crecimiento industrial ha llevado a que se generen inquietudes de formación académica y de incursión en la pedagogía para que los estudiantes lleven a cabo nuevas prácticas los cuales los acerquen a nuevas desarrollar actividades contemporáneas de innovación industrial.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE ANTECEDENTES.

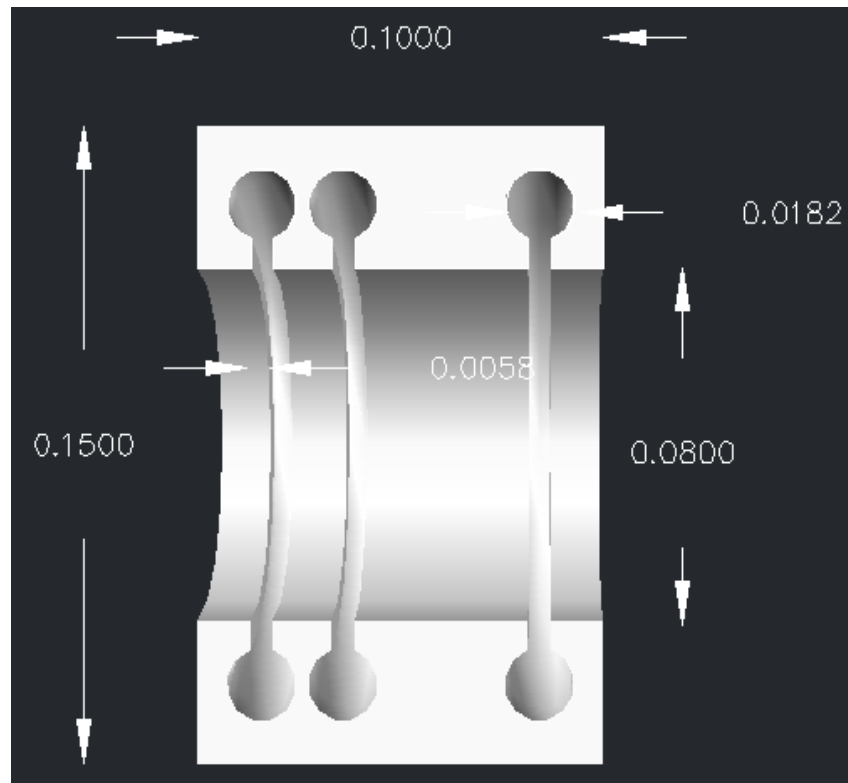
Históricamente en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia no se ha llevado ningún desarrollo de un proyecto de estos, menos aún en la Escuela de Metalurgia, por tal motivo decidimos desarrollar este proyecto con la finalidad de dejar un insumo en la escuela y motivar la investigación, la innovación y el desarrollo de ideas que van aportar a la formación profesional de cada uno de los estudiantes de la carrera en ingeniería metalúrgica.

3.3 DISEÑO.

3.3.1 Diseños horno de vacío.

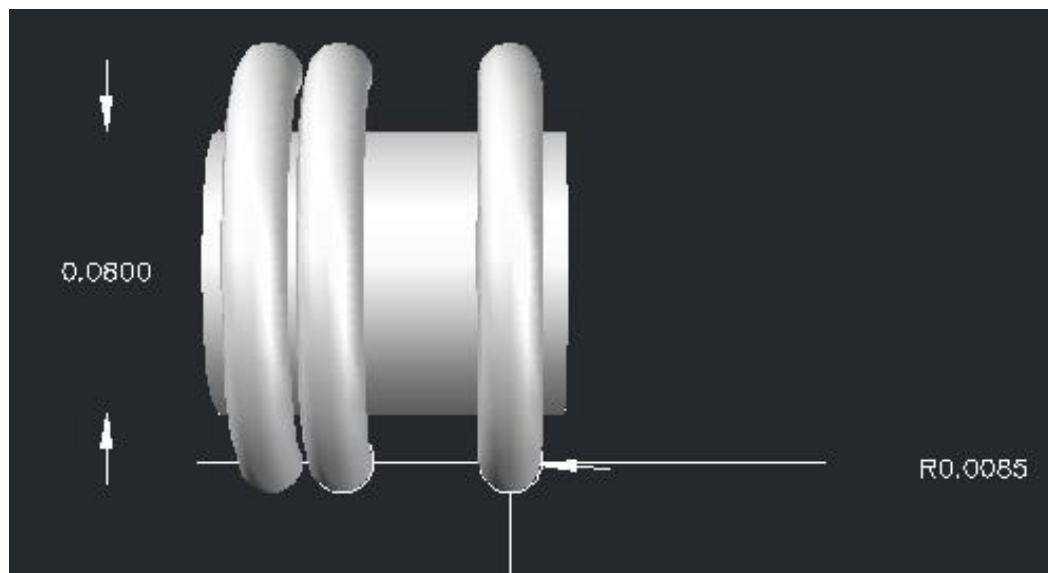
Los siguientes son diseños realizados en AutoCAD 2017 y las cotas mostradas en cada figura están en metros (m).

Figura 2. Diseño y cotas de corte de tapa donde van la resistencias de KANTHAL A1 conectadas en serie.



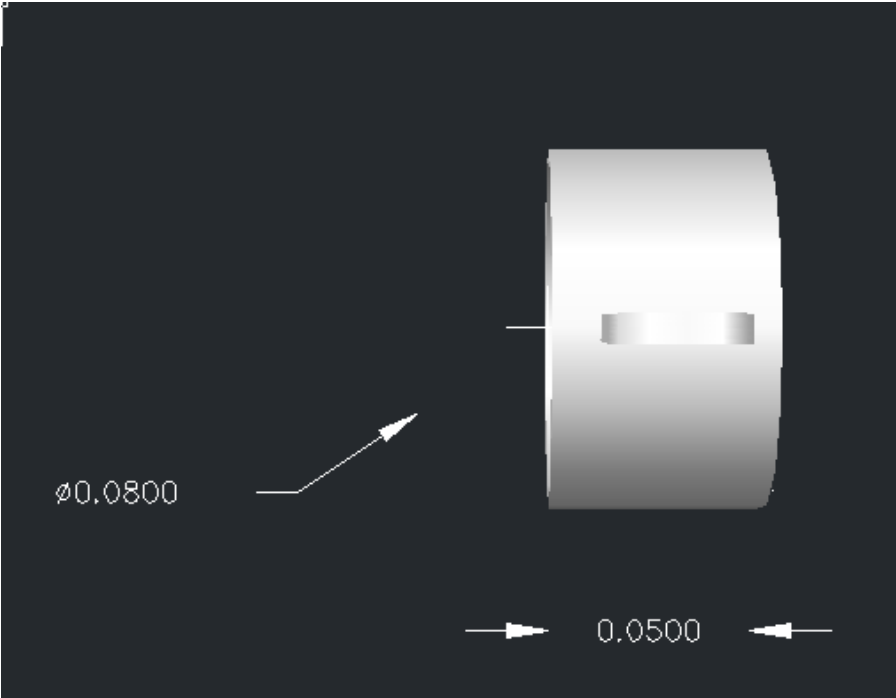
Fuente. Autores

Figura 3. Diseño y cotas de sistema para generar las aperturas en donde van las resistencias de KANTHAL A1.



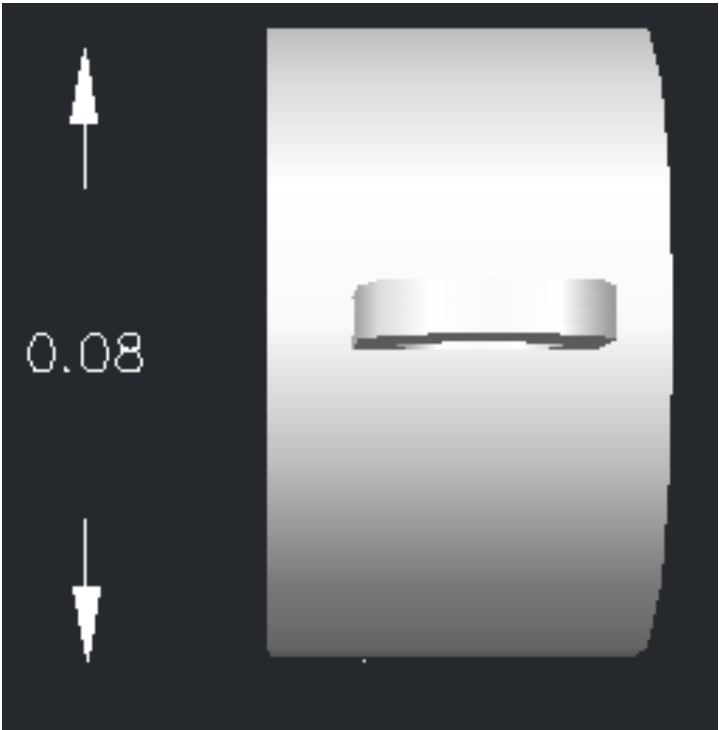
Fuente. Autores.

Figura 4. Diseño y cotas de abrazadera 1 común.



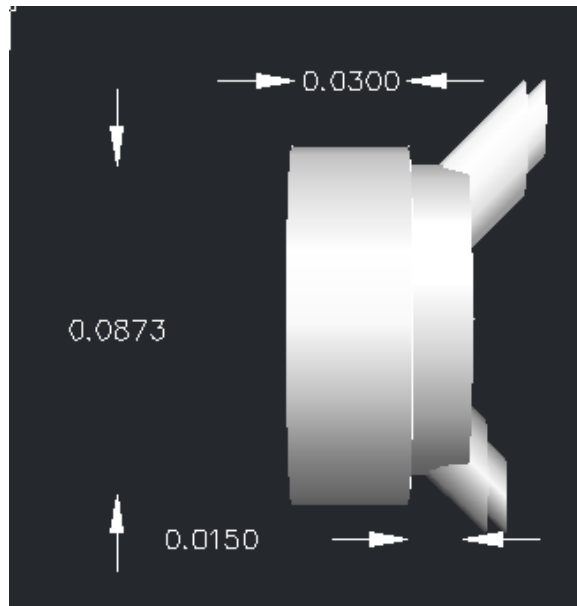
Fuente. Autores

Figura 5. diseño y cotas de abrazadera 2 común.



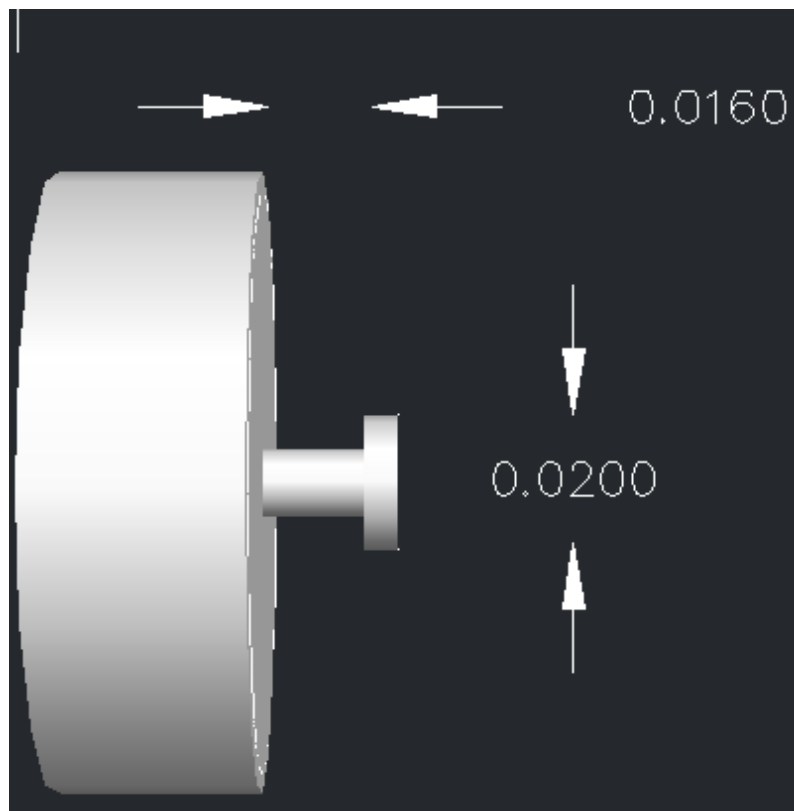
Fuente. Autores

Figura 6. Diseño y cotas de tapa con bulbo o termo pozo para termocupla tipo K.



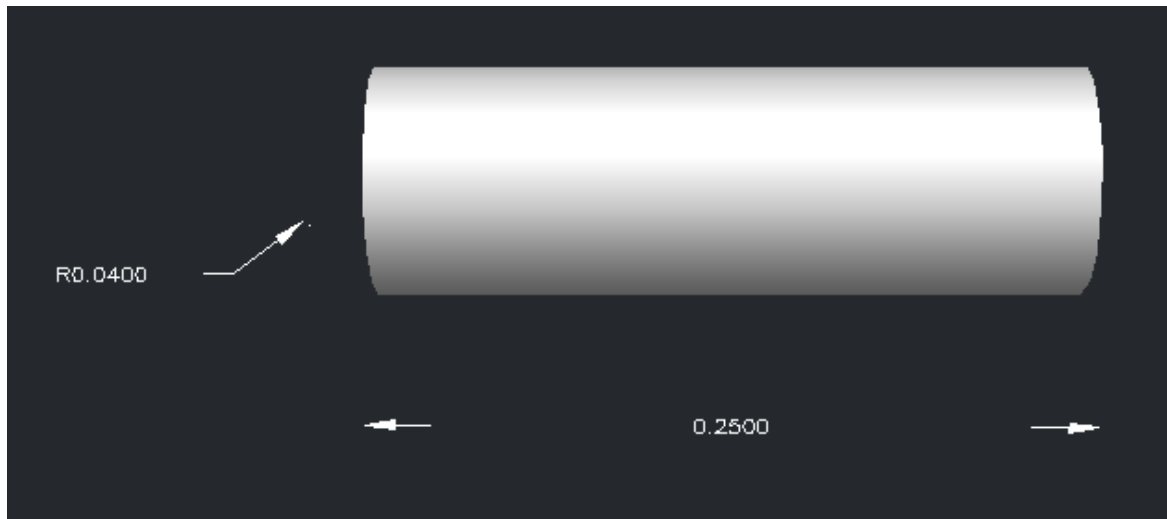
Fuente. Autores

Figura 7. Diseño y cotas de tapa 2 con sistema para extracción de aire (válvula).



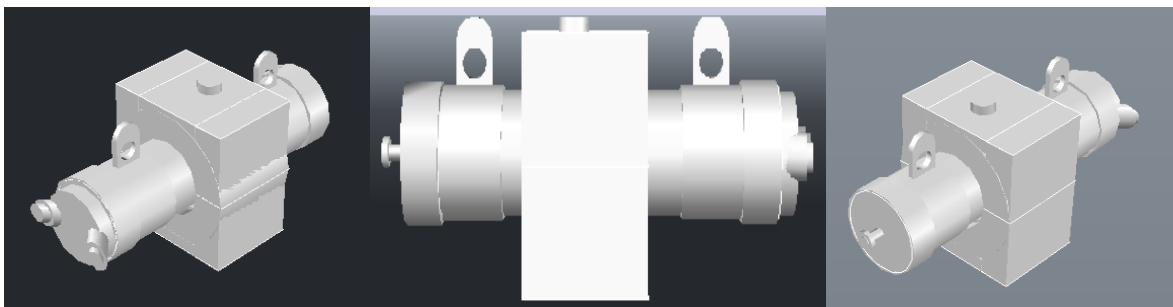
Fuente. Autores

Figura 8. Diseño y cotas de tubo API N80 en donde se genera el vacío.



Fuente. Autores

Figura 9. Diseño final del horno terminado.



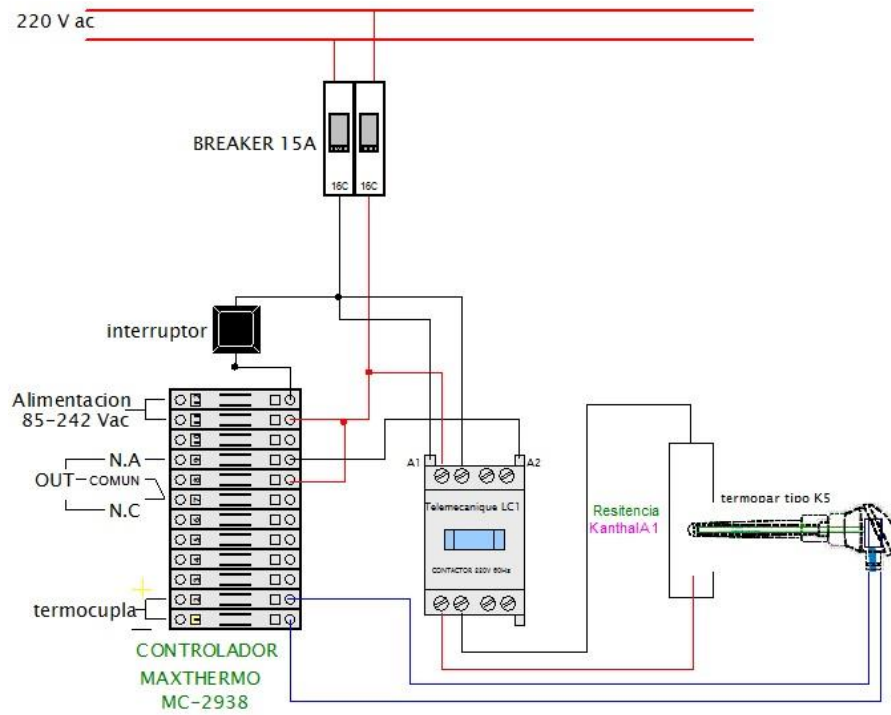
Fuente. Autores.

Se diseñaron 2 tapas en acero inoxidable, una está ubicada como soporte de la termocupla tipo K, la cual va a medir y hacer control de temperatura en la cámara, la otra, es donde está ubicada la válvula de conexión entre la bomba de vacío y la cámara de vacío. Se diseñaron en acero inoxidable para evitar la corrosión futura.

3.3.2 Planos y diseños eléctricos.

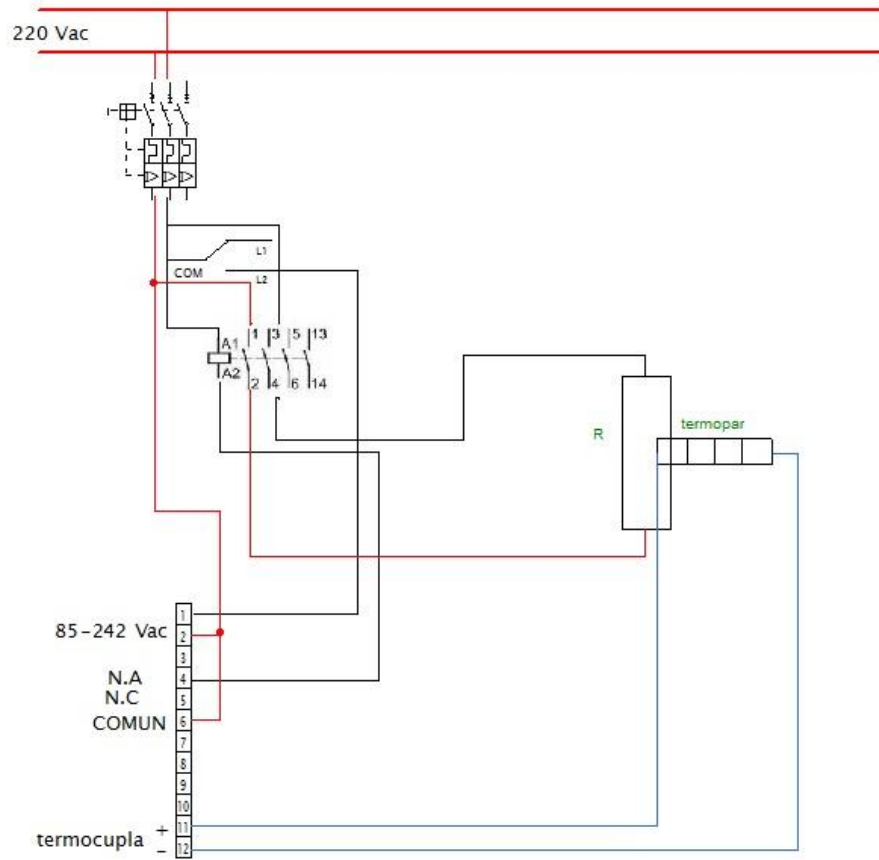
Se realizaron los siguientes puntos con ayuda del software ProfiCad Home programa para realizar circuitos y diagramas eléctricos.

Figura 10. Diagrama eléctrico con accesorios



Fuente. Software ProfiCad Home

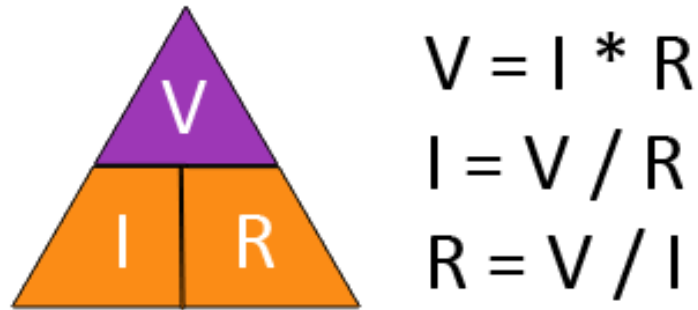
Figura 11. Plano eléctrico con convenciones.



Fuente. Software ProfiCad Home

3.4 FÓRMULAS PARA LOS CÁLCULOS DE LA RESISTENCIA DE KANTHAL A1.

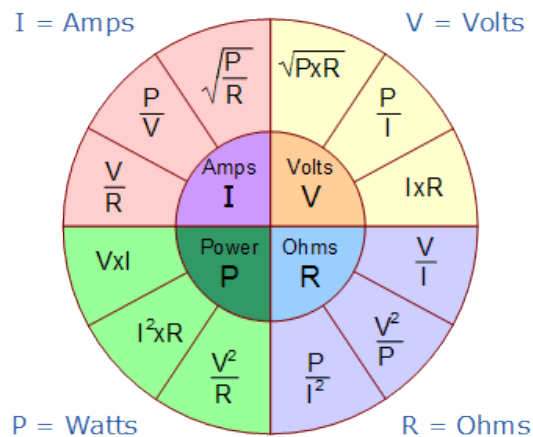
Figura 12. Ley de Ohm.



Fuente. <https://nxhee.wordpress.com/2012/06/10/curso-de-electronica-1-leyes-fundamentales/>

En donde: V= voltaje (Vac)
I= corriente (amperios)
R= resistencia (ohmios)

Figura 13. Circulo de ley de Ohm.

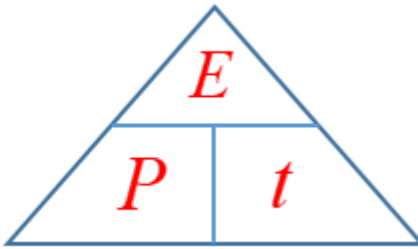


Fuente. <https://sites.google.com/a/xtec.cat/tecnologiainsfrederic/batx-1r/electricitat>

En donde sacamos la parte del cálculo para hallar la potencia.

P= potencia (Watts)
I= corriente al cuadrado (Amperios²)
V= voltaje (Vac)

Figura 14. Calculo para energía eléctrica según tiempo.

$$E = Pt$$
$$P = \frac{E}{t}$$


Fuente. <https://www.onlinemathlearning.com/electrical-energy-calculation.html>

En donde E= energía (joules)
P= potencia (Watts)
t= tiempo (segundos)

3.5 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LA RESISTENCIA DE KANTHAL A1.

Según las fórmulas del párrafo 3.4 Fórmulas para los cálculos de la resistencia de KANTHAL A1, las siguientes tablas muestran en resaltado negro el valor hallado según formula.

Para los valores anteriores se tomaron mediciones de voltaje distintas mediante un multímetro a nuestra línea de 220 Vac, esto con el fin de que los cálculos y datos nos den más exactos.

Ilustración 1515.Datos tomados de la línea de suministro 220 Vac de laboratorio.



Fuente. Autores.

Tabla 2. Lectura de voltaje por medio de multímetro.

Nº DE LECTURAS	VOLTAJE (Vac)
1	219.86
2	219.34
3	218.42
4	219.69
5	219.47
6	219.6
7	218.34
8	219.89
PROMEDIO	219.33

Fuente. Autores.

Para los cálculos a continuación tenemos que el valor medido del voltaje fue de 219.33 Vac. El valor medido de la resistencia a través del multímetro fue de 6.6 Ohm estos datos son esenciales para nuestros cálculos de corriente, potencia que consume y energía gastada por cada ensayo en nuestro horno.

Tabla 3 . Cálculos y datos respecto formula de la figura 12. De ley de ohm.

ASPECTO	VALOR	VALOR
Voltaje (Vac)	219.33	110
Resistencia (Ohm)	6.6	6.6
Corriente (Amperios)	33.33	16.66

Fuente. Autores.

Tabla 4.Cálculos y datos respecto a formula de la figura 13. Circulo de ley de Ohm

ASPECTO	VALOR	VALOR
Corriente (Amperios)	33.33	16.66
Resistencia (Ohm)	6.6	6.6
Potencia (Watts)	7331.87	1831.87

Fuente. Autores.

Tabla 5. Cálculos y datos respecto a fórmula de la Figura 14. Calculo para energía eléctrica según tiempo.

ASPECTO	VALOR	VALOR
Potencia (Watts)	7331.87	1831.87
Tiempo (segundos)	2700	2700
Energía consumida (joules)	19796049	4946049

Fuente. Autores

4. CONSTRUCCIÓN.

4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.

Se partió construyendo los soportes para la resistencia (KHANTAL A1) en concrax 1700, el molde fue un tubo de PVC de 30 cm, el cual se dividió en 2 partes y el modelo fue una manguera para gas de 1 cm de diámetro, donde se vertió la mezcla de concrax, posteriormente hicimos el montaje de la resistencia en lugar dejado por su respectivo modelo, lugar donde después se montó la resistencia con su respectivo soporte, se envolvió el soporte de la resistencia en manta cerámica la cual nos servirá como aislante entre la resistencia y la carcasa metálica.

Figura 16. Construcción soporte camisa de concrax para resistencia de KHANTAL A1.



Fuente. Autores.

Se seleccionaron las mangueras para gas con el fin de darle la preforma en donde van las resistencias de KANTHAL A1, el tubo de PVC Ø 15 cm es en donde se fundió el concrax 1700 quedando el montaje de forma cilíndrica.

Figura 17. Preforma antes de vaciado de concrax 1700.



Fuente. Autores.

Figura 18. Concrax vaciado en molde con preforma.



Fuente. Autores.

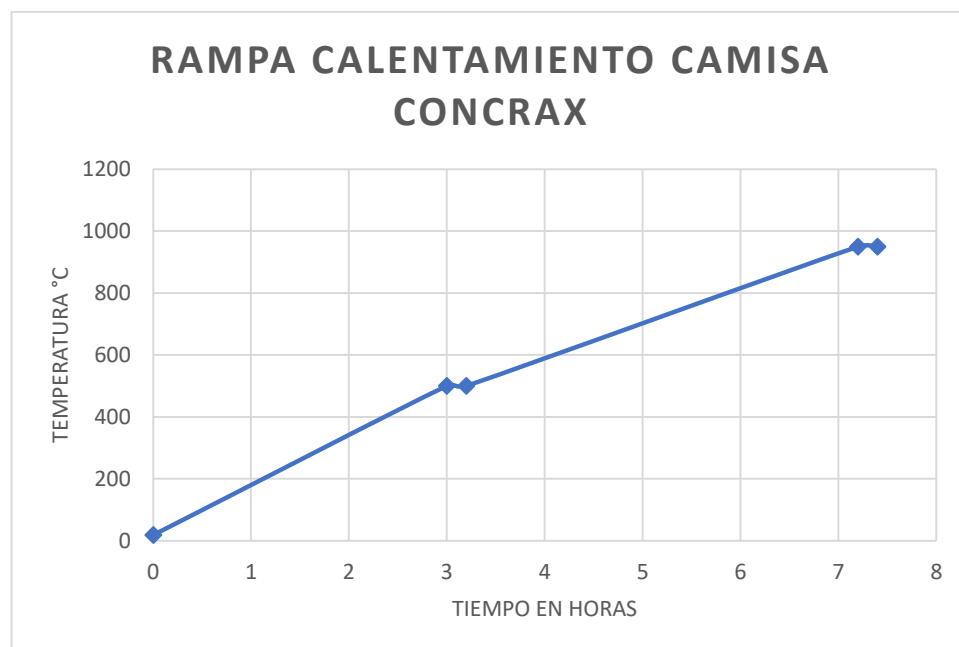
Figura 19. Camisa echa en concrax sin secado.



Fuente. Autores.

Después del fraguado de concrax 1700 y con la preforma de la camisa se introducen en una mufla y se le realizo una rampa de calentamiento de dos etapas las cuales fueron subiendo hasta 500° C 3 horas, permanencia de 20 minutos, luego subiendo de 500 °C hasta los 950° C en 4 horas, permanencia de 20 minutos quedando de la siguiente manera:

Figura 20. Rampa de calentamiento para camisa de concrax.



Fuente. Autores.

Figura 21. Camisa de concrax efectuada la rampa.



Fuente. Autores.

Figura 22. Estado final de camisa de concrax luego de enfriado.



Fuente. Autores.

Figura 23. Resistencia de KANTHAL A1.



Fuente. Autores.

La facilidad de adquisición y su manejabilidad en frío para trabajar hacen de este material el ideal para hacer hornos de resistencia.

Figura 24. Tubo de API N80.



Fuente. Autores.

La selección de este tubo se realizó por sus altas capacidades para soportar presión baja y alta, por tratarse de un acero API.

Ilustración 25. Encamisado en concrax 1700 al tubo API N80 finalizado.



Fuente. Autores.

Se le agregó una capa de concrax 1700 alrededor del tubo API N80, esto con el fin de evitar un coque térmico directo desde la resistencia al tubo.

Figura 26. Hechura de sujetadores de tubo cold roll.

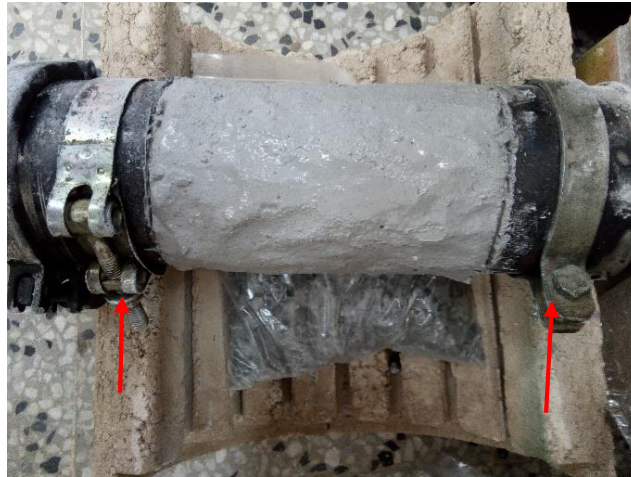


Fuente. Autores.

Mecanizamos 2 secciones de tubo (cold roll) los cuales va ubicadas en los extremos del tubo, estos nos sirven como sujetadores de las tapas (conexión de

vació y termocupla en K) que van a los extremos donde hacen presión con las dos abrazaderas clamp que van a tener la cámara totalmente hermética para realizar un óptimo vació.

Figura 27. Abrazaderas comunes montadas en el sistema de sujeción para vació.



Fuente. Autores.

Estas abrazaderas nos permiten un mayor agarre en los sujetadores cold roll, al montar sus respectivos sellos.

Figura 28. Abrazadera tipo clamp.



Fuente. Autores.

La abrazadera tipo clamp esta echa en fundición gris y tiene un cierre con tuerca en mariposa.

Figura 29. Tapa de acero inoxidable 304 con sistema de extracción de aire.



Fuente. Autores.

Aquí se encuentra conectada mediante acoples de latón la tapa de acero inoxidable 304 y la válvula de cierre para gas.

Figura 30. Termocupla tipo K.



Fuente. Autores.

Este tipo de termocupla resiste temperaturas de hasta 1200° C por lo cual queda perfecta para nuestro sistema de medición.

Figura 31. Tapa de acero inoxidable con sistema de termocupla.



Fuente. Autores.

En la segunda tapa de acero inoxidable se encuentra el sistema de la termocupla tipo K, esta se encuentra soldada con soldadura de arco 1/16 para acero inoxidable AWS e308-16 varilla electrodo y añadiendo hermeticidad en el centro de la tapa donde se introdujo el bulbo donde se encuentra la termocupla tipo K.

Figura 32. Manguera de transporte de alma de nylon.



Fuente. Autores

La manguera de conexión entre la bomba y la cámara, es una manguera para soportar vacío de ½ “.

Figura 33. Bomba marca EDWARDS RV12.



Fuente. Autores.

La bomba usada en nuestra prueba fue un recurso localizado en el laboratorio de microscopio electrónico de barrido, el cual nos fue prestado mediante una carta dirigida a la escuela de metalurgia de la UPTC, lo anterior debido al elevado precio de una bomba mecánica para vacío.

Figura 34. Empaques en asbesto.



Fuente. Autores.

Los empaques en asbesto conseguidos y comprados en la ciudad de Tunja están hechos para resistir temperatura y fueron instalados junto con las abrazaderas tipo clamp y ayudan con el sello de la cámara de vacío.

Figura 35. Abrazaderas para manguera.



Fuente. Autores.

Este tipo de abrazaderas los usamos en los extremos de la manguera donde se sujeta un extremo a una válvula de bronce de $\frac{1}{4}$ y el otro extremo también una válvula de pasta.

Figura 36. Conector macho para manguera en latón de $\frac{3}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ ".



Fuente: http://hidrocapanama.com/index.php?route=product/product&product_id=504

Puesto en el extremo de la tapa de acero inoxidable y enroscado a la válvula para cierre de gas y conectada junto con abrazadera a la manguera para sustracción de aire.

Figura 37. Conector mecanizado en aluminio.



Fuente. Autores

Este conector fue realizado mediante mecanizado para que ajustara perfecto con él o 'ring de la bomba de vacío en un extremo y se pudiese conectar a la manguera de 1/2", y nos permite tener un control al momento de sujetarlo con la abrazadera tipo clamp.

Figura 38. Válvula de cierre para gas.



Fuente. <http://www.tiendahidraulica.com/es/accesorios-para-montajes-neumaticos-/381-valvula-de-bola-de-2.html>

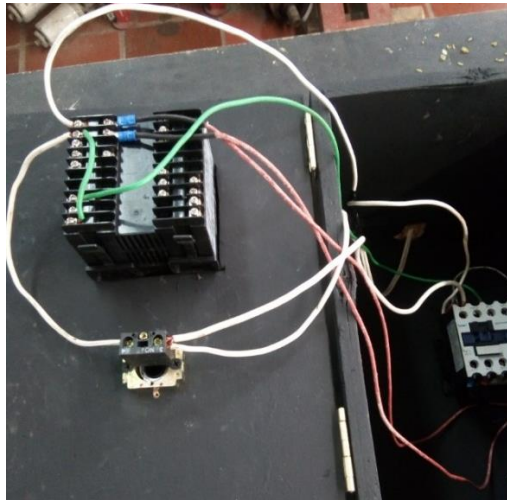
Válvula de cierre para evitar el retorno del aire extraído a la cámara de vacío, hecho en acero inoxidable y tamaño 1/4".

5. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA.

5.1 MONTAJE SISTEMA ELÉCTRICO.

Con los distintos componentes eléctricos y estudiados los diseños para el ensamblaje del sistema eléctrico, se procede a conectar los distintos tipos de cables y conexiones de los circuitos del controlador, contactor, termocupla y selector.

Figura 39. Contactor, controlador y conexión de cables.



Fuente. Autores.

Figura 40. Caja madera, controlador y selector.



Fuente. Autores.

Por último se construyó la caja en madera, donde van ubicados los accesorios eléctricos (contactor CHINT 220 Vac de 60Hz, controlador MAXTHERMO mc-2938, cable siliconado calibre 12 AWG, cable niquelado N° 14 AWG, selector 220 Vac y 15A) que van hacer el control de todo lo que ocurre en la cámara a excepción del vacío.

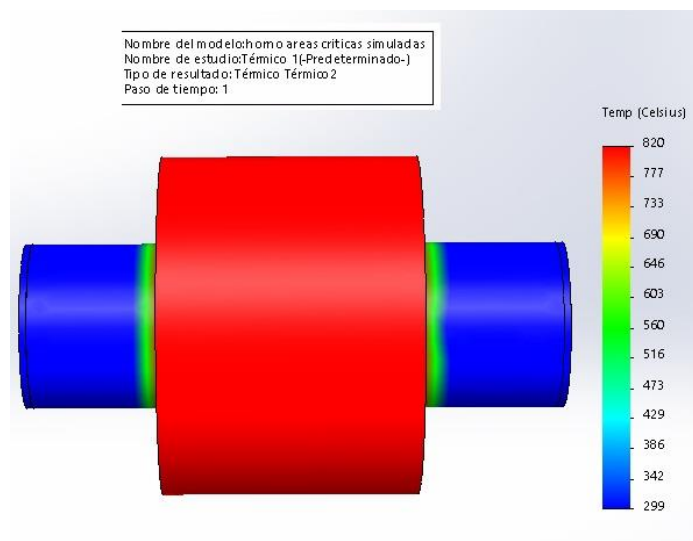
5.2 CONEXIÓN DE RESISTENCIA Y PRUEBA DE TEMPERATURA.

Figura 41. Conexión preliminar de resistencia en sistema de aislamiento.



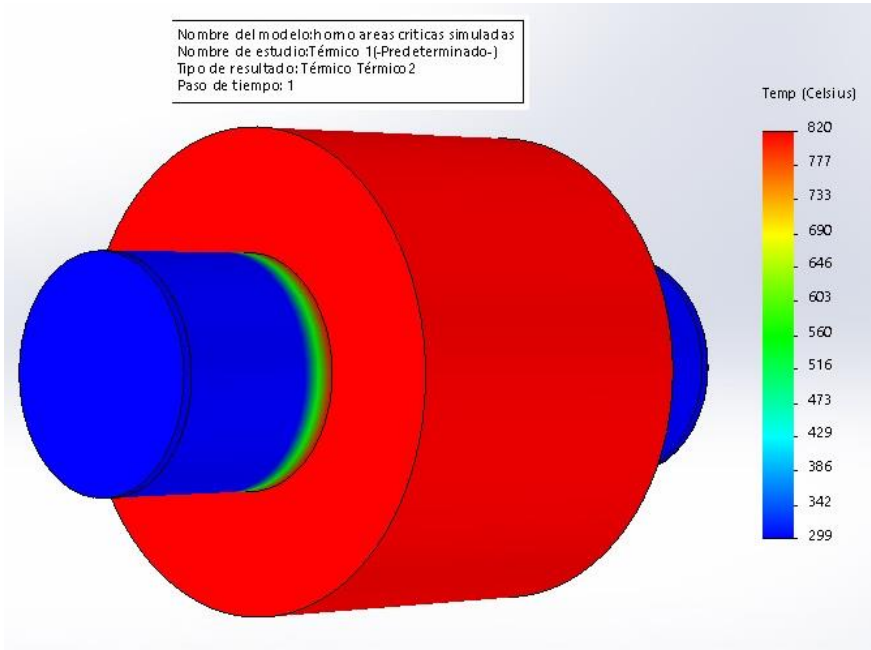
Fuente. Autores.

Figura 42. Simulación en solidworks de radiación por temperatura en tubo API N80 vista frontal.



Fuente. Autores.

Figura 43. Simulación en solidworks de radiación por temperatura en tubo API N80 vista isométrica.



Fuente. Autores.

Figura 44. Prueba de temperatura.



Fuente. Autores.

En esta parte se expuso a temperaturas de más de 800° C el sistema en donde descansa la resistencia de KANTHAL A1 y el tubo API N80 previamente encamisado para evitar el choque térmico por la alta radiación inicial de la resistencia.

Figura 45. Comportamiento del tubo expuesto a temperatura después de hecho el vacío.



Fuente. Autores.

En esta imagen podemos evidenciar que respecto a la simulación y la prueba de temperatura, hay correlación en la exposición del tubo API N80 a la radiación de la resistencia de KANTHAL A1.

5.3 CONEXIÓN DE BOMBA PARA VACÍO A CÁMARA DE VACÍO.

Las conexiones y accesorios anteriormente vistos son los usados en esta etapa, en la cual nos vemos en la necesidad de probar en otra cama de vacío antes de poder conectar a nuestro sistema para verificar que la bomba este sustrayendo aire y así poder generar un pre-vacío.

Figura 46. Bomba conectada a sistema auxiliar para comprobar vacío.



Fuente. Autores.

Esta conexión auxiliar la hacemos con el fin de ver si la bomba arrastra la cantidad de aire presente en el cilindro hermético de acero inoxidable.

Figura 47. Limpieza de cámara de vacío.



Fuente. Autores.

Antes de introducir la probeta a la cámara de vacío se debe realizar una limpieza primeramente con una escobilla (cepillo dental), y después con ayuda de un compresor regulado o una sencilla bomba para inyectar aire manualmente.

Figura 48. Conexión de bomba para vacío a cámara de vacío.



Fuente. Autores.

Luego de realizada la prueba con el sistema auxiliar, se conecta a nuestra cámara de vacío y se genera un arrastre del aire contenido en el recipiente.

Tabla 6. Parámetros de funcionamiento de bomba EDWARDS RV 12.

Parámetro	Datos de referencia
Intervalo de temperatura ambiente (funcionamiento)	De 12 a 40 °C
Intervalo de temperatura ambiente (almacenamiento)	De -30 a 70 °C
Temperatura normal de la superficie del cuerpo de la bomba *	De 50 a 70 °C
Humedad máxima (funcionamiento)	90 % de RH
Altitud máxima (funcionamiento)	2.000 m
Nivel de contaminación	2
Categoría de instalación	II

Fuente. http://mon.uvic.cat/u360/files/2017/03/Bomba-buit-cromatograf_Edwards.pdf

Tabla 7. Datos de rendimiento general de bomba EDWARDS RV 12.

Parámetro	Datos de referencia
Protección antirretorno	1×10^{-5} mbar l s ⁻¹ , 1 x

	10 ⁻³ Pa l s ⁻¹			
Máximo aumento de la presión inicial sin caudal de lastre de gas	1 x 10 ⁻¹ mbar, 10 Pa			
	RV3	RV5	RV8	RV12
Desplazamiento máximo: m³ h⁻¹				
Fuente de alimentación eléctrica de 50 Hz	3,7	5,8	9,7	14,2
Fuente de alimentación eléctrica de 60 Hz	4,5	5,0	11,7	17,0
Velocidad de bombeo máxima				
(Pneurop 6602, 1979): m³ h⁻¹				
Fuente de alimentación eléctrica de 50 Hz	3,3	5,1	8,5	12,0
Fuente de alimentación eléctrica de 60 Hz	3,9	6,2	10,0	14,2
Máxima presión de entrada permitida y presión de entrada de lastre de gas				
medición en bar	0,5	0,5	0,5	0,5
Pa	1,5 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁵	1,5 x 10⁵
Máxima presión de salida permitida				
medición en bar	0,2	0,2	0,2	0,2
Pa	0,2 x 10⁵	0,2 x 10⁵	0,2	0,2 x 10⁵

Fuente. http://mon.uvic.cat/u360/files/2017/03/Bomba-buit-cromatograf_Edwards.pdf

5.4 PUESTA EN MARCHA Y TOMA DE DATOS.

Luego de realizado las conexiones primarias de nuestro sistema eléctrico a la resistencia se procede a encender y llevar poner los parámetros en el controlador maxthermo.

Llevada a cabo siguiendo los pasos:

- Realizar conexión de bomba para vacío a sistema auxiliar y verificar que exista un arrastre.
- limpieza de la cámara de vacío de la manera explicada en la figura 44.
- introducir la muestra o probeta en la cámara de vacío.

- d) hacer sello de la tapa con la válvula de cierre de gas, la arandela de asbesto y la abrazadera clamp
- e) conectar manguera previamente sujeta a la tapa con la válvula de cierre de gas, al sistema de la bomba para vacío.
- f) Prender bomba por 10 segundos para extraer aire de cámara, y en el arrastre cerrar la válvula para evitar retorno de aire a la cámara.
- g) Se procede a desconectar la manguera conectada a la cámara simplemente retirando la abrazadera sujeta al acople de latón.
- h) Se conecta la clavija macho a la clavija hembra para 220V y se accionan los breakers de 30A (2).
- i) Se acciona el selector de la cabina en donde se encuentra en controlador y se pone en la posición "ON".
- j) Se esperan unos 3 segundos mientras arranca el controlador y se presiona tres veces el botón "SET" hasta llegar a la opción "rAñP".
- k) Teniendo en cuenta que el controlador maneja un sistema de subida de temperatura lineal de °C/min, se realizan los cálculos según el tiempo de subida a permanencia que le dicte el tratamiento; por ejemplo, si se necesitan 750° C en 40 minutos, simplemente se le divide a esa temperatura en el tiempo que desee, para este ejemplo daría igual a 18.75° C.
- l) Oprimiendo el botón "A/M" por 5 segundos, genera el menú para darle porcentaje de salida el cual está predeterminado en 100, con los botones de desplazamiento se va a llevar este valor en 40 o 50 (esto con el fin de darle más vida útil a la resistencia) y se oprime el botón "SET"
- m) A continuación se regresa al sistema dándole nuevamente el botón "SET", ahora pulsando los botones "SET" y "<", por 5 segundos nos lleva a un menú en donde se controla el tipo de termocupla que está conectada, ahí se continúa oprimiendo el botón "SET" hasta encontrar la opción "USPL" y se le da el rango de temperatura al cual desee trabajar, oprimiendo la tecla "<", y los botones "Λ" para subir o "V" para bajar.
- n) Para salir de ese menú se deja 30 segundos o simplemente se oprimen nuevamente los botones "SET" y "<", de nuevo se va hacia la opción "rAñP" y verifica que no existan cambios de temperatura.
- o) Por último cuando el control de temperatura en rojo este por llegar al valor en verde unos 10° C por debajo se oprime nuevamente el botón "A/M" y dejar hasta que regule la temperatura o el tiempo de permanencia que desee.
- p) En cuanto termine su prueba simplemente dirigirse al tablero de control y accionar el selector en modo "OFF".
- q) Inmediatamente proceder a sacar su probeta y/o proceder según corresponda el tratamiento térmico.

- r) Desconectar de las clavijas el sistema eléctrico y poner en OFF los breakers de 30A, ubicados en tablero de distribución de madera la cual se encuentra a la pared de respaldo en donde está nuestro sistema del horno.

Figura 49. Datos generados en transcurso del calentamiento.



Fuente. Autores.

Figura 50. Sistema completo apagado de horno al vacío para tratamientos térmicos.



Fuente. Autores.

6. RESULTADOS.

6.1 DATOS DE DUREZA ACERO AISI-SAE 1045 ANTES DE LOS TRATAMIENTOS.

Se cortó una probeta de 2 cm de largo se llevó al esmeril para pulir los extremos de la está para tener las superficies paralelas, inmediatamente se pulió la parte transversal para dejar los dos lados paralelos y tomar las durezas. Se tomaron 3 durezas las cuales tuvieron los siguientes resultados.

Figura 51. Probeta sin tratamiento.



Fuente. Autores.

Tabla 8. Durezas antes del tratamiento.

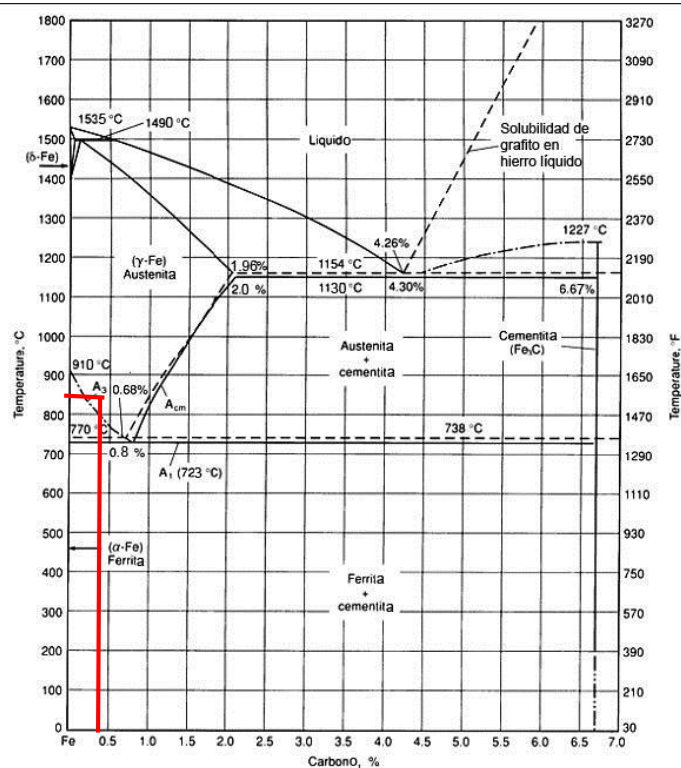
N° Durezas	Rockwell B
1	80
2	82,5
3	83,5
promedio	82
Posición de la probeta	transversal

Fuente: Autores

A continuación se mostraran los resultados obtenidos

6.2 TRATAMIENTO TÉRMICO CONVENCIONAL.

Figura 52. Diagrama Fe-C, temperatura AC3, ubicación acero 1045.



Fuente. Principios generales de los tratamientos térmicos.

Se tomó la probeta a la cual se le tomaron durezas anteriormente, se llevó a la mufla para realizar el tratamiento térmico convencional se programó la mufla durante una hora y treinta minutos, una permanencia de 20 minutos a una temperatura de 820 °C, 50 °C por encima del punto AC₃ del diagrama FE-C temperatura de austenización, después de llegar a la temperatura programada se sacó la probeta con todos los requerimientos de seguridad, se introdujo en agua, el cual era el medio en donde se trató, se llevó al durómetro y nos arrojó los siguientes datos.¹⁰

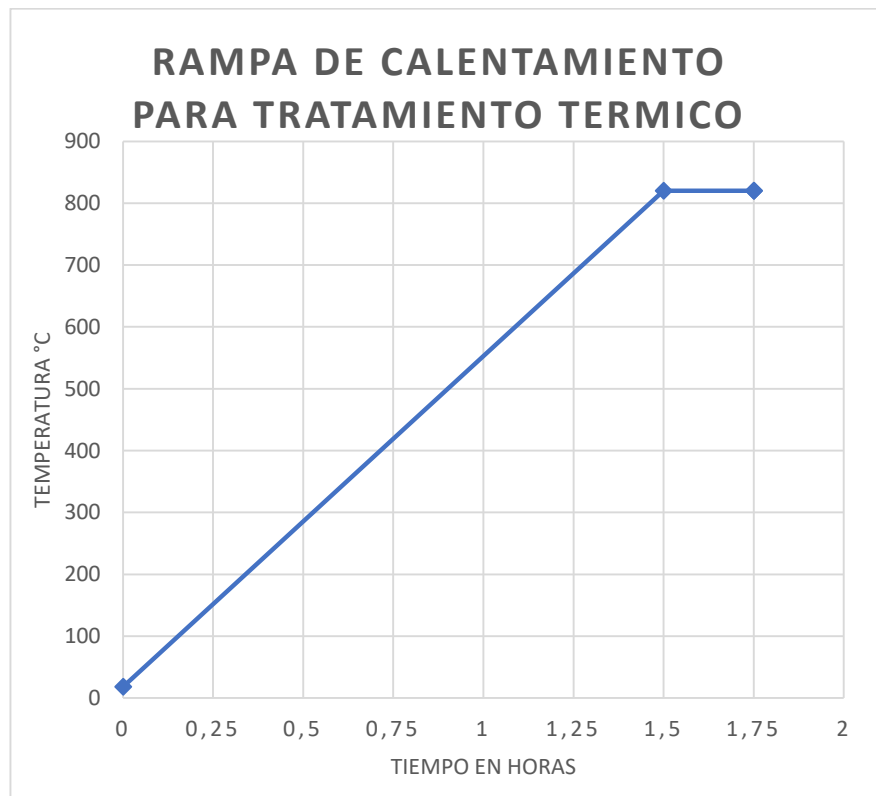
¹⁰ Evaluación de la dureza y microestructura del acero 1045 templado en sustancias refrigerantes no tradicionales, Eduardo A. Pérez Ruiz, Angy C. Galeano Perilla, Luis I. Negrín Hernández, pág. 2, 2016.

Figura 53. Tratamiento térmico convencional.



Fuente. Autores

Figura 54. Diagrama de rampa de calentamiento para el tratamiento térmico.



Fuente. Autores.

Tabla 9. Durezas tratamiento térmico convencional.

N° durezas	Rockwell C/ cara transversal
1	45
2	45,5
3	46
Promedio	45,5

Fuente. Autores.

Ilustración 55. Durómetro.



Fuente. Autores.

6.3 TRATAMIENTO TÉRMICO AL VACÍO.

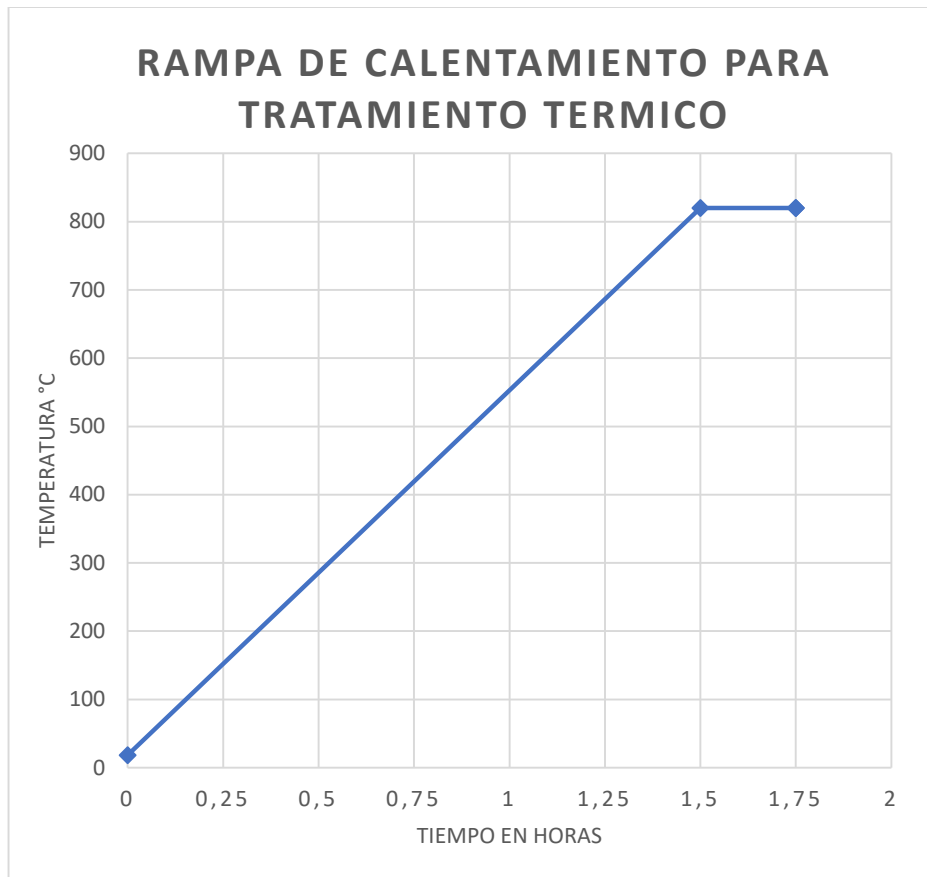
Se cortó una probeta de 2 cm de la misma barra de acero AISI-SAE 1045 del tratado anteriormente. El funcionamiento del equipo del vacío es más complejo que una mufla. Se limpió la cámara con un compresor para sacar todas las partículas antes de introducir la probeta, después se ingresó la probeta a la cámara, se cerró herméticamente verificando que no haya ninguna fuga con la ayuda de un bomba, después haber verificado que no hayan fugas se conectó la bomba de vacío, se encendió la bomba y se dejó que bombeara durante 10 segundos, se cerró la válvula luego de terminado el vacío se procedió a iniciar la cabina eléctrica para calentar la probeta, se programó a las mismas condiciones de la mufla 1 hora y 30 minutos subiendo a los 820 °C y de permanencia 20 minutos, después de haber cumplido las condiciones programadas se sacó la probeta y se trató en agua como la probeta tratada convencionalmente y como resultado se obtuvieron las siguientes durezas.

Figura 56. Tratamiento térmico realizado en horno al vacío.



Fuente. Autores.

Figura 57. Diagrama de rampa de calentamiento para el tratamiento térmico al vacío.



Fuente. Autores.

Tabla 10. Durezas acero AISI-SAE 1045 tratado al vacío.

N° durezas	Rockwell C/ cara transversal
1	50
2	51
3	50
Promedio	50,33

Fuente. Autores.

Ilustración 58. Durezas tratamiento al vacío.



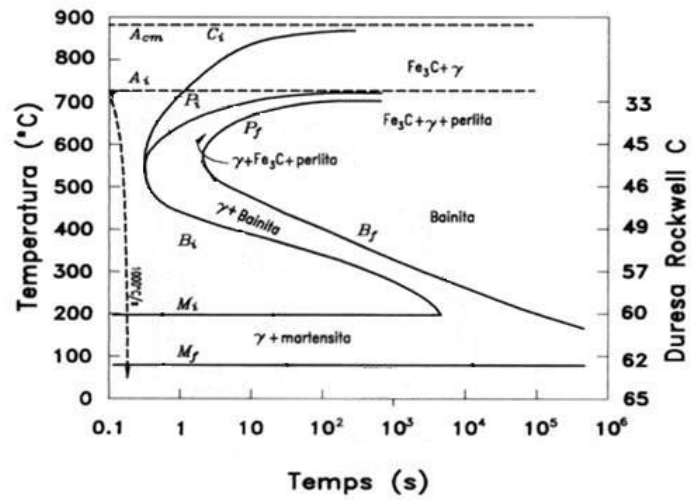
Fuente. Autores.

6.4 MICROGRAFÍA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

6.4.1 tratamiento térmico convencional.

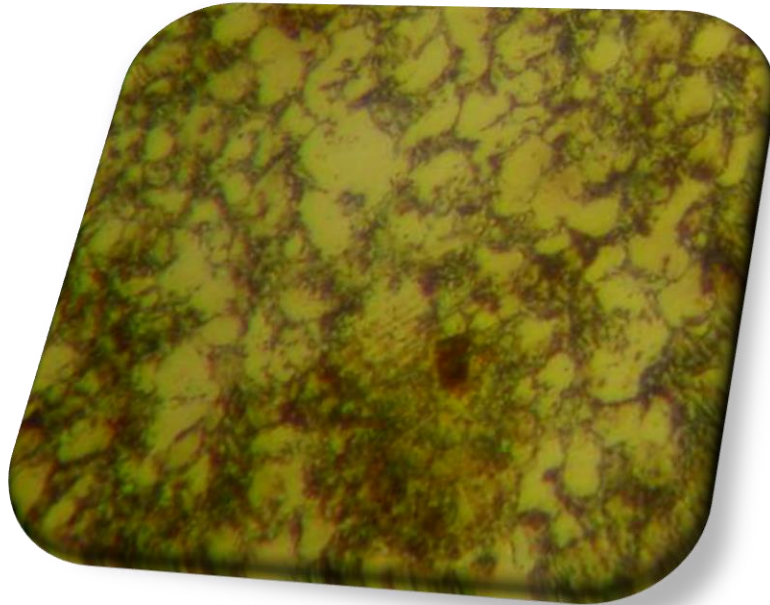
Después de haber tratado las probetas pulimos y atacamos las probetas de las cuales se observaron las siguientes imágenes.

Figura 59. Diagrama TTT acero AISI SAE 1045.



Fuente: aceros.ub.edo.co

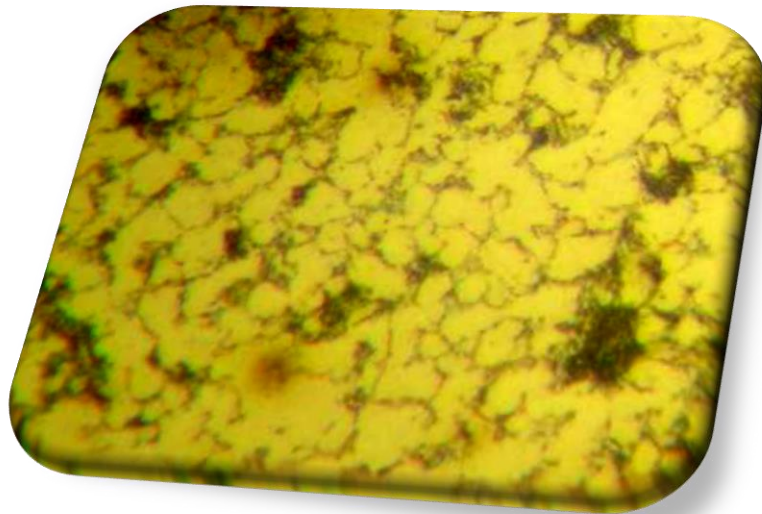
Figura 60. Micrografías acero 1045 tratado convencionalmente. 500 X



Fuente: Autores.

Podemos observar que se forman finas agujas después de hacer en tratamiento térmico convencional, las finas agujas son martensita que se forman al cambio térmico con agua, su tamaño de grano disminuye por tal motivo la dureza aumenta.

6.4.2 Micrografías tratamientos al vacío. 500X.
Figura 61. Micrografía acero 1045 tratado al vacío



Fuente: Autores

Al igual que el tratamiento térmico convencional, en el tratamiento térmico al vacío también se forma pequeñas agujas martensíticas pero más pequeñas de tal forma que el tamaño de grano disminuye y la dureza aumenta, por ende un tratamiento térmico al vacío nos da mejores propiedades.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS REALIZADOS.

Después de hacer tratamiento térmico convencional y tomando tres durezas podemos observar que el tratamiento fue uniforme esto se ve evidenciado en las durezas debido a que no hay mucha variación, solo hay 0,5 entre cada dureza.

En el tratamiento térmico al vacío vemos que la dureza es uniforme en todo el material no hay variación considerable de dureza tomadas en los 3 puntos.

Al comparar los 2 tratamientos nos deja evidenciar que los tratamientos térmicos al vacío aumenta más la dureza de un materiales que en un tratamiento convencional, por tal motivo es mejor realizar un tratamiento térmico al vacío que uno convencional.

7. CONCLUSIONES.

- La importancia de tener una alternativa al alcance de nuestros compañeros estudiantes del alma máter es el principal impulso para la realización de este proyecto como requisito de grado, al tener una forma de realizar un tratamiento térmico distinto a los convencionales podemos abrir el campo de la investigación a nuevos proyectos y con ello colaborar con el desarrollo y actualización de nuestra universidad.
- Incursionar a los nuevos procesos metalúrgicos es necesario y abre una nueva perspectiva a las mejoras que ocurren en el mundo, por ende estos proyectos innovadores necesitan más apoyo económico.
- La posibilidad de generar vacío en un equipo para tratamientos térmicos permite mejores propiedades y variedad en procesos. Nuestro modelo de horno se nos presenta en esta ocasión para la utilidad de unos pocos gramos (probetas), asequibles para los estudiantes que ven materias como tratamientos térmicos, metalurgia mecánica...etc.
- La utilización de un tubo de alúmina en lugar de un sistema en acero inoxidable, resulta más barato y menos peligroso a la hora de manipular en caliente, esto debido a sus propiedades térmicas y no conductoras.
- Los cálculos efectuados para saber la potencia según las formulas muestran que ciertamente el conectar la resistencia a una línea de 110Vac, se obtiene más economía energética, por desgracia el laboratorio llamado VAR no cuenta con un sistema de protección "BREAKER" capacitado para 20Amperios.
- Las gráficas de curvas de calentamiento para cada proceso son las mismas debido a que para realizar las comparaciones debidas se deben mantener las mismas variables.
- Al comparar los valores de durezas obtenidos después del temple en los dos tratamientos se pudo ver mejoría en el tratamiento térmico al vacío, se tiene una mayor dureza y se podría tener un mejor material tratado.
- La presencia de humedad o de oxígeno hace que se genere una cascara de óxido o de carburos, dichos carburos usualmente gruesos y de color negro mate.
- Al ser un proyecto empírico y con muy pocos recursos se llegó a los objetivos propuestos, con una buena economía y ayuda más técnica se pueden construir equipos de mayor consistencia.

8. RECOMENDACIONES.

- Según los distintos tipos de resistencias y su conexión, consideramos la utilización de una resistencia en tipo serie, al tener mayores ventajas en cuanto a versatilidad, economía y rendimiento.
- Se podría tener un material con mejores propiedades físicas si se implementa un gas de limpieza (nitrógeno, argón), para que en el tratamiento se limpie la cámara totalmente de presencia de oxígeno.
- El uso del equipo es de sumo cuidado, el aire absorbido por la bomba no debe superar los 70 °C debido a que puede que se generen daños internos a la máquina, de igual modo las partículas que va a extraer la bomba no tiene que ser de gran tamaño.
- Al momento de utilizar el equipo de vacío hay que revisar la medida y el estado de aceite, debido a que este es el que lubrica el motor monofásico que tiene.
- Para medir una presión acertada para este equipo es recomendable utilizar un vacuometro que en este acto fue prestada por la Universidad de Boyacá, universidad que también tiene un equipo al vacío.
- El vacuometro se ubica en la bomba de vacío y la válvula conectada en la cámara se determinará la presión que hace el equipo y la que hay en la cámara.
- De vital importancia que llegado el caso de cambiar la resistencia de KHANTAL, esta se aisle entre las espiras con retazos de manta cerámica, lo anterior con el fin de que se deforme y genere cortos.
- Si se sigue los pasos para el arranque del equipo con énfasis se hará una buena utilización del horno y unos óptimos resultados.

BIBLIOGRAFIA

Heat Treating was published in 1991 as Volume 4 of the ASM Handbook. The Volume was prepared under the direction of the ASM Handbook Committee.

George E. Totten, Maurice A.H. Howes. 1997. Steel Heat Treatment Handbook. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison avenue, New York, New York 10016. Cap 7. Pags 483-526.

P Peawbang y A Thedsakhulwong. Diseño y construcción de un pequeño horno de vacío. 2017. Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Ubon Ratchathani, Warinchamrab, Ubon Ratchathani, 34190, Tailandia. Publicado bajo licencia por IOP Publishing Ltd Journal of Physics: Conference Series, Volumen 901, conferencia 1.

Y. Wang, X. Pei, W. Wei, L. Fan, Y. Hong B. Zhang, National Synchrotron Radiation Laboratory, USTC, Hefei, China. Sistema de vacío del anillo de almacenamiento HLS-II. (2016). Procedente de MEDSI, Barcelona, España.

Chen, Xin-Yan. (2016) diseño del sistema de circulación de agua de refrigeración en el horno de vacío.2016. Información de tecnología 2016 el décimo período. Base de Datos Periódicos de Ciencia y Tecnología China. 54-55 páginas en total 2 páginas.

VAC AERO International. Inc. (25 de abril 2014). ¿Por qué tratar el calor en un vacío? Montreal, Quebec, Canadá.: Vac Aero. Information-resources. Recuperado de <https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/650-why-heat-treat-in-a-vacuum.html>.

Beadle. J.D. (Ed).1972 Product Treatment & Finishing. Macmillan engineering evaluations Production engineering series. Pags 27-28.

Evaluación de la dureza y microestructura del acero 1045 templado en sustancias refrigerantes no tradicionales, Eduardo A. Pérez Ruiz, Angy C. Galeano Perilla, Luis I. Negrín Hernández, pág. 2, 2016.

ANEXOS

Anexo A. Guía de configuración de controlador Maxthermo Mc-2938 véase medio magnético.

Anexo B. Manual de operaciones para bombas de vacío EDWARDS RV, véase medio magnético.

Anexo C. manual de operaciones horno al vacío para tratamientos térmicos. Véase medio magnético.