ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS BASADO EN PERTURBACIONES DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO

OSCAR EDUARDO ARAQUE CHACON
GERMAN ALEXIS OREJARENA MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS BASADO EN PERTURBACIONES DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO

OSCAR EDUARDO ARAQUE CHACON
GERMAN ALEXIS OREJARENA MARTÍNEZ

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director:
OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010

A todo aquel que me apoyo
en esta labor y permitió de cualquier manera
que estuviese hoy acá escribiendo estas palabras,
En especial a mis padres , hermanos,
A mi novia
Y compañeros .

Oscar Eduardo

De manera especial agradezco a DIOS por darme la vida y permitir que hoy se cumpla uno de los más grandes anhelos de mi corazón, por hacer de mi una mejor persona, por ser mi fortaleza y creer siempre en mi.

A mi madre Leonor Martínez por ser un instrumento de DIOS para materializar mi vida, por su apoyo y ejemplo de lucha constante.

A mi padre German Orejarena por su ejemplo de esfuerzo y perseverancia que siempre han sido una motivación para mi vida.

A mis hermanos Juan Pablo, Mónica, Ximena, Deisy, Breddy, Sandra y Armando, quienes han sido un motor para mi vida y con quienes tengo un compromiso por apoyar sus proyecciones.

A la señora Inés Camacho y al señor Conrrado Villarreal y en general a toda la familia Camacho Villarreal, hijos, nueras, nietos y amigos, quienes han apoyado mi proceso de formación y me han acogido como un miembro más de su familia.

A mi novia Julie Milena Rodríguez Rosas, por ser mi compañera, amiga y amante de este sueño que hoy se cristalizas, por su apoyo incondicional.

A mis amigos y hermanos Edgar López, Wilson Rodríguez, Alexandra Martínez y todos aquellos que me han acompañado en este camino y han sido parte de mis triunfos y derrotas.

A la Universidad Industrial de Santander, directivos y docentes por formar profesionales de alta calidad humana y académica, en especial al profesor Omar Gélvez por su confianza y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

A Residencias Universitarias, porque sin este apoyo abría sido aun mas difícil culminar mis estudios de pregrado.

German Orejarena

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor, que nos ha dado la vida y la salud necesaria para realizar este proyecto.

A nuestros padres, por el apoyo a lo largo de todos estos años en nuestra formación como profesionales.

A nuestros compañeros y amigos por brindarnos momentos de alegría y compromiso en la universidad y fuera de ella.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la **Universidad Industrial de Santander**, por formar ingenieros preocupados por el ámbito social, motivo para fortalecer los lazos con la comunidad que es el motor fundamental de la sociedad.

CONTENIDO

Pág

INTRODUCCION 1

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 2

1.1 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA 2

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO 3

1.2.1 Objetivos Generales 3

1.2.2 Objetivos Específicos 3

1.3 JUSTIFICACIÓN 4

1.4 MARCO TEÓRICO 5

1.4.1 Hornos industriales 5

1.4.2 Hornos Tipo Batch Versus Tipo Continuo 6

1.4.3 Clasificación de acuerdo al medio de transferencia de calor 8

1.4.4 Hornos de Resistencia 15

1.4.5 Medición de la temperatura 17

2 PRIMERA FASE: ADECUACIÓN DEL HORNO 19

2.1 ESTADO INICIAL DEL HORNO 19

2.1.1 Pintura 19

2.1.2 Aislante Térmico 21

2.1.3 Resistencias de Placa Concrax 22

2.1.4 Ladrillo Refractario 23

2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS 24

2.2.1 Pintura 24

2.2.2 Aislante Térmico 25

2.2.3 Ladrillos Refractarios 26

2.2.4 Ensamble 29

2.3 COMPARACIÓN DE COSTOS 30

3 SEGUNDA FASE: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA. . 3030

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA. .....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

3.1.1 Controlador. 32

3.1.2 Etapa de potencia. 333

3.1.3 Etapa de censado. 37

3.2 ESQUEMA DEL MONTAJE FINAL. 42

3.2.1 Sistema de adquisición de datos 42

3.2.2 Sistema de censado de carga 46

3.2.3 Sintonización del control 51

3.2.4 Sintonización del control utilizando el controlador 533

4 TERCERA FASE: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 56

4.1 TOMA DE DATOS 56

4.2 ESCENARIOS DE PRUEBAS. 61

4.2.1 Primer escenario: Calentamiento por rampa en dos etapas 61

4.2.2 Segundo escenario: Calentamiento a temperatura de referencia constante. 63

4.3 RESULTADO DE LAS PRUEBAS 66

4.3.1 Calentamiento programando en rampa 66

4.3.2 Calentamiento con temperatura de referencia constante 74

4.3.3 Calculo del consumo energético. 83

LISTA DE FIGURAS

Pág

Figura 1 HORNO DE BASE CORREDIZA 6

Figura 2 HORNO CONTINUO DE HOGAR EN EL QUE SE OBSERVA EL EXTREMO DE CARGA 7

Figura 3 HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO: A) CALENTADO INTERNAMENTE Y B) CALENTADO EXTERNAMENTE 10

Figura 4 HORNO DE VACÍO DE PARED FRÍA 11

Figura 5 RESISTENCIA NO METÁLICA Y DE ELECTRODO RADIANTE 14

Figura 6 RESISTENCIA METÁLICA 14

Figura 7 DIFERENTES TIPOS DE SEPARADORES DE PORCELANA 18

Figura 8 CONDICION EXTERNA DEL HORNO 19

Figura 9 CONDICION INTERNA DEL HORNO 20

Figura 10 CONDICION DEL AISLANTE TERMICO 21

Figura 11 CONDICION DE LAS RESISTENCIAS 22

Figura 12 CONDICION DEL LADRILLO REFRACTARIO 23

Figura 13 PINTURA PARA ALTAS TEMPERATURAS 24

Figura 14 FIBRA CERAMICA 26

Figura 15 LADRILLO FORMA JABON 27

Figura 16 FORMAS Y SERIES OFRECIDAS POR LA EMPRESA 28

Figura 17 ENSAMBLE FINAL DEL HORNO 29

Figura 18 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA 31

Figura 19 CONTROL IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO 32

Figura 20 DIAGRAMA DE BLOQUES ETAPA DE POTENCIA 34

Figura 21 ESQUEMA DEL CONTACTOR 35

Figura 22 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTACTOR 355

Figura 23 GRÁFICA PARA EL CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL 36

Figura 24 CONTACTOR NC1-1810 CHINT IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO 366

Figura 25 TERMOCUPLA TIPO K 388

Figura 26 TERMOCUPLA IMPLEMENTADA EN EL PROYECTO 400

Figura 27 ESQUEMA DEL MONTAJE FINAL 42

Figura 28 CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 43

Figura 29 CONFIGURACIÓN DEL CABLE SERIAL 444

Figura 30 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS IMPLEMENTADA 45

Figura 31 SENSOR DE CORRIENTE L18P020D15 BASADO EN EFECTO HALL 46

Figura 32 CARACTERISTICAS DEL SENSOR EN FRECUENCIA 488

Figura 33 LINEALIDAD DEL SENSOR 49

Figura 34 DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELECTRICO 50

Figura 35 CURVA DE RESPUESTA EN FORMA DE S 52

Figura 36 CURVA DE SINTONIZACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO 53

Figura 37 CONFIGURACION DEL MICRO PARA INICIAR AUTO TUNING 54

Figura 38 PID AUTO TUNING..... 54

Figura 39 PROTOCOLO PARA VISUALIZAR LAS CONTANTES DE SINTONIZACIÒN 55

Figura 40 DIAGRAMA DE LA TOMA DE DATOS 56

Figura 41 RAMPA DE CALENTAMIENTO 61

Figura 42 COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA 64

Figura 43 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES 66

Figura 44 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES 67

Figura 45 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 68

Figura 46 POTENCIA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA..... 69

Figura 47 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 70

Figura 48 POTENCIA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA..... 71

Figura 49 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA..... 72

Figura 50 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA 73

Figura 51 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES 74

Figura 52 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES 75

Figura 53 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 76

Figura 54 POTENCIA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 77

Figura 55 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 78

Figura 56 POTENCIA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA 79

Figura 57 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA 80

Figura 58 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA 81

Figura 59 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO POR RAMPA 84

Figura 60 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO POR TEMPERATURA DE REFERENCIA CONSTANTE 84

Figura 61 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGETICO DEL HORNO EN LOS DOS ESCENARIOS DE PRUEBAS 85

LISTA DE TABLAS

pág

Tabla 1 TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS LOCALES Y EXTERNOS 30

Tabla 2 PRINCIPALES TIPOS DE TRANSDUCTORES..... 38

Tabla 3 PRINCIPALES TIPOS DE TERMOPARES 41

Tabla 4 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SENSOR DE CORRIENTE 50

Tabla 5 REGLA DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER-NICHOLS 51

Tabla 6 VALORES DE LAS CONSTANTES DEL CONTROL PID DEL HORNO.. 53

Tabla 7 VALORES FINALES DE LAS CONSTANTES DEL CONTROL PID HORNO 55

Tabla-8 CONSUMOS ENERGETICOS……..82

LISTA DE ANEXOS

pág

ANEXO-1 PINTURAS PARA ALTAS TEMPERATURAS……92

ANEXO-2 FIBRAS CANCERIGENAS……94

ANEXO-3 FIBRA CERAMICA……...102

ANEXO-4 LADRILLO REFRACTARIO……105

ANEXO-5 CEMENTO REFRACTARIO……106

ANEXO-6 MANUAL PARA DESMONTAR EL HORNO……107

ANEXO-7 PLANOS……110

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELECTRICAS BASADO EN PERTURBACIONES DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO*

AUTORES: Araque Chacón Oscar, Orejarena Martínez German**

PALABRAS CLAVES: Fibras cerámicas, Control PID, Tarjeta de adquisición de datos, Termocupla, Contactor, Resistencia, Ladrillos refractarios, Cemento refractario.

DESCRIPCIÓN

El primer reto a enfrentar fue precisamente obtener las mejores condiciones de un horno eléctrico perteneciente a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, ya que este se encontraba abandonado. Una de las tareas más difíciles, fue la gestión de los materiales y la precaución al manipularlos, en especial las fibras cerámicas las cuales tiene la peligrosa particularidad de ser cancerígenas, pero a su vez son las más utilizadas en el mercado, debido a su capacidad para trabajar a altas temperaturas y tener una conductividad térmica muy baja. El cemento y los ladrillos refractarios, al igual que la fibra cerámica fue suministrada por una empresa de Bogotá llamada ERECOS.

Finalmente después de la fase de adecuación del horno de resistencias eléctricas, se doto al sistema de una tarjeta de adquisición de datos, con el fin de monitorear de manera constante los datos de potencia consumida, a través de un sensor de corriente implementado en esta. Además de un control de temperatura marca MAXTHERMO cuya estrategia de control es el PID y un Contactor marca CHINT como actuador del sistema PWM (Variación del ancho de pulso).

De esta manera se dio inicio a las pruebas, las cuales tuvieron una duración de 2 horas aproximadamente utilizando como materia prima biscochos de cerámica pintados, para llevar a cabo el porcelanizado de los mismos.

---

* Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ingeniero Omar Armando Gélves Arocha.

ABSTRACT

TITLE: AN ENERGY ANALYSIS OF ELECTRICAL RESISTANCE FURNACE DISTURBANCES BASED PROCESS HEATING *

AUTHORS: Araque Chacon Oscar Martinez Orejarena German**

KEY WORDS: Ceramic fibers, PID control, data acquisition board, Thermocouple, Contactors, Resistance, refractory bricks, refractory cement.

DESCRIPTION

The first challenge to face was to obtain the best conditions of an electric furnace belongs to the School of Mechanical Engineering at the Universidad Industrial de Santander, as this was abandoned. One of the most difficult tasks was the management of materials and caution when handling, especially ceramic fibers which has the dangerous distinction of being carcinogenic, but in turn are the most used in the market due to its ability to work at high temperatures and have a very low thermal conductivity. The refractory cement and bricks, like the ceramic fiber was supplied by a company called ERECO Bogota.

Finally after the stage of adapting electric resistance furnace, the system will endow a data acquisition board, to constantly monitor the power consumption data via a current sensor implemented in this. In addition to temperature control brand MAXTHERMO whose strategy is the PID control and a brand CHINT contactor actuator system as PWM (pulse width variation).

Thus marked the beginning of the tests, which lasted approximately 2 hours using as raw material painted ceramic biscuits, to carry out the porcelain of the same.

---

* Work Degree

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. School of Mechanical Engineering. Director Engineer Omar Armando Gélves Arocha.

INTRODUCCION

En la actualidad existen en el mercado sistemas electrónicos para medición y control de temperatura. Al principio fueron todos analógicos y tenían sus limitantes en cuanto a precisión (los indicadores eran de tipo aguja y constantemente debían calibrarse). Tiempo después, con la electrónica digital, estos sistemas mejoraron. Todavía se producen sistemas analógicos, aunque en menor cantidad y variedad que los digitales.

La electrónica digital ha aportado dos dispositivos de gran versatilidad: los microcontroladores y los microprocesadores[3] (y con estos últimos, las computadoras electrónicas). En efecto, esa versatilidad abarca los sistemas de medición de temperatura; de hecho, la mayoría de ellos está basada en alguno de estos dos dispositivos. Hay un sinfín de modelos de microcontroladores y microprocesadores, cada uno con características particulares que en determinado contexto es preferible a los demás.

Con el fin de llevar a cabo de manera precisa el análisis energético del horno, monitoreando las variables importantes en el transcurso del fenómeno de calentamiento, se estructuro el trabajo realizado en tres fases, cada una con unas actividades especificas y un resultado siempre en busca de el correcto desarrollo del proyecto. En la primera fase se desarrolla todo el tema de la adecuación del horno, ya que este se encontraba en un deterioro notable. En la segunda fase se describe cada uno de los sistemas y subsistemas presentes en la etapa de control de temperatura para el horno. Finalmente la tercera fase presenta el desarrollo de las pruebas, análisis de resultados, recomendaciones.

[3] Palacios E. Remiro F.y López L. Microcontrolador PIC16f84 Desarrollo de proyectos, Alfaomega Ra-Ma, 2ª Edición, 2006.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La formación experimental de los estudiantes juega un importante papel en la educación en ingeniería. De este modo, se deben proporcionar, a través de los laboratorios, todos los recursos necesarios que permitan al estudiante poner en práctica el conocimiento que ha adquirido durante el estudio teórico de las diferentes materias. Tradicionalmente, el elemento que hace posible este aprendizaje es el laboratorio, donde el estudiante puede realizar los experimentos necesarios para conocer los instrumentos y equipos que encontrará durante su vida laboral. Por otro lado se ha observado que ingenieros titulados a menudo tienen un excelente conocimiento de los conceptos teóricos fundamentales en su disciplina, pero insuficiente experiencia en el diseño y construcción de prototipos industriales. La ingeniería mecánica en particular hace aplicaciones de análisis energéticos en la industria manufacturera, la industria automotriz, las plantas generadoras, etc. y hoy en día prácticamente todos los programas de ingeniería mecánica incluyen en su estudio lineamientos dirigidos al uso racional de la energía en pro de preservar el medio ambiente.

1.1 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Los actuales retos de la globalización del conocimiento exigen que los nuevos profesionales se enfrenten a un medio altamente competitivo en donde continuamente deben ejercer sus capacidades de análisis, evaluación y síntesis en la solución de problemas que, en la mayoría de los casos, les exige cruzar los límites de sus propios campos. En su trabajo, que desarrollan a la par con expertos de otras áreas, deben poner a prueba sus habilidades de comunicación y poseer una vasta y diversa experiencia, para llegar a propuestas creativas.

Para desarrollar suficientes y significativas competencias se requiere que el estudiante sea parte activa del proceso de descubrimiento que se da en las

actividades de investigación. Es por esto que las universidades deben propender por el trabajo interdisciplinar en todos los niveles, creando mecanismos para una formación profesional donde se pueda aprender desde la investigación.

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.2.1 Objetivos Generales

Desarrollar una herramienta pedagógica para el laboratorio de transferencia de calor aplicada, con el fin de contribuir a la formación de profesionales más idóneos, capacitados para reproducir modelos de situaciones reales, críticos de los resultados obtenidos en pro del mejoramiento de los procesos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la selección e implementación de un sistema de control que facilite la medición en el análisis energético transitorio basado en perturbaciones externas de un horno de resistencias eléctricas para el desarrollo de pruebas en el laboratorio de transferencia de calor aplicada.

- Realizar el análisis energético transitorio basado en perturbaciones externas tales como:

  - ❖ Apertura de puerta.

- Suministro de carga después de haber iniciado el proceso de calentamiento con carga inicial.

- Suministro de carga después de haber iniciado el proceso de calentamiento sin carga inicial.

  - Desde dos puntos de vista:

    - ✓ Control basado en rampa de calentamiento programada en dos etapas.

    - ✓ Control sin rampa de calentamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El laboratorio es el espacio natural donde, a través de la elaboración y seguimiento de protocolos, se puede estimular la habilidad para planear y desarrollar cualquier actividad humana. La búsqueda de evidencia experimental que se lleva a cabo en los laboratorios es una oportunidad para fomentar el aprendizaje colaborativo y establecer conexiones que permitan ver las ciencias naturales, la ingeniería y los demás campos del conocimiento como un continuo, más que un conjunto de fronteras discretas. Es claro que la naturaleza interdisciplinaria de los experimentos contribuye al interés de los estudiantes y su percepción de su aplicabilidad en la solución de problemas complejos del mundo real que son vitales para su éxito futuro.

En cuanto a esta práctica en particular, la idea de implementar un dispositivo de control para el estudio energético del horno toma gran importancia si tenemos en cuenta que la electrónica permite obtener total dominio de las variables del

proceso, con tiempos de repuesta muchos más cortos. Además en la actualidad la industria Santandereana ha optado por trascender de los procesos artesanales de producción, por procesos tecnificados con altos rendimientos energéticos y una mayor relación beneficio costo.

Un valor agregado del proyecto se ve reflejado en el hecho de que el estudiante tendrá una noción más real de lo que implica la presencia de perturbaciones externas en el proceso de calentamiento de un horno eléctrico, probando la respuesta del sistema de forma inmediata y grafica por medio del computador.

1.4 MARCO TEÓRICO

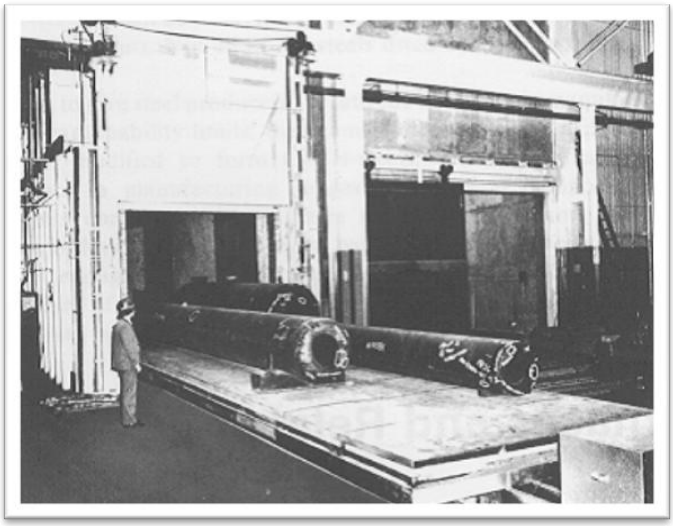
1.4.1 Hornos industriales

Existen muchos tipos de hornos para tratamientos térmicos, que varían en diseño, tamaño, fuente térmica, temperaturas de operación, modo de calentamiento, medio de transferencia de calor, modo de operación (continua o tipo batch), etc., de modo que una clasificación exacta resulta virtualmente imposible. En cuanto al tamaño varían desde pequeños modelos con capacidad de unos pocos gramos, hasta hornos de base movible que permiten calentar cientos de toneladas de una sola vez. Independientemente de su tamaño, hay hornos que pueden calentarse con combustible en forma directa, en cuyo caso la pieza a tratar queda expuesta a los gases de combustión, o indirectamente, en cuyo caso la pieza queda aislada de los gases. Además, hay hornos que se calientan por resistencia eléctrica.

1.4.2 Hornos Tipo Batch Versus Tipo Continuo

Un Horno tipo Batch se refiere a uno que se carga y se cierra para que cumpla un ciclo de calentamiento preestablecido. Después de completado el ciclo de calentamiento, la carga puede enfriarse en el horno a una velocidad determinada, o extraerse para enfriarla al aire o en un medio de temple. El horno de la figura es un horno de base corrediza con capacidad para cientos de toneladas. Las piezas a tratar se posicionan en el carro sobre riel; éste se empuja hacia el hogar del horno y se cierra una puerta deslizable para comenzar el ciclo. Una variación de este horno es el horno de base corrediza con elevador, en el cual el cuerpo del horno puede levantarse mientras se posiciona la base.

Figura 1 HORNO DE BASE CORREDIZA



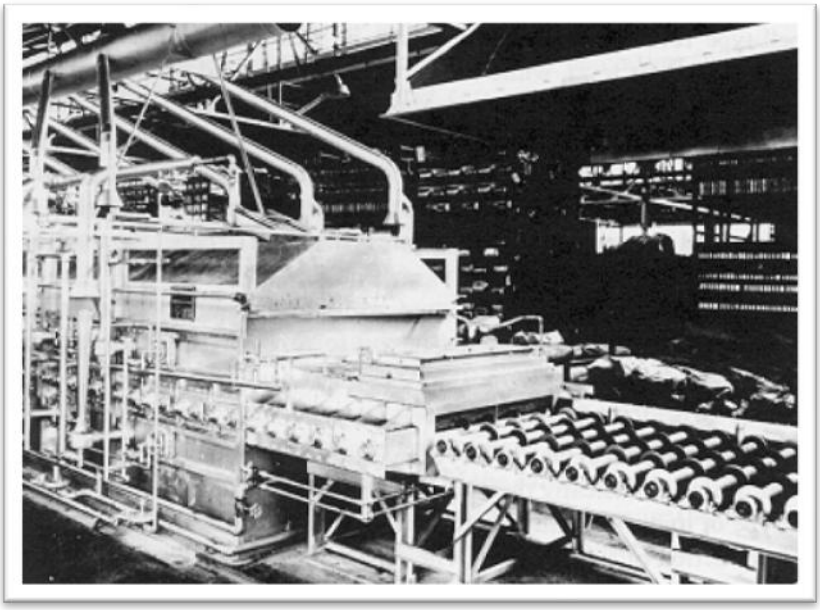
Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

Existen muchos diseños de hornos Continuos, pero básicamente todos presentan un "extremo de entrada" y un "extremo de salida". Estos hornos están pensados para una producción continua de partes similares. En general

se los diseña para manejar una amplia variedad de ciclos térmicos. La figura muestra el extremo de carga de un gran horno continuo de hogar con rodillos.

Las piezas son transportadas a través del horno por medio de rodillos. Si las piezas no son más largas que el espacio entre rodillos, se las coloca en bandejas o cestos. Los extremos de los rodillos se proyectan a través de las paredes del horno hacia apoyos externos refrigerados por agua o aire. Usualmente, los rodillos se mueven mediante un mecanismo de poleas y cadenas. Frecuentemente, los rodillos se extienden a alguna distancia de los extremos de carga y descarga. Los vestíbulos de entrada y salida están equipados con un laberinto de cortinas verticales de asbesto para ayudar a confinar la atmósfera protectora.

Figura 2 HORNO CONTINUO DE HOGAR EN EL QUE SE OBSERVA EL EXTREMO DE CARGA



Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

1.4.3 Clasificación de acuerdo al medio de transferencia de calor

Una forma de clasificar los hornos de tratamiento térmico es por el tipo de medio de transferencia empleado; esta clasificación es válida independientemente del tamaño y la mayoría de las variables comunes de los componentes del horno. Hasta hace poco, sólo se usaban dos medios de transferencia calórica: gaseoso y líquido (metal fundido o baño de sales fundidas). Ahora, los hornos de lecho fluidizado han probado ser una herramienta útil para tratamiento térmico, añadiendo un nuevo medio: el sólido.

1.4.3.1 Atmósferas Gaseosas

En muchas operaciones de tratamiento térmico se debe proveer alguna forma de protección superficial a las piezas de trabajo, para evitar su oxidación y/o descarburización (en el caso de aceros). Por ejemplo, en aceros al carbono ocurre una oxidación severa sobre los 400 °C. En general, las atmósferas de los hornos sirven uno de los siguientes requerimientos: protegen las piezas tratadas, cuyas superficies están limpias y esencialmente sin modificación respecto de su condición previa (calentamiento neutral), o permiten lograr una condición controlada de cambio superficial (por ejemplo en operaciones de endurecimiento superficial). A continuación se listan los tipos principales de atmósferas gaseosas que pueden utilizarse, en orden creciente de costo:

- Natural (aire convencional).
- Atmósferas derivadas de productos de combustión en hornos calentados directamente por combustible.
- Exotérmica (generada)

- Endotérmica (generada)
- Base nitrógeno
- Vacío
- Amoniaco disociado
- Hidrógeno seco (en tubos)
- Argón (en tubos)

1.4.3.2 Hornos de Baño Líquido

Los baños de sales fundidas se utilizan como un medio eficiente de calentar metales, principalmente aceros, aunque algunas composiciones son compatibles con metales y aleaciones no ferrosas. Las sales fundidas ofrecen varias ventajas: (1) los distintos tipos de sales ofrecen en conjunto un rango de operación de 175°C a 1260°C; (2) la superficie de las piezas queda totalmente protegida; (3) para el caso del temple, este se ve facilitado gracias a que una delgada película de sal permanece en la superficie durante la transferencia desde el horno al medio de temple; (4) Existe una amplia variedad de sales, incluyendo las que pueden cambiar la condición superficial del acero.

La desventaja principal de calentar piezas en sales fundidas es la necesidad de limpiar aquellas después del tratamiento, lo cual puede ser difícil, especialmente en piezas de geometría compleja.

Existe una variedad de sistemas de calentamiento que se utilizan para los baños de sales. El más simple, aplicable a temperaturas de 175 a 350°C, involucra a un recipiente metálico con calefactores eléctricos de inmersión,

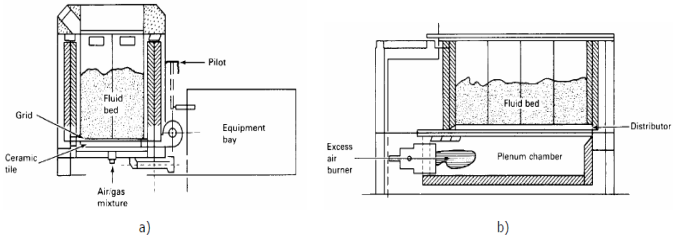
lleno de una sal de bajo punto de fusión. Para mayores temperaturas se requieren equipos más sofisticados.

Los hornos de sales se calientan por radiación y conducción. En los tipo electrodo inmerso y sumergido se añade la convección debido a la agitación generada. Por lo tanto, la velocidad de calentamiento en cualquier baño de sal es mucho mayor que en los hornos de atmósfera gaseosa.

1.4.3.3 Hornos de Lecho Fluidizado

El enfoque más reciente para calentar metales es la utilización de un lecho fluidizado. Este calentamiento se lleva a cabo en un lecho de partículas inertes, usualmente óxido de aluminio. Las partículas se encuentran suspendidas por la combustión de una mezcla combustible/aire que fluye hacia arriba a través del lecho. Los componentes se encuentran inmersos en este lecho fluidizado como si fuera un líquido y se calientan por la acción del lecho fluido caliente. Las velocidades de transferencia calórica en un lecho fluidizado son hasta diez veces superiores a las alcanzadas en hornos convencionales de calentamiento directo.

Figura 3 HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO: A) CALENTADO INTERNAMENTE Y B) CALENTADO EXTERNAMENTE

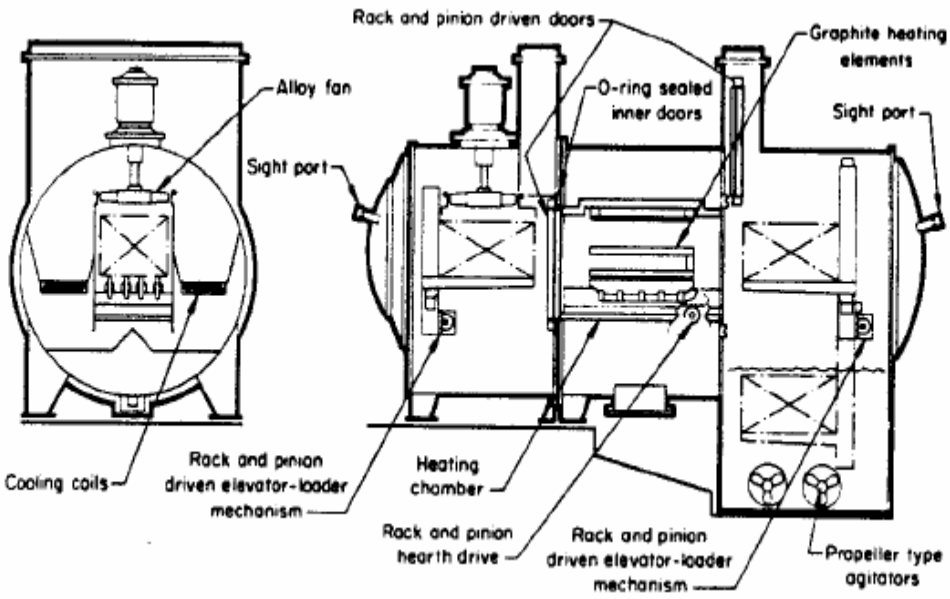


Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

1.4.3.4 Hornos de Vacío

Se ha listado previamente al vacío como una de las atmósferas gaseosas utilizables en tratamientos térmicos. Sin embargo, es válido clasificarlos en forma separada ya que mientras que, en general, los distintos tipos de hornos se pueden adaptar a una o más atmósferas, el vacío requiere de hornos específicamente diseñados para su uso, independientemente de que puedan también usar otras atmósferas, como argón, nitrógeno o hidrógeno. El nivel de vacío usado en la mayoría de los tratamientos es de aproximadamente 1/760 de una atmósfera. Bajo estas condiciones, la cantidad del aire original remanente es de aproximadamente un 0,1%. Este vacío se puede alcanzar mediante bombeo con una bomba mecánica. Cuando se requieren vacíos superiores a ese (menos del 0,1%), al bombeo mecánico lo sigue el uso de la altamente sofisticada bomba de difusión.

Figura 4 HORNO DE VACÍO DE PARED FRÍA



Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

Los hornos al vacío ofrecen un número de ventajas que incluyen su versatilidad, y ciertas economías de operación. Sus principales desventajas son el alto costo inicial del equipo y una cierta medida de preparación y habilidad del operario.

1.4.3.5 Hornos de crisol.

El horno de crisol es un equipo utilizado principalmente para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal a ser fundido se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito o carburo de silicio. Este crisol se posiciona en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero. El revestimiento refractario normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales y posee la finalidad de resistir el elevado calor existente en el interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto. El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor.

1.4.3.6 Hornos para fusión

1.4.3.6.1 Hornos eléctricos

La idea de la construcción de hornos eléctricos comenzó a tomar forma a mitad del siglo XVIII. Su utilización efectiva a escala industrial se inició solamente después de 1900, obteniéndose su máxima aceptación después de la 2ª Guerra Mundial, cuando la

energía eléctrica comenzó a disminuir de precio tornándose competitiva con los combustibles tradicionales.

- ***Ventajas:***

a) *Eficiencia:* El coeficiente de conversión de electricidad en calor es prácticamente 100%, lo que no ocurre con el uso de combustibles comunes, donde parte de la energía es consumida en el calentamiento del aire y de los gases calientes que son expulsados a la atmósfera.

b) *Limpieza:* No hay contaminación por los productos de combustión. No hay chimeneas, gases, suciedad, polvos o cenizas en hornos a resistencia o inducción.

c) *Facilidad de Control:* el control de la calidad de calor suministrado al sistema es mucho más simple y más preciso que en cualquier otra forma de calentamiento.

d) *Control de la Temperatura*: mucho más exacto.

e) *Altas Temperaturas:* facilidad de obtención de altas temperaturas imposibles de conseguir económicamente en otros hornos.

- ***Uso del Calentamiento Eléctrico***

Se utiliza calentamiento eléctrico cuando el proceso exige características especiales como:

- ✓ Altas temperaturas.
- ✓ Extrema precisión del control de las temperaturas.
- ✓ Total ausencia de contaminantes en el baño metálico.

- ***Desventajas:***

a) Alta inversión inicial

b) Necesita mano de obra calificada.

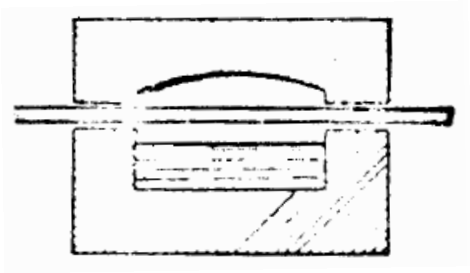
- ***Clasificación de los Hornos Eléctricos***

Los varios tipos de hornos eléctricos usados actualmente en las industrias metalúrgicas pueden clasificarse como sigue:

a) Hornos de Resistencia

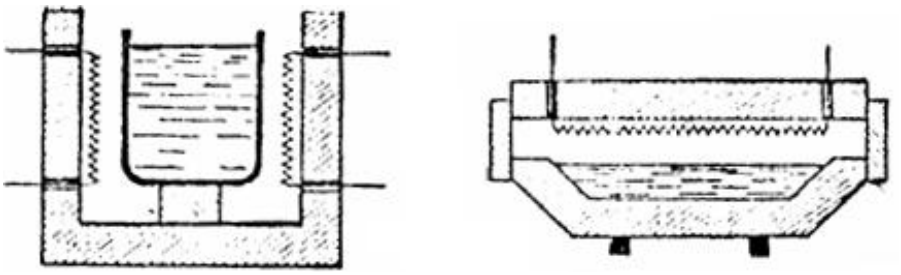
✓ Hornos de resistencia no metálica y de electrodo radiante.

Figura 5 RESISTENCIA NO METÁLICA Y DE ELECTRODO RADIANTE



✓ Hornos de resistencia metálica.

Figura 6 RESISTENCIA METÁLICA



Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

b) Hornos de Arco

- ✓ Hornos de arco directo monofásicos y trifásicos.
- ✓ Hornos de arco indirecto monofásicos.

c) Hornos de Inducción

- ✓ Hornos de inducción con núcleo magnético.
- ✓ Hornos de inducción sin núcleo magnético.

1.4.4 Hornos de Resistencia

Se definen como hornos de resistencia aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia ohmica, que puede estar constituida por la carga misma a ser calentada (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica.

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la corriente, y calentándose. Entre otras, estos hornos encuentran aplicación en la fabricación de electrodos de grafito, en el tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran

contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes.
En la figura se destacan los elementos principales de un horno de resistencia de calentamiento indirecto y el curso del flujo térmico.

Entre las aplicaciones metalúrgicas de estos hornos se encuentran la fusión y mantención de temperatura de metales (aluminio, plomo zinc, estaño, cobre, etc.) y el tratamiento térmico de metales. Los hornos indirectos se pueden clasificar en función de su utilización:

- ✓ Procesos de fusión.
- ✓ Mantención de cargas líquidas.
- ✓ Calentamiento de cargas sólidas.

Los materiales para resistencia deben poseer, entre otras características, una elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, y resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas en juego.

Las resistencias metálicas se utilizan en forma de hilos con diámetros variables de fracción de mm a unos 6 mm, comúnmente enrollados en forma helicoidal, o en forma de cintas dispuestas en zig-zag

1.4.4.1 Resistencias metálicas

El tipo de resistencia a escoger para un horno dado se halla ligado principalmente a la temperatura de trabajo de éste. Se tienen los siguientes tipos de resistencias eléctricas:

- *Aleaciones austeníticas*: Son aleaciones Ni-Cr-Fe para temperaturas de hasta 850°C, dependiendo de los contenidos de estos elementos, u 80Ni-20Cr para temperaturas de 850 a 1100°C.
- Aleaciones ferríticas. Son aleaciones Cr-Fe-Al (Supercalor, Kanthal, etc.) para temperaturas de 1100 a 1300°C.

1.4.4.2 Resistencias no metálicas

Por su parte, las resistencias no metálicas están constituidas por astas (o tubos) fijados horizontalmente entre dos paredes del horno o verticalmente entre el suelo y la cubierta.

- Tubos a base de carburo de silicio para temperaturas de hasta 1500 °C
- Silicato de molibdeno para temperaturas de hasta 1700 °C.
- Grafito y molibdeno (en pastillas, cilindros o granulados en tubos) para temperaturas de hasta 1800°C.

1.4.5 Medición de la temperatura

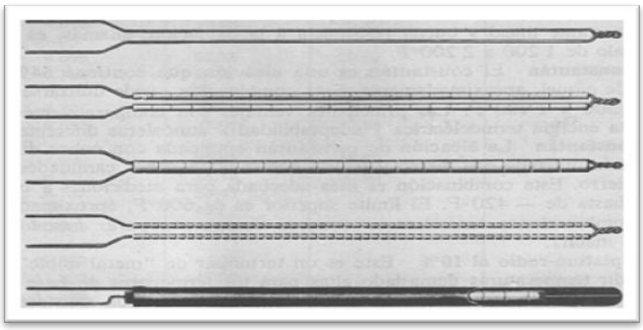
La exactitud con que midan y controlen las temperaturas determinará el éxito de la operación de algunos procesos metalúrgicos, como la fundición, la refinación y el tratamiento térmico. También tendrá un profundo efecto sobre las propiedades de resistencia de muchos metales y aleaciones. La temperatura de proceso debería controlarse dentro de ±2,5 °C. Aunque a veces es posible este apretado rango, uno más práctico es de unos ±5 °C.

Estos simples mecanismos, sin embargo, no se adecuan a temperaturas más elevadas. Los sensores utilizados para medir altas temperaturas son los termopares y los pirómetros. Como sea, ambos utilizan el mismo enfoque anterior; esto es, se mide una variable y se la convierte a otra.

En teoría, dos alambres metálicos distintos desarrollarán un fem cuando hay una diferencia de temperatura entre sus puntos de unión; sin embargo, desde el punto de vista industria, solo unas cuantas combinaciones se utilizan realmente para termopares. El primer material en la combinación siempre se conecta a la terminal positiva.

En la mayoría de los casos, los termopares se encuentran en tubos protectores, que pueden ser de cerámica o metálicos. El tubo protege el termopar contra daños mecánicos y previene la contaminación de los materiales del termopar por la atmósfera del horno. Hay disponible una variedad de tubos protectores metálicos, tales como hierro forjado o hierro fundido (hasta 1300°F), e hierro con 14% de cromo (hasta 1500°F), hierro con 28% de cromo o nicromel (hasta 2000°F). Por encima de 2000°F los tubos de protección que se usan son los de porcelana o los de carburo de silicio.

Figura 7 DIFERENTES TIPOS DE SEPARADORES DE PORCELANA



Fuente: Técnicas experimentales en metalurgia, Stella Ordoñez PDF

2 PRIMERA FASE: ADECUACIÓN DEL HORNO

2.1 ESTADO INICIAL DEL HORNO

Para describir la condición inicial del horno es necesario hacer uso del material grafico con el que se cuenta, el cual fue adquirido en el desarme del mismo. En términos generales se puede resumir así:

2.1.1 Pintura

Casi todas las caras del horno presentan oxido como resultado del deterioro de la pintura con el transcurrir de los años. Es importante resaltar que en las superficies interiores las condiciones eran críticas, ya que se encontraban completamente oxidadas.

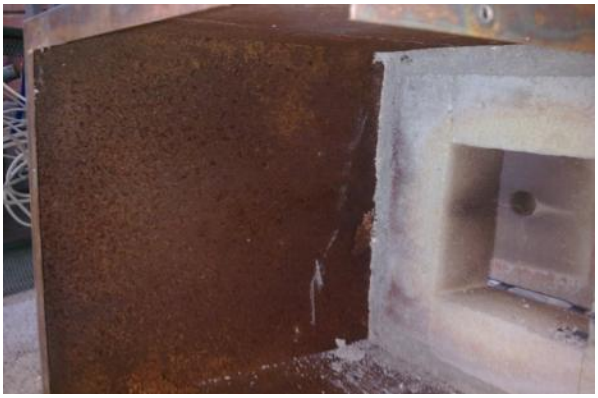
Figura 8 CONDICION EXTERNA DEL HORNO

VISTA FRONTAL Fuente : Autores

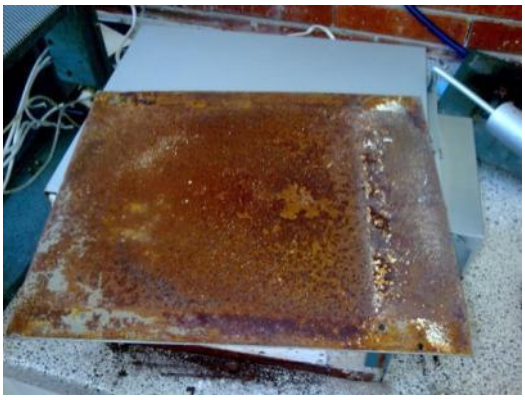
PRESENCIA DE OXIDO CARA FRONTAL **PRESENCIA DE OXIDO CARA POSTERIOR**

Fuente: Autores

Figura 9 CONDICION INTERNA DEL HORNO



TAPA SUPERIOR



PRESENCIA DE OXIDO TAPA POSTERIOR **PRESENCIA DE OXIDO TAPA LATERAL DERECHA**

Fuente: Autores

2.1.2 Aislante Térmico

En primera instancia es importante caracterizar el aislante térmico como lana mineral, la cual procede de la fundición de rocas volcánicas, haciéndolo un material de origen inorgánico. Por otro lado las condiciones del aislante térmico no difieren con respecto a la pintura, ya que el contacto directo con las superficies internas del horno permitió que el oxido se impregnara a la lana mineral, creando una especie de adhesivo entre las caras en contacto y un cambio de color en la superficie del aislante.

Figura 10 CONDICION DEL AISLANTE TERMICO

CARA DEL AISLANTE LARETAL

CARA DEL AISLANTE INFERIOR

CARA DEL AISLANTE SUPERIOR

Fuente:Autores

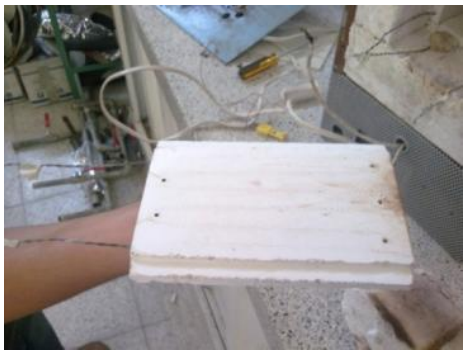
2.1.3 Resistencias de Placa Concrax

Las resistencias en términos generales no presentaban ningún tipo de imperfecto perceptible al ojo humano, pero por recomendación del fabricante no se pueden manipular después del montaje, debido a que el alambre se encuentra totalmente fragilizado por la acción del calor dentro del horno en el periodo de trabajo del mismo.

Durante el desarme del horno no se conocían estas recomendaciones, y por lo tanto, una de las resistencias de placa Concrax presento una falla en el alambre inductor, obteniendo como resultado una pérdida total de la misma, debido a que no fue posible repararla con los recursos existentes en el medio.

Figura 11 CONDICION DE LAS RESISTENCIAS

RESISTENCIA LATERAL AVERIADA



RESISTENCIA SUPERIOR

RESISTENCIA INFERIOR Y LATERAL

Fuente:Autores

2.1.4 Ladrillo Refractario

Particularmente es el único elemento del horno que se encontraba en condiciones adecuadas. Teniendo en cuenta que se debía reformar la pintura de todas las superficies del horno, se hizo indispensable extraerlo para tal fin; sin embargo, fue necesario cambiar este ladrillo y no se pudo reutilizar ya que en el proceso ejecutado, debido a su fragilidad presento grietas y en el peor de los casos rotura.

Figura 12 CONDICION DEL LADRILLO REFRACTARIO

RESTOS REFRACTARIO COMPUERTA

RESTOS LADRILLO REFRACTARIO **LADRILLO REFRACTARIO COMPUERTA**

Fuente: Autores

2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS

Con el fin de garantizar unas condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento del horno, se establecieron las pautas a seguir, empezando por la pintura hasta llegar al ensamblaje final.

2.2.1 Pintura

En primera instancia se procedió a lijar las superficies del horno, con el motivo de remover todo el oxido existente, y de esta forma minimizar el desgaste progresivo que se venía presentado; para después proceder a aplicar la pintura especial para hornos.

La pintura para alta temperatura, está compuesta a base de resinas y pigmentos especiales, los cuales permiten proteger y decorar superficies metálicas expuestas a elevadas temperaturas[4]. (Anexo 1)

Figura 13 PINTURA PARA ALTAS TEMPERATURAS[5]

(fuente: www.aerocolor.com.co)

[4] http://www.aerocolor.com.co/images/stories/pdf/Pintura_Para_Alta_Temperatura.pdf.
[5] Tomado de: http://www.aerocolor.com.co/

Cabe resaltar, que aunque no se contaba con todos los conocimientos técnicos necesarios para obtener el acabado superficial óptimo, se logra mejorar de manera satisfactoria las condiciones iniciales del horno.

2.2.2 Aislante Térmico

Con el fin de implementar la mejor opción del mercado, se dio inicio a una ardua tarea de investigación en la rama de los aislantes para hornos. Paralelamente, mientras se trabajaba en la adquisición del mismo tipo de aislante original del horno, surge la opción de implementar fibras cerámicas.

Las *fibras cerámicas* son el aislante térmico por excelencia para hornos y calderas, debido a que se pueden trabajar a más alta temperatura que la lana mineral, con el inconveniente que es un material con alto riesgo de manipulación (Anexo 2), debido a su clasificación como fibras cancerígenas de 2 categorías según la Directiva Europea 67-548[6].

Por tal motivo se encuentran restringidas las aplicaciones prácticas para el horno, ya que la manipulación de cualquier tipo de alimentos o sustancias para el posterior consumo humano está completamente vetada. Por esta razón se recurrirá a diseñar el controlador para diferentes perfiles de temperatura en metales, cerámicos, etc.

Dicha fibra cerámica fue suministrada por la empresa ERECOS S.A.[7] Una empresa Colombiana encargada de importar estas fibras al país (Anexo 3 Ficha técnica)[8].

[6] http://www.thermalceramics.com/
[7] http://www.erecos.com/
[8] http://www.erecos.com/blanket.html

Figura 14 FIBRA CERAMICA[9]

(fuente: www.erecos.com)

2.2.3 Ladrillos Refractarios

Se adquirieron simultáneamente con la fibra cerámica, ya que la empresa los fabrica en la sede central ubicada en la ciudad de Bogotá (Colombia). A continuación se presenta un catalogo con las formas, dimensiones, series y nombres que ofrece la empresa.

Las especificaciones técnicas son facilitadas por el fabricante a través de su sitio web en el internet[10] (Anexo 4).

[9] Tomado de http://www.erecos.com/blanket.html.
[10] http://www.erecos.com/

En la oferta realizada por la empresa según la solicitud presentada se encuentran dos formas que se acoplan a la ejecución del proyecto. Una de ellas es la llamada ladrillo tipo jabón, y la otra ladrillo tipo recto, los cuales dimensionalmente encajaban con precisión en el horno, obviando la necesidad de un proceso adicional de corte; sin embargo al momento de cotizar los productos, la forma jabón se fabrica sobre pedido y en una cantidad superior a 100 unidades, mientras que el ladrillo tipo recto es despachado según la cantidad requerida por el cliente.

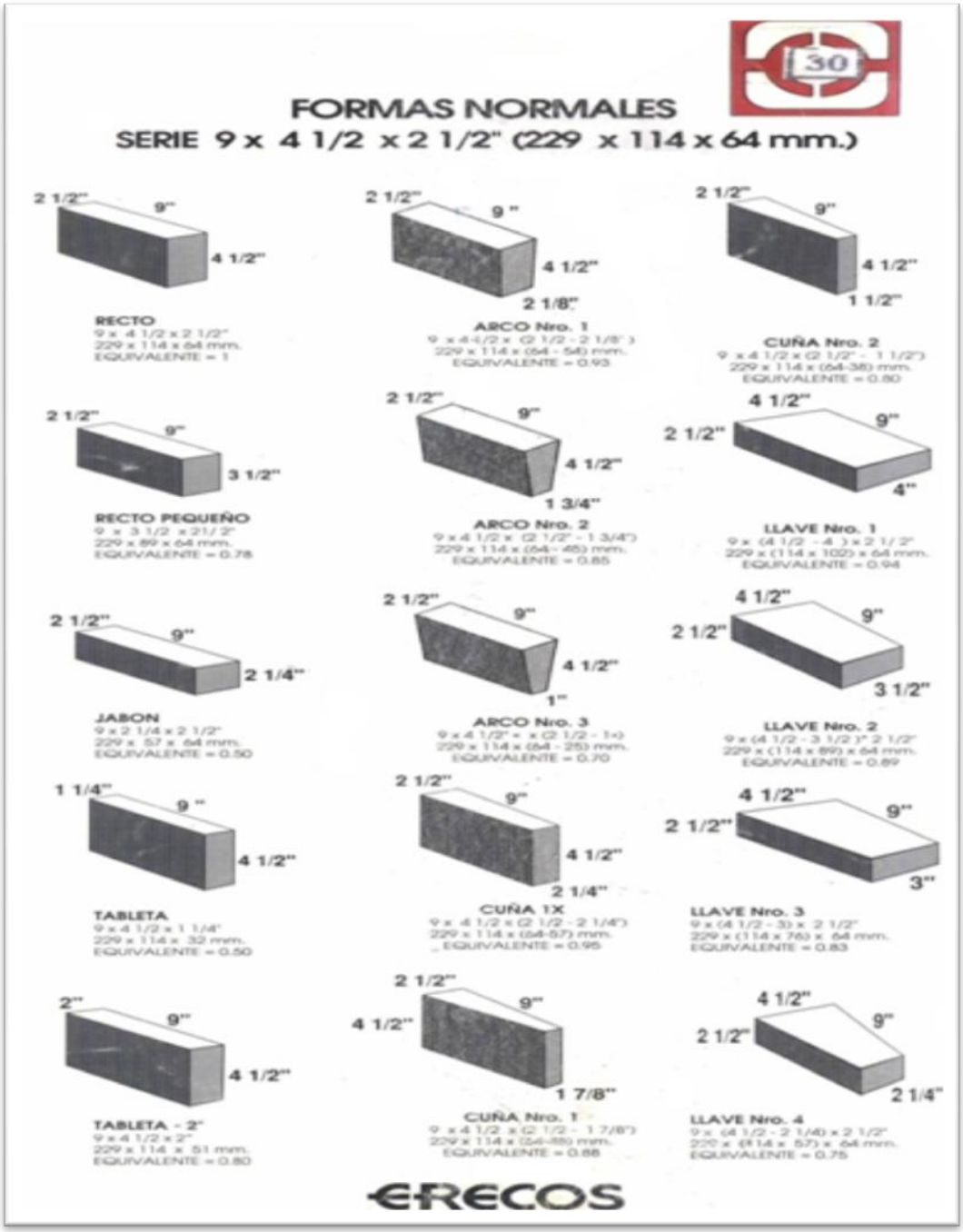
Basados en esta información se realiza una solicitud de 4 unidades de alta densidad de ladrillo tipo recto, para posteriormente cortar dos unidades en la pulidora a la mitad y obtener la forma de ladrillo tipo jabón. Con el fin de posteriormente armar la estructura interna del horno, ensamblándolos con cemento refractario [11]de características técnicas especiales (Anexo 5)[12].

Figura 15 LADRILLO FORMA JABON

Fuente:Autores

[11] http://www.erecos.com/concrax_ug.pdf
[12] http://www.erecos.com/u_32.pdf

Figura 16 FORMAS Y SERIES OFRECIDAS POR LA EMPRESA



(fuente: www.erecos.com)

2.2.4 Ensamble

En la mayoría de proyectos, el proceso de ensamble genera diferentes inconvenientes, en esta etapa del proyecto se presenta en particular algunos imprevistos como el ajuste de la compuerta, la adquisición de una resistencia eléctrica debido a que no se pudo reparar, la tediosa búsqueda de tornillos de rosca fina, y en general el sin número de veces que fue necesario pintar el horno. Al final el resultado fue el siguiente:

Figura 17 ENSAMBLE FINAL DEL HORNO

Fuente: Autores

Como aporte adicional al proyecto en ejecución y en pro de la búsqueda de mejores políticas en salud ocupacional y prevención de riesgos, se propone un manual para la correcta manipulación de cada uno de los elementos constitutivos. Además dispone de recomendaciones básicas para evitar

accidentes, prevenir lesiones y disminuir al máximo cualquier daño o rotura de alguna de sus piezas (Anexo6).

2.3 COMPARACIÓN DE COSTOS

Tabla 1 TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS LOCALES Y EXTERNOS

Bucaramanga	Fibra	70.000	100×70×1”
Bogotá		105.000	700×70×1”
Bucaramanga	Ladrillos	20.000	9”×2 1/2”×4 1/2”
Bogotá		4.520	9”×2 1/2”×4 1/2”

Fuente:Autores

Cabe resaltar como la empresa local en muchas situaciones, se aprovecha de la falta de insumos para el desarrollo de proyectos técnicos en la región, cobrando cifras con porcentajes muy altos, por encima de los establecidos por los entes reguladores de las tasas de interés para productos industriales. Permitiendo visualizar una de las razones por las que la adquisición de materia prima para la construcción de hornos es poco viable en la región.

3 SEGUNDA FASE: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA.

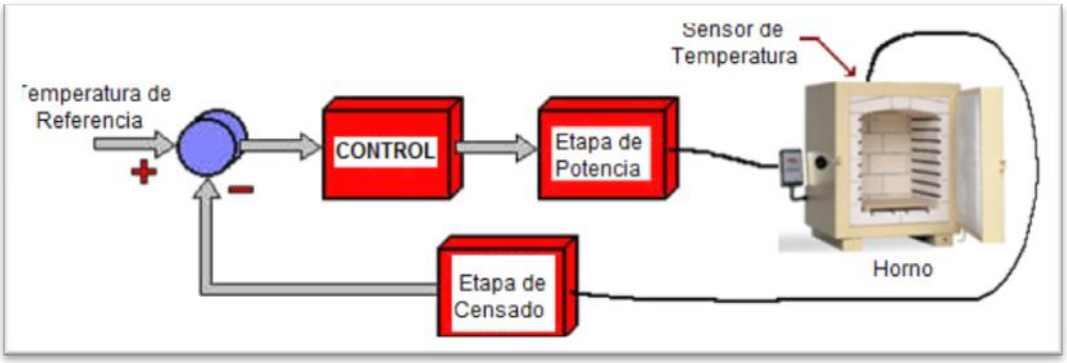
El termino planta se refiere explícitamente al entorno físico sobre el cual se lleva a cabo el estudio, y sobre el cual se pretende controlar la variable temperatura en un valor establecido para un proceso en particular. La planta materia de estudio para

este proyecto es un horno Thermolyne reparado, y cuyo monitoreo de las variables de interés arrojo los siguientes resultados:

- Horno Eléctrico Thermolyne F1500 Industrial de Mesa.
- Temperatura Máxima: 1120ºC.
- Capacidad: 136 in^3.
- Potencia: 2000 Watts.
- Voltaje: 120 Volts.
- El Calor es Generado por Cuatro Resistencias de 7.3Ω.
- Corriente: 16.7A con un pico máximo de 17A.

3.1 Esquema General del sistema.

Figura 18 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA



(fuente: aleph.cinstrum.unam.mx)

El esquema general del montaje es un diagrama simplificado del sistema de control continuo en lazo realimentado (*lazo cerrado*) de temperatura del horno. El sistema está constituido por un Control de Procesos MAXTHERMO MC-5438-101-000, una etapa de potencia realizada por medio de un contactor, un horno de resistencias eléctricas reparado, una etapa de amplificación llevada a cabo internamente en el controlador y un sensor de temperatura conocido industrialmente como termocupla tipo K.

Un sistema de control en lazo cerrado es aquel que mantiene una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control.[13]

3.1.1 Controlador.

Figura 19 CONTROL IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO

Fuente: Autores

En el mercado existe una gran variedad de marcas y tipos de controladores de temperatura, los cuales están orientados a la industria, por consecuencia cuentan con mayores funciones, ventajas y características, como son la versatilidad para manejar varios tipos de termopares, mayor rango de corriente, con interfaz para computador, pero todos con el mismo propósito mantener la temperatura en un valor deseado.

A continuación se muestran las características fundamentales del controlador implementado para el proyecto:

[13] Ogata K. Ingeniería de control Moderna, Prentice Hall, Tercera edición, 1998.

- CONTROL DE PROCESOS MAXTHERMO MC-5438-201[14].
- Microprocesador programable con doble display.
- Entrada multi-rango para T/C, PT 100, mV, mA.
- 1salida PID o auto-sintonía por Relay, SSR.
- 1salida 4 a 20mA.
- 1 salida de alarma relé con 19 modos de configuración.
- 1 programa de 8 rampas de sostenidos.
- Dimensiones 48 × 48 mm.
- Alimentación 85 a 265 VAC.
- Tipos de termopares: S, B, R, K, E, J, W, N, Cu o PT100.
- Voltaje de AC auto-rango, 85 V- 265 V. o 24VDC.
- Precisión ±0.3% + 1 digito.
- Si el sensor se rompe, el controlador automáticamente pasa a control manual.

La estrategia de control implementada está basada en el sistema operacional PID. El modo de control PID es la combinación de tres acciones de control cuyo efecto se suma. Así pues, la salida del controlador variará entre el 0% y el 100% como resultado de la combinación de las acciones Proporcional, Integral y Derivativa.

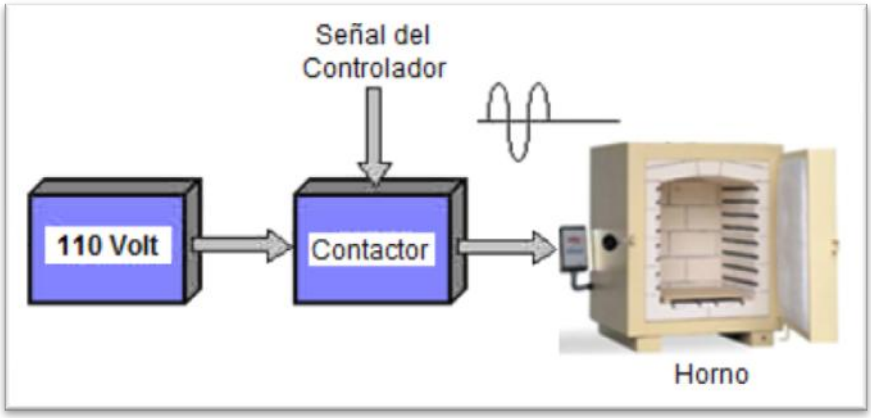
3.1.2 Etapa de potencia.

Para regular la energía entregada a las resistencias, se recurre a la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en Ingles). Dicha técnica es efectuada por un contactor NC1-1810 marca CHINT, el cual abre y cierra el circuito permitiendo o no el paso de corriente a las resistencias

[14] http://www.maxthermo.com.tw/maxthermo.html.

del horno de acuerdo a la excitación recibida. El ciclo de servicio es manipulado por la salida del controlador PID.

Figura 20 DIAGRAMA DE BLOQUES ETAPA DE POTENCIA



Fuente: Autores

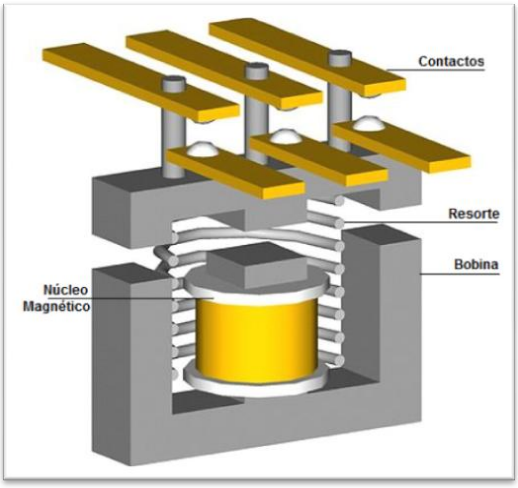
3.1.2.1 Contactor

Un contactor es un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

La energía utilizada para accionar un contactor puede ser muy diversa: mecánica, magnética, neumática, fluídrica, etc. Los contactores que se usan normalmente en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina. Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del

núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos[15].

Figura 21 ESQUEMA DEL CONTACTOR



(fuente: aleph.cinstrum.unam.mx)

3.1.2.2 Especificaciones técnicas

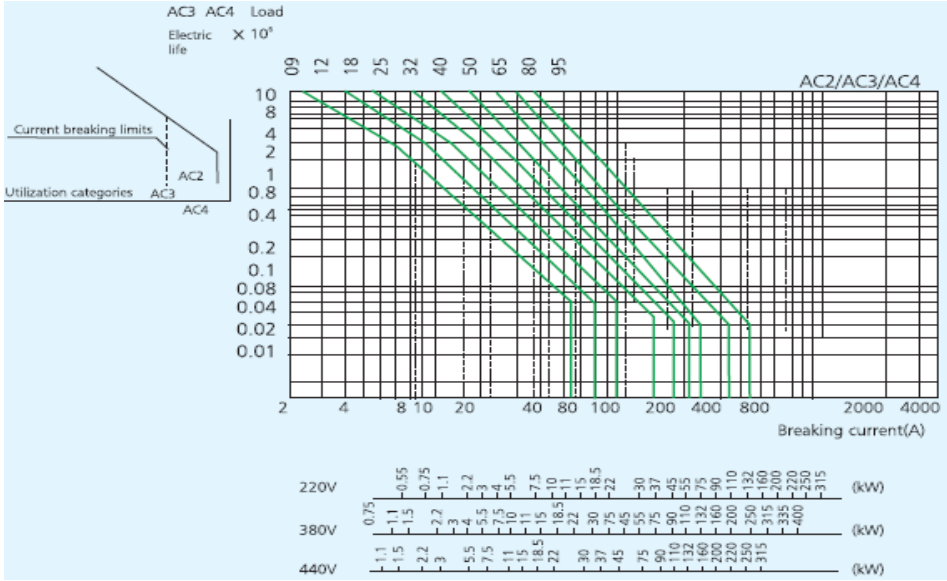
Figura 22 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTACTOR

Items \ Model			NC1-09	NC1-12	NC1-18
Rated conventional heating current (A) AC-1			20	20	32
Rated operational current (A)	380/400V	AC-3	9	12	18
		AC-4	3.5	5	7.7
	660/690V	AC-3	6.6	8.9	12
		AC-4	1.5	2	3.8
Rated insulation voltage (V)			690	690	690
Power of controlled 3-phase cage motor (AC-3)	kW	220/230V	2.2	3	4
		380/400V	4	5.5	7.5
		660/690V	5.5	7.5	10
	hp	200VAC	3	5	7.5
		240VAC	3	5	7.5
		460VAC	5	7.5	10
		600VAC	5	7.5	10
Operating frequency (operations/h)	Electric life	AC-3	1,200	1,200	1,200
		AC-4	300	300	300
	Mechanical life		3,600	3,600	3,600
Electric life (×10⁴ operations)	AC-3		1,000	1,000	1,000
	AC-4		200	200	200
Mechanical life (×10⁴ operations)			10	10	10
Matched fuse type			RT16-20	RT16-20	RT16-32

[15] http://www.quiminet.com/ar6/ar_advcarmzgt-que-son-los-contactores-de-corriente.htm

Fuente: www.chint.com

Figura 23 GRÁFICA PARA EL CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL



Fuente: www.chint.com

Figura 24 CONTACTOR NC1-1810 CHINT IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO

Fuente: www.chint.com

3.1.3 Etapa de censado.

Cuando se desea obtener información sobre parámetros físicos, es necesario introducir un nuevo elemento en el sistema que suministre un parámetro eléctrico a partir de un parámetro físico, dicho elemento es el transductor. El transductor es el primer elemento que forma un sistema general de adquisición de señales.

Un transductor es un dispositivo que es capaz de transferir energía entre dos sistemas, por ejemplo la conversión de energía térmica a energía eléctrica. Un transductor entrega un voltaje o una corriente proporcional al parámetro físico que se quiere medir. Entre los parámetros físicos se tiene: esfuerzos y deformaciones, presión, temperatura, nivel, intensidad luminosa[16].

La Tabla presenta algunos transductores, especificándose la magnitud física que mide, el principio físico en el que basa su funcionamiento. Debido a que cada tipo de transductor necesita un acondicionador de señal apropiado a sus características también se indica el circuito al que se conecta.

[16] Fernández A. Instrumentación Electrónica, Transductores, Acondicionadores de Señal y Sistemas de Adquisición de Datos, Depto. De Sistemas Electrónicos y de Control, 1990.

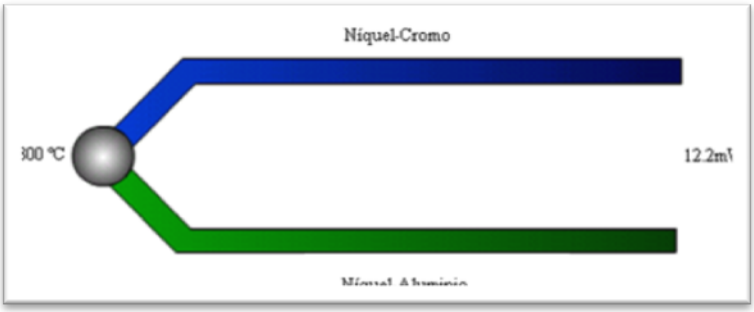
Tabla 2 PRINCIPALES TIPOS DE TRANSDUCTORES

MAGNITUD FÍSICA	TRANSDUCTOR	PRINCIPIO FÍSICO	CIRCUITO DONDE SE CONECTA EL TRANSDUCTOR
Fuerza	• Galga • Piezoresistencia	• Variación de Resistencia • Variación de Resistencia	• Puente de medida • Puente de medida
Presión	• Diafragma • LVDT	• Potenciómetro • Inductancia variable	• Excitación con voltaje continuo • Excitación con voltaje continuo
Temperatura	• Termopar • Unión PN • Detector de temperatura resistivo	• Termoeléctrico • Variación de un voltaje con la temp. • Variación de la resistencia.	• Unión de referencia • Excitación con Generador de corriente • Excitación con Generador de corriente
Intensidad de iluminación	• Fotodiodo	• Fotovoltaico	• Excitación con voltaje continuo

Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

3.1.3.1 Termocupla

Figura 25 TERMOCUPLA TIPO K



Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado centígrado son difíciles de obtener[17].

Para la selección de la Termocupla, se tuvo en cuenta que la temperatura máxima alcanzada por el horno es de aproximadamente 1120ºC, de tal manera lo ratifica un informe realizado por estudiantes del laboratorio de transferencia de calor aplicada, quienes previamente habían implementado el sistema generador de potencia.

Es importante resaltar que estos datos luego se constataron, utilizando la única Termocupla calibrada existente en el campus, y que hace parte del inventario del Departamento de Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander.

En el presente proyecto de tesis se utiliza un termopar tipo K como sensor de temperatura en el interior del horno. La *ASTME-608* recomienda los termopares tipo K para valores de temperatura inferiores a 1150 ºC con una exactitud de 2.2 ºC ó 0.75%[18].

La Tabla muestra un comparativo de diferentes tipos de termocuplas, se muestran las constituciones principales de cada aleación, su porcentaje de

[17] http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-termopares.htm.
[18] http://www.thermometricscorp.com/thersen.html
"Especificaciones para termopares" mayo 2007

error mínimo, su rango de temperatura total y su rango de aplicación, es decir el rango donde se tiene un comportamiento más estable.

La termocupla a utilizar debe ir montada en un termopozo. Un termopozo es un dispositivo de protección, son vainas o fundas hechas de un material térmico conductivo que sirve para separar el elemento sensor del medio de medición y protegerlo contra sustancias agresivas, además permite al sensor que sea fácilmente reemplazado.

Las características que debe tener el termopozo es que debe ser resistente a la temperatura, resistente a gases oxidantes y reductores, debe tener una conductividad térmica muy alta para hacer una transferencia de energía rápida, debe resistir los cambios bruscos de temperatura, los esfuerzos mecánicos y la corrosión de vapores ácidos.

Figura 26 TERMOCUPLA IMPLEMENTADA EN EL PROYECTO

TERMOCUPLA TIPO K **TERMOPOZOS**

Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

Tabla 3 PRINCIPALES TIPOS DE TERMOPARES[19]

Tipo	Material Positivo	Material negativo	Error (%)	Rango total (°C)	Rango util (°C)	Comentario
B	Pt, 30%Rh	Pt, 60%Rh	0.5%>800°C	50 a 1820	1370 a 1700	Bueno a altas temperaturas, donde no requiere compensación de unión fría
C	W, 5%Re	W, 26%Re	1% > 425°C	0 a 2315	1650 a 2315	Para uso a muy altas temperaturas, pero es quebradizo
E	Ni,10%Cr	Cu,45%Ni	0.5% o 1.7 °C	-270 a 1000	95 a 900	Para medianas y bajas temperaturas
G	W	W,26%Re	1%>425 °C	0 a 2315	-	Idéntico al tipo C
J	Fe	Cu,45%Ni	0.75% o 2.2 °C	-210 a 1200	95 a 760	Para altas temperaturas con ambientes reductores
K*	Ni, 10%Cr	Ni,2%Al 2%Mn 1%Si	0.75% o 2.2 °C	-270 a 1372	95 a 1260	Para altas temperaturas en ambientes oxidantes
M	Ni	Ni,18%Mo	0.75% o 2.2 °C	-50 a 1410	-	-
N*	Ni, 14%Cr 1.5%Si	Ni, 4.5%Si 0.1%Mg	0.75% o 2.2	-270 a 1300	650 a 1260	Relativamente nuevo remplaza al tipo K a temperaturas medianas
P	Platino II	Platino II	1%	0 a 1395	-	Mas estable pero caro substitutos para los tipo K y N
R	Pt, 13%Rh	Pt	0.25% o 1.5°C	-50 a 1768	870 a 1450	De gran presición a altas temperaturas
S	Pt, 10%Rh	Pt	0.25% o 1.5°C	-50 a 1768	980 a 1450	Idéntico al tipo R
T*	Cu	Cu, 45%Ni	0.75% o 1 °C	-270 a 400	-200 a 350	Bajas temperaturas tolerante a la humedad

(*) Tipos mas usados

(**) Marca registrada de Englehard Industries.

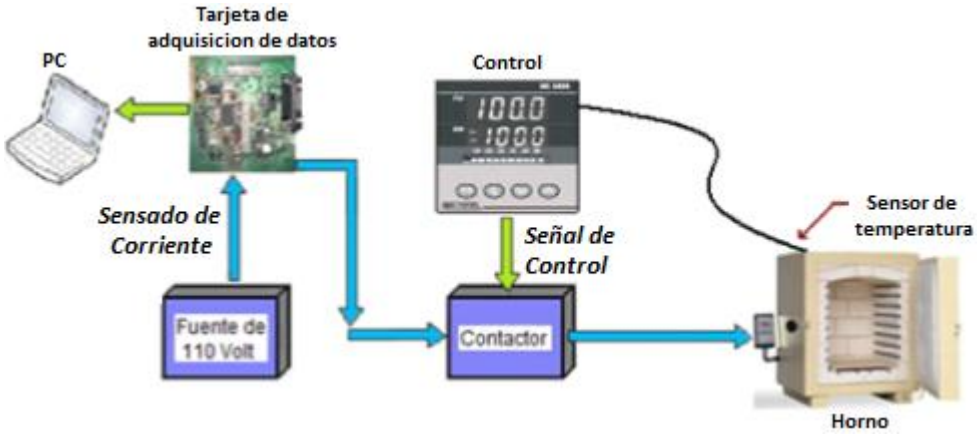
Simbologia de materiales: Al=Aluminio, Cr=Cromo, Cu=Cobre, Fe=Hierro, Mn=Manganeso Mg=Magnesio, Mo=Molibdeno, Ni=Niquel, Pt=Platino, Re=Renio, Rh=Rodio, Si=Silicio, W=Tungsteno

Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

[19] http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-termopares.htm

3.3 ESQUEMA DEL MONTAJE FINAL.

Figura 27 ESQUEMA DEL MONTAJE FINAL



Fuente: Autores

3.3.1 Sistema de adquisición de datos

Son muchos los fenómenos físicos (temperatura, humedad, presión, nivel, intensidad luminosa) donde es indispensable el tratamiento de señales que proporcionen información sobre estos parámetros. En general, este tratamiento es necesario sobre grandes cantidades de información y con una elevada velocidad de procesamiento; la computadora personal es la encargada de realizar estas tareas debido a su velocidad de procesado sobre cantidades elevadas de información. Comúnmente, los dispositivos usados para la adquisición de señales son las tarjetas de adquisición de datos, que son las que proporcionan a la PC la capacidad de adquirir y generar señales, ya sean analógicas o digitales[20].

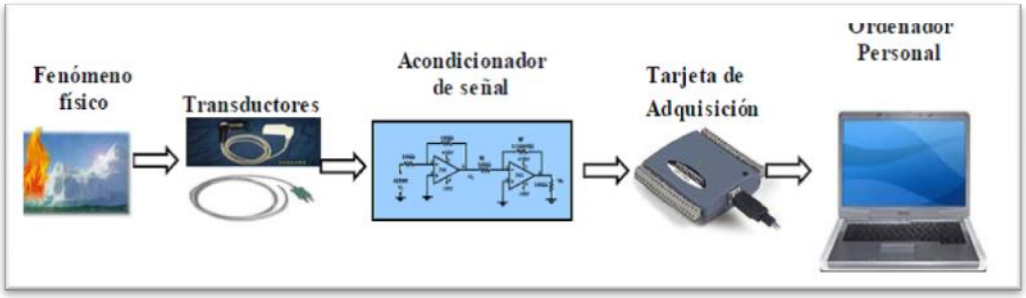
Cuando se desea obtener información sobre parámetros físicos, es necesario introducir un nuevo elemento en el sistema que suministre un

[20] Lázaro A. LabVIEW 6i, Programación Gráfica para el Control de Instrumentación, PARANINFO, Thomson Learning, 2001.

parámetro eléctrico a partir de un parámetro físico, dicho elemento es el transductor. El transductor es el primer elemento que forma un sistema general de adquisición de señales. Generalmente, las señales eléctricas generadas por los transductores no son compatibles con las características de entrada de una tarjeta de adquisición de datos. En estos casos, es necesario el uso de dispositivos de acondicionamiento de señal que realizan un pre-tratamiento de la misma.

Las funciones usuales de los acondicionadores son: amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico, incluso linealización y multiplexado.

Figura 28 CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

3.3.1.1 Tarjeta de adquisición de datos

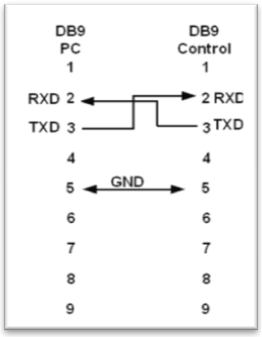
La tarjeta de adquisición de datos convierte el voltaje que recibe en sus entradas, a un valor digital. Otro parámetro importante es la velocidad de conversión, las cuales se dan en muestras por segundo. Sin embargo, para aplicaciones de medición de temperatura, no se requieren velocidades elevadas, ya que el cambio de temperatura es lento.

Las principales formas de conectar algunas tarjetas a la PC, son mediante el bus *ISA* (Industry Standard Architecture), Arquitectura Estándar Industrial o *PCI*. **(**Peripheral Component Interconnect) Interconexión de Componentes Periféricos.

Sin embargo en los últimos años, se han puesto a bajo costo, tarjetas por comunicación *USB* (Universal Serial Bus), las cuales tienen la ventaja que se conectan fácilmente a la PC, tomando la alimentación del mismo puerto, lo cual es conveniente para aplicaciones en computadoras portátiles. Entre las tarjetas de adquisición de datos, más comunes tenemos la NI USB-6008/9 y la USB-1208LS de Measurement Computing[21].

Para este caso en particular, basados en la disponibilidad de utilizar el computador portátil del laboratorio se opto por utilizar la conexión vía puerto RS232.

Figura 29 CONFIGURACIÓN DEL CABLE SERIAL

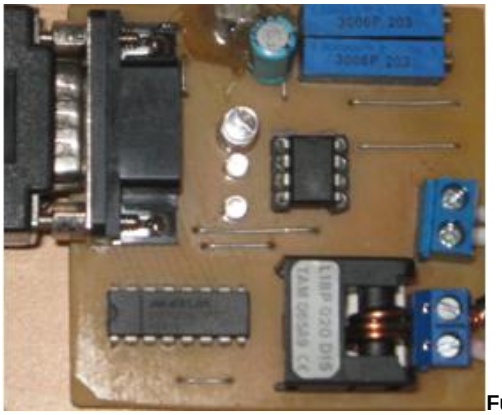


Fuente: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ENCENDIDO DE UN HORNO ELÉCTRICO PDF

[21] Measurement Computing, User`s Guide, USB-1208LS, 2003.

3.3.1.2 Especificaciones técnicas de la tarjeta de adquisición de datos

Figura 30 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS IMPLEMENTADA



Fuente: Autores

Entradas

- Rango de medida de corriente:
  - ✓ ±20A en corriente Alterna/Continua.
- Rango de medida de temperatura:
  - ✓ Entrada 4 a 20 mA (miliamperios) con ganancia variable.

Salidas

- Puerto serie RS232.
- Protocolo asíncrono.
- 8 bits, sin paridad, 9600 bps (Baudios).
- 1 bit parada, sin control de flujo.
- Formato:
  - ✓ Cabecera: “T” o “P” ascii estándar.
- Datos:
  - ✓ 4 bytes secuenciales.
  - ✓ Modos de transmisión:
    - ❖ Slave (Default), secuencial.

Consumo

- 100 mA.

3.3.2 Sistema de censado de carga

Figura 31 SENSOR DE CORRIENTE L18P020D15 BASADO EN EFECTO HALL

(fuente: www.mouser.com)

La razón fundamental para implementa la tarjeta de adquisición de datos, es su capacidad para proporcionar la corriente que entra a la planta cada 5 segundos, utilizando para ello un sensor L18P020D15 capaz de soportar 20 amperios y cuyo funcionamiento está basado en el efecto hall.

Esta tarjeta fue desarrollada por el actual director del grupo de investigación ERA (Electrónica Recreativa y Avanzada), perteneciente a la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

La razón de implementar esta opción en el sistema no es otra que la de llevar un monitoreo continuo de la potencia de entrada al horno, y de esta manera establecer el parámetro mas importante en el ejercicio de realizar el análisis energético, el consumo.

Como es sabido en todo proceso de evaluación de proyectos, tener conocimiento y control de los recursos necesarios para un proceso en particular, genera al interior de la organización la confianza de poder exponer sus ideas en términos de eficiencia.

3.3.2.1 Efecto Hall

Un sensor de efecto Hall se vale del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes.

Si por un sensor Hall circula corriente y se lo coloca en un campo magnético, aparece un voltaje proporcional al producto entre la corriente y la intensidad de la componente normal del campo magnético respecto del sensor.

Si se conoce el valor de la corriente, se puede calcular la intensidad del campo magnético. A la vez, si se crea un campo magnético por medio de una corriente que circula por una bobina o un conductor, se puede practicar el experimento inverso de la determinación de la corriente mediante la medición del campo magnético con el sensor[22].

[22] Javier I. Atorino, Luciano P. Bortolín, Ezequiel Rodríguez, Rubén O. Farías, Eduardo E. Rodríguez. Experimentos con un sensor de efecto Hall.

3.3.2.2 Características

- Tipo laso abierto.
- Montado sobre tarjeta de circuito impreso.
- Integrado primario.
- Voltaje de salida.
- Versión de 40A a 60A.
- Cubierta en plástico aislante UL94V0.

3.3.2.3 Ventajas

- Excelente precisión y linealidad.
- Rango amplio de corriente nominal.
- Baja acumulación de temperatura.
- Amplia frecuencia de banda ancha.
- Alta inmunidad a interferencias externas.
- Tiempo optimo de respuesta.
- Capacidad de sobrecargas de corriente.

3.3.2.4 Rendimiento eléctrico.

Figura 32 CARACTERISTICAS DEL SENSOR EN FRECUENCIA

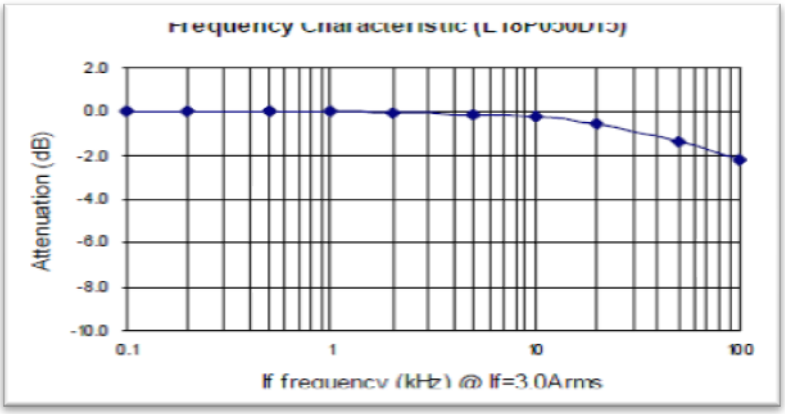
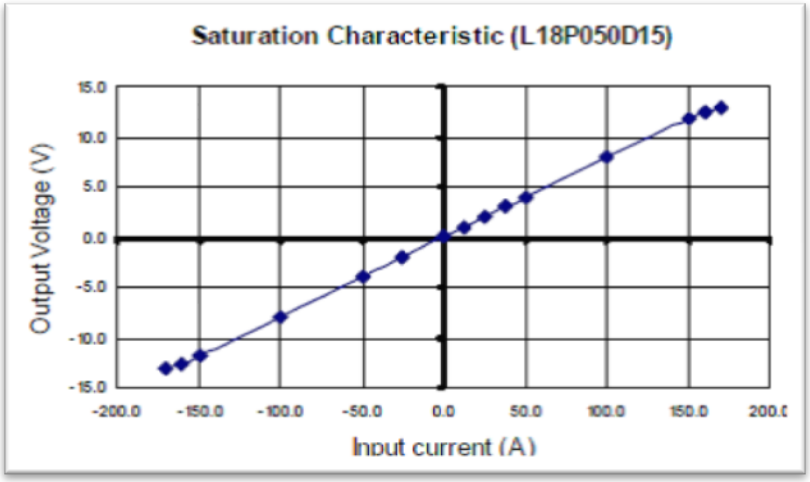


Figura 33 LINEALIDAD DEL SENSOR



(fuente: www.mouser.com)

Tal y como se puede apreciar en la grafica anterior, el comportamiento del sensor L18P020D15, es lineal en el rango de corriente al que trabaja el horno eléctrico, que es un valor aproximado de 16.7A con un pico máximo de 17A. Brindando de esta manera un alto grado de confiabilidad en la medida hecha. Este sensor fue importado de EEUU gracias a la colaboración del grupo de investigación ERA.

3.3.2.5 Especificaciones

Tabla 4 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SENSOR DE CORRIENTE

Specifications T_A=25ºC, V_{CC}=±15V, R_L=10kΩ

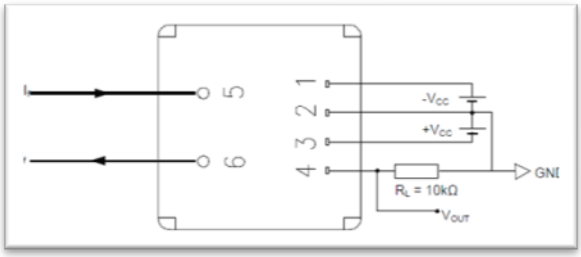
Parameters	Symbol	L18P003 D15	L18P005 D15	L18P010 D15	L18P015 D15	L18P020 D15	L18P025 D15	L18P030 D15	L18P040 D15	L18P050 D15	L18P060 D15
Rated current	I_f	±3A	±5A	±10A	±15A	±20A	±25A	±30A	±40A	±50A	±60A
Maximum Current	I_{fmax}	±9A	±15A	±30A	±45A	±60A	±75A	±90A	±120A	±150A	±180A
Output Voltage	V_{OUT}	±4V ±0.040V @ ±I_f							±4V ±0.050V @ ±I_f		
Offset Voltage	V_{OE}	0V ±0.040V @ I_f = 0A							0V ±0.050V @ I_f = 0A		
Accuracy[1]	X	± 1% @ I_f									
Output Linearity[1]	ε_L	≤ ±1% @ I_f									
Power Supply	V_{CC}	±15V ±5%									
Consumption Current	I_C	≤15mA									
Response Time	t_r	≤ 5µs (@ di/dt = 10A / 5µs)									
Output Temperature Characteristic[1]	TCV_{OUT}	≤ ±2.0mV/ ºC									
Offset Temperature Characteristic	TCV_{OE}	≤ ±1.5mV/ ºC									
Hysteresis error	V_{OH}	≤25mV (0A ⇨ I_f)							≤40mV (0A ⇨ I_f)		
Withstand Voltage	V_d	AC3000V for 1minute (sensing current 0.5mA), inside of aperture ⇨ terminal									
Insulation Resistance	R_{IS}	> 500MΩ (500V DC), inside of aperture ⇨ terminal									
Frequency Bandwidth[2]	f	DC .. 50kHz									
Operating Temperature	T_A	-20ºC~+85ºC									
Storage Temperature	T_S	-20ºC~+85ºC									

1 Without offset 2 Small signal only to avoid excessive heating of magnetic core

(fuente: www.mouser.com)

3.3.2.6 Diagrama de conexión eléctrico

Figura 34 DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELECTRICO



(fuente: www.mouser.com)

Identificación de los terminales.

1: $-V_{cc}$

2: GND

3: $+V_{cc}$

4: Salida

5: Entrada principal de corriente (+)

6: Entrada principal de corriente (-)

3.3.3 Sintonización del control

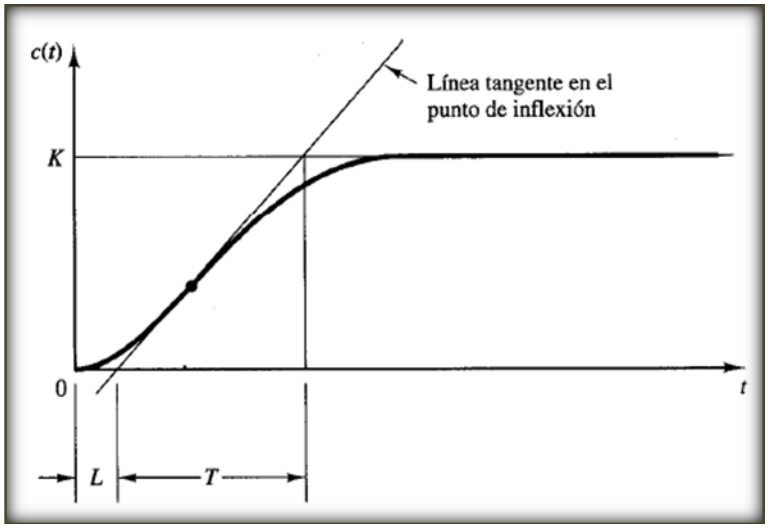
Para Caracterizar una planta específica cuya función de transferencia no se conoce o donde los modelos matemáticos brindan una aproximación muy burda, se recurre a los enfoques experimentales o reglas de Ziegler-Nichols para llevar a cabo la sintonización del PID, lo cual significa establecer los valores K_p ,T_i, T_d. El método que se uso fue el de respuesta escalón de la planta, el cual da una curva en forma de s, y los valores de L (tiempo de retardo) y T (constante de tiempo), que posteriormente se usaran en las reglas de sintonización mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 5 REGLA DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER-NICHOLS

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente:Autores

Figura 35 CURVA DE RESPUESTA EN FORMA DE S

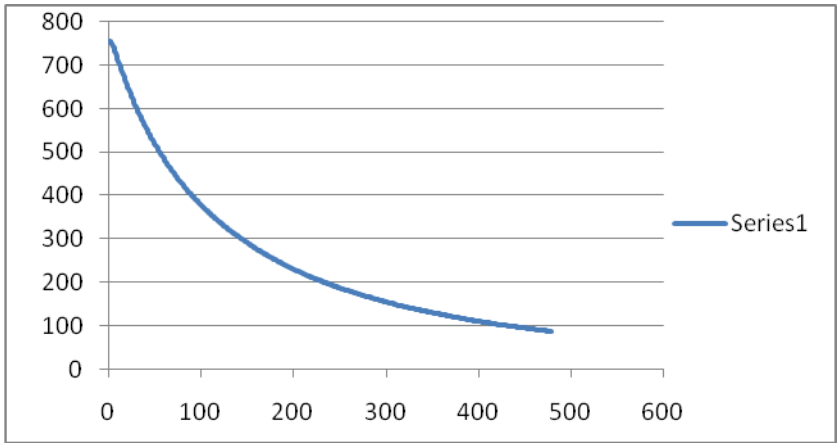


(fuente: ingeniería de control moderna - ogata)

A continuación se presenta una breve explicación de la implementación del método para el caso en estudio (horno de resistencias eléctricas):

1. En primera instancia el horno fue calentado hasta una temperatura estable de 755 aproximadamente, proceso que tomo un tiempo de 40 minutos.
2. A continuación la planta fue apagada.
3. Se monitorearon los datos hasta que la temperatura llego a un equilibrio con la ambiente.
4. Con estos datos se obtuvo la grafica en forma de s, donde se obtuvo el valor de 3 para L y 119 para T de forma manual.
5. Finalmente con estos valores se calcularon las constantes, con las que se iniciaron las pruebas, con fin de evaluar su precisión en el control.

Figura 36 CURVA DE SINTONIZACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO



Fuente:Autores

Tabla 6 VALORES DE LAS CONSTANTES DEL CONTROL PID DEL HORNO

CONTROLADOR	K_p	$T_i\ [min]$	$T_d\ [min]$
PID	47.6	6	1.5

Fuente: Autores

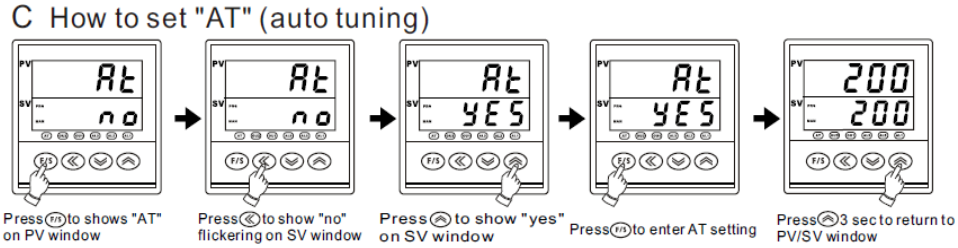
Aunque el método experimental de Ziegler-Nichols brinda el valor de las constantes de forma sencilla, al momento de implementarlas en el micro, la precisión en el control de la temperatura no es la más indicada, y la fluctuación del estado estable se origino en 735 grados, cuando el control debería oscilar en los 750. Para corregir este imprevisto se procedió a dejar constante el valor de P, con el fin de variar T_i y T_d y así llegar al valor deseado. Este procedimiento se repitió durante 4 veces sin obtener resultados satisfactorios.

3.3.4 Sintonización del control utilizando el controlador

Con el fin de obtener los valores finales de las constantes para la sintonización del PID e iniciar la fase de pruebas, el microcontrolador se

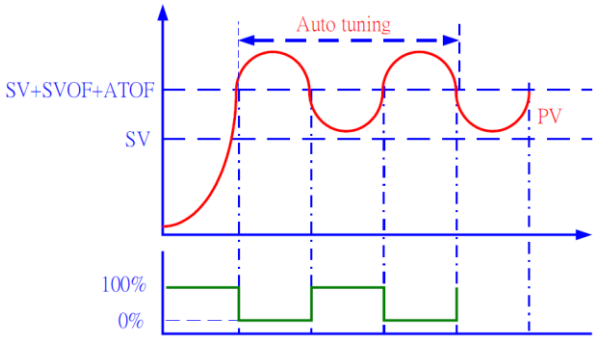
inicio en la función Auto tuning, donde el mismo micro calcula las constantes durante el proceso de calentamiento obteniendo una temperatura fluctuante en 747.7 ± 0.3.

Figura 37 CONFIGURACION DEL MICRO PARA INICIAR AUTO TUNING



(fuente: Maxthermo temperature PID controllers 5438 operation manual)

Figura 38 PID AUTO TUNING



(fuente: Maxthermo temperature PID controllers 5438 operation manual)

Convenciones:

SV: Valor de referencia.

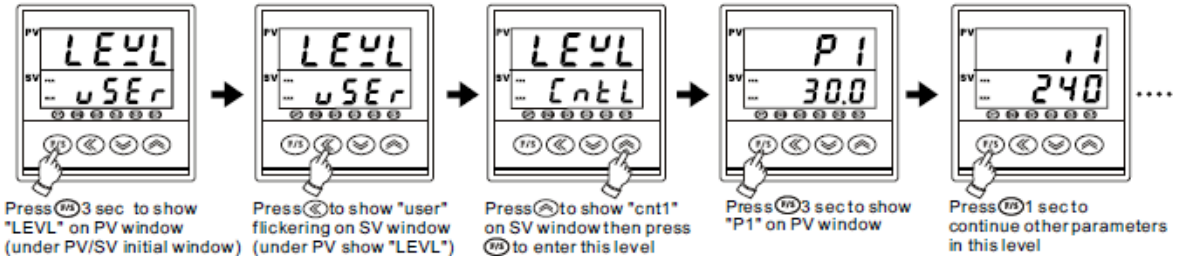
PV: Valor Medido.

SVOF: Valor ajustable cuando SV no es igual a PV.

ATOF: Compensador del Auto Tuning.

Después de ejecutar el proceso, en el display del micro se pueden visualizar el valor de las constantes, siguiendo el siguiente protocolo:

Figura 39 PROTOCOLO PARA VISUALIZAR LAS CONTANTES DE SINTONIZACIÒN



(fuente: Maxthermo temperature PID controllers 5438 operation manual)

Tabla 7 VALORES FINALES DE LAS CONSTANTES DEL CONTROL PID HORNO

CONTROLADOR	K_p	$T_i\ [min]$	$T_d\ [min]$
PID	8.1	150	37

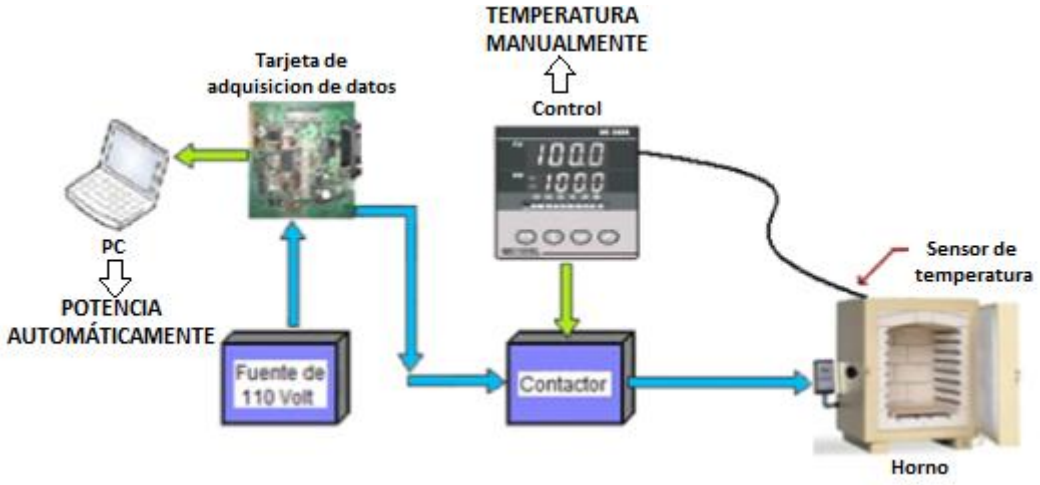
Fuente: Autores

4 TERCERA FASE: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 TOMA DE DATOS

Para este estudio en particular se llevaron a cabo 8 experiencias en los escenarios que se nombran a continuación, utilizando el programa Hyperterminal en la visualización del dato de potencia proveniente de la tarjeta de adquisición, mientras que la temperatura fue tomada de forma manual de la pantalla del control. Las pruebas se ejecutaron siguiendo el siguiente protocolo:

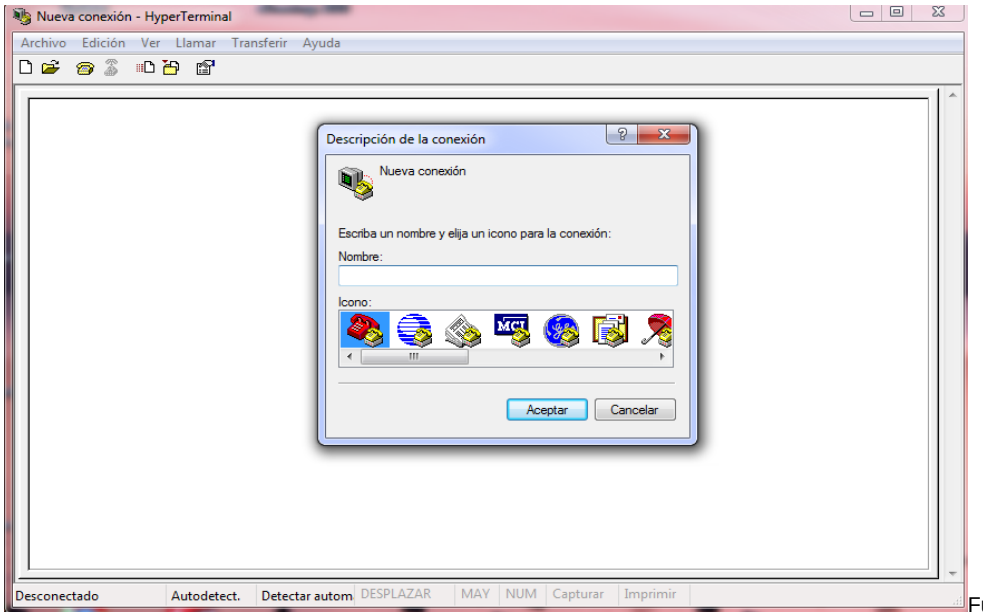
Figura 40 DIAGRAMA DE LA TOMA DE DATOS



Fuente:Autores

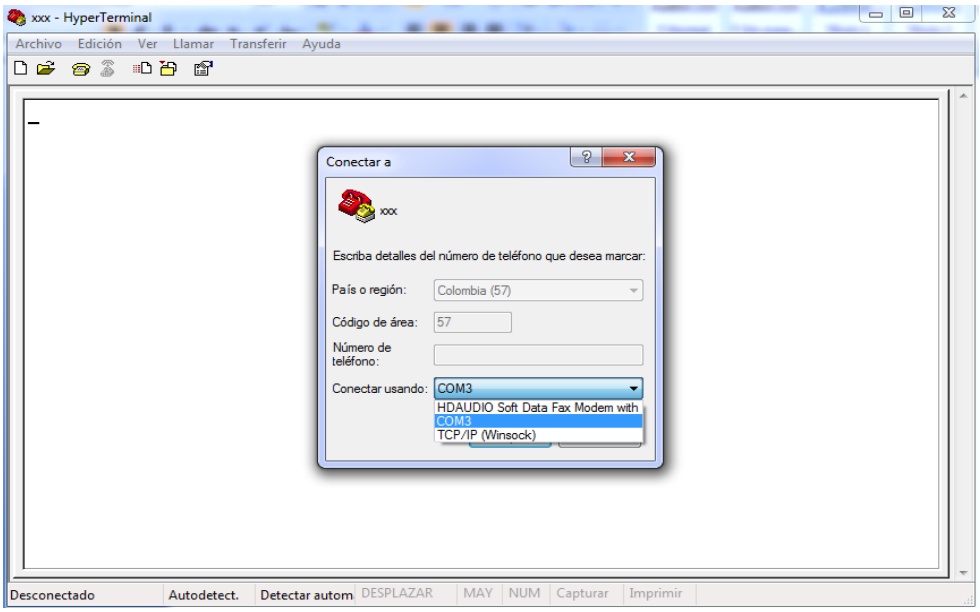
1. Encendido del sistema.
2. Conexión del puerto RS232 al computador.
3. Apertura del programa hyperterminal, configurándolo como se muestra a continuación:

- Agregue un nombre al archivo



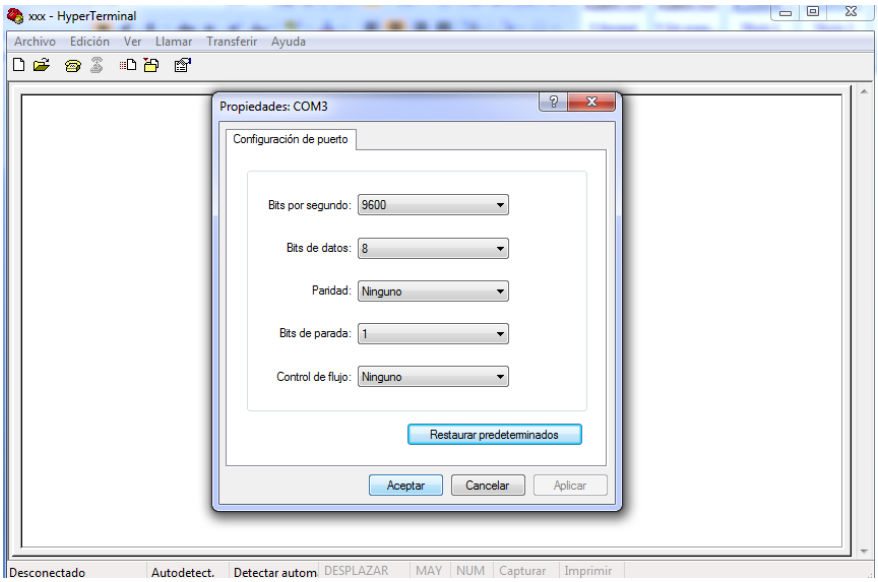
Fuente:Autores

- Seleccione el puerto por el cual desea adquirir los datos



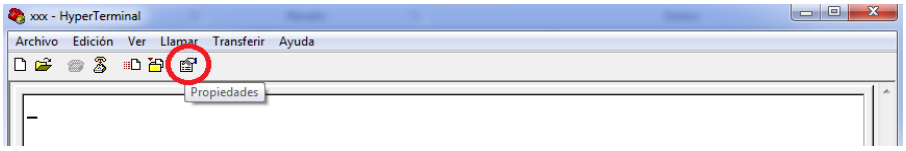
Fuente:Autores

- Seleccione: *Restaurar predeterminados*



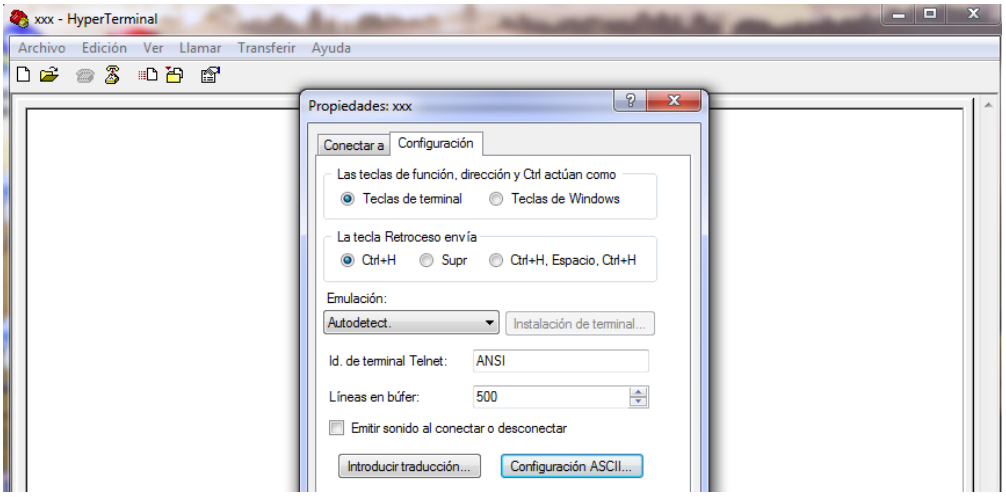
Fuente:Autores

- Seleccione el icono de: *propiedades*



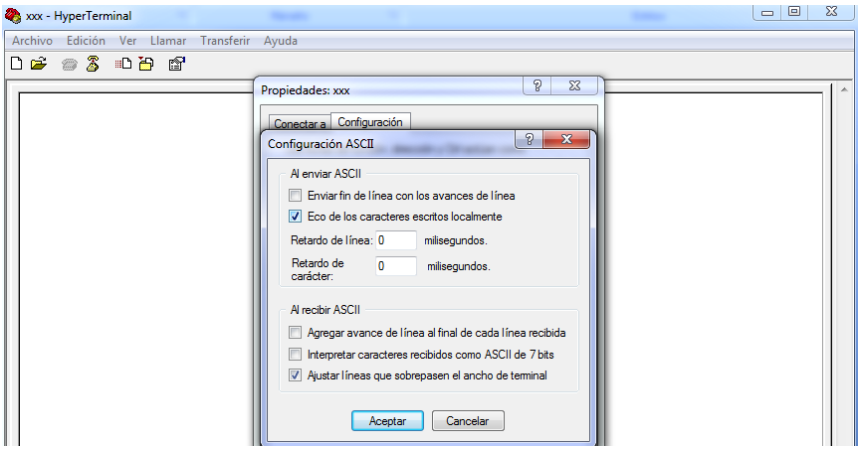
Fuente:Autores

- Seleccione: *configuración ASCII*



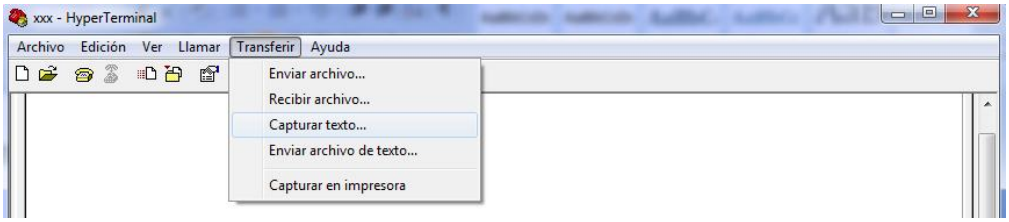
Fuente:Autores

- Seleccione: *Eco de los caracteres escritos localmente*



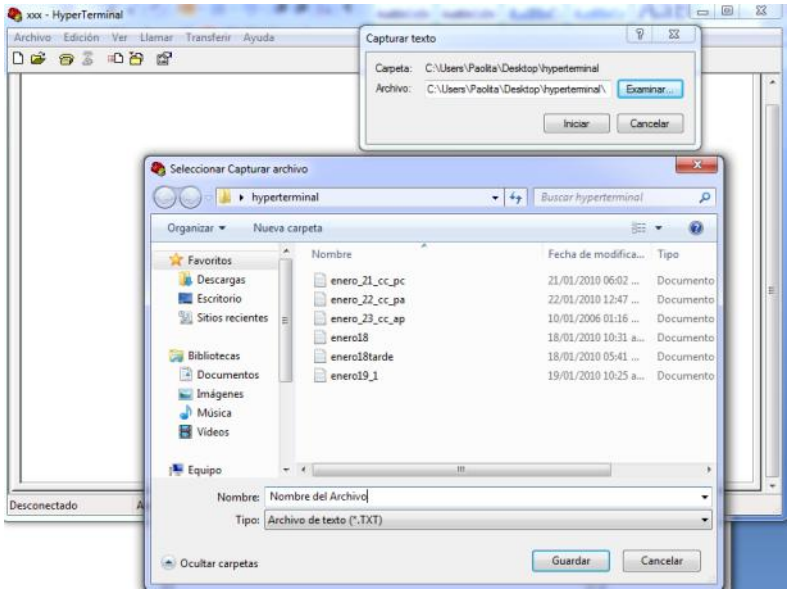
Fuente:Autores

- Seleccione *transferir* y luego *capturar texto*



Fuente:Autores

- Seleccione *Examinar* y agregue un nombre al archivo



Fuente:Autores

- Finalmente seleccione el icono *llamar* para iniciar la transmisión

Fuente:Autores

Para manejar el protocolo de comunicación escriba en la pantalla la letra A (mayúscula), para activar el modo automático. Si quiere que la transmisión sea manual introduzca la palabra M (mayúscula), y de esta manera obtendrá el valor de la variable que seleccione, P para potencia y T para temperatura.

4. Para iniciar el proceso de calentamiento se tienen dos opciones, en primera medida se puede programar una rampa de calentamiento en el micro, o introducir el valor de la temperatura de referencia, la cual el controlador mantendrá constante hasta que el operario lo desee.
5. Toma de datos manualmente de la temperatura en Excel.
6. La perturbaciones durante el proceso de calentamiento para algunos escenarios fueron:
    - Apertura de puerta cada 10 minutos durante lapsos de 2 minutos.
    - Carga inicial de 50% de la capacidad total de la planta, con adición del 50% restante después de haber transcurrido 75 minutos del inicio del proceso.
    - Adición de carga en dos cochadas sin carga inicial:
        - ❖ Adición del 50% de la carga después de haber transcurrido 50 minutos del inicio del proceso.
        - ❖ Adición del 50% de la carga restante, después de haber transcurrido 100 minutos del inicio del proceso.
7. La duración total de la prueba fue de 2 horas y 10 minutos.

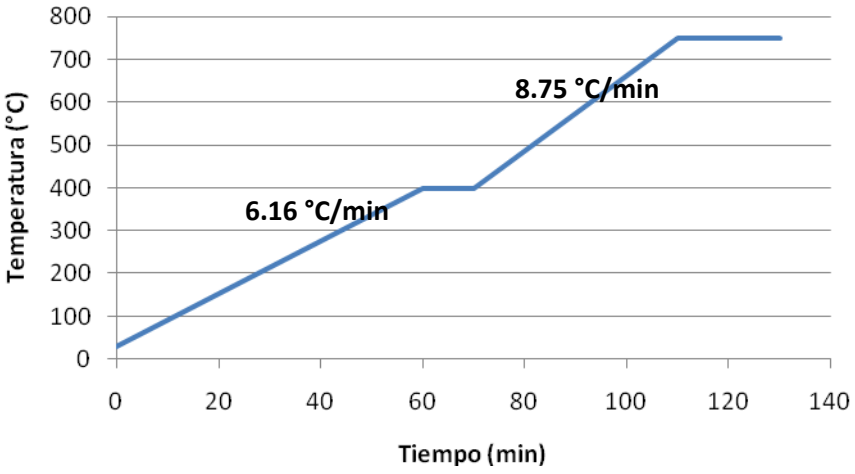
Nota: Hyperterminal es una aplicación de Windows, que se encuentra en accesorios como una herramienta de comunicación de datos.

4.2 ESCENARIOS DE PRUEBAS.

4.2.1 Primer escenario: Calentamiento por rampa en dos etapas

Las pruebas en este caso son regidas por la programación en el control de un calentamiento por rampa en 2 etapas. La primera etapa incrementa la temperatura desde la ambiente hasta 400ºC en un lapso de 1 hora, manteniéndola constante durante 10 minutos. A continuación ejecuta la segunda etapa que va desde 400ºC hasta 750ºC en un lapso de 40 minutos, manteniéndola constante 20 minutos como se muestra a continuación.

Figura 41 RAMPA DE CALENTAMIENTO



Fuente:Autores

Para programar la rampa de calentamiento, se debe seguir el siguiente protocolo:

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Mantener presionado durante 3 seg. | Presione para activar el SV y vaya ajustando cada digito. | Mantenga presionado para ir a inicio. | Pantalla de inicio

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para activar SV. | Busque el parámetro Out. | Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para pasar al siguiente item. | Ajústelo en 9 y vaya a inicio.

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Mantener presionado durante 3 seg. | Presione para activar SV. | Mantenga presionado para ir a inicio. | Pantalla de inicio

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para activar SV. | Busque el parámetro Prog | Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para pasar al siguiente item. | Presione para pasar al siguiente item.

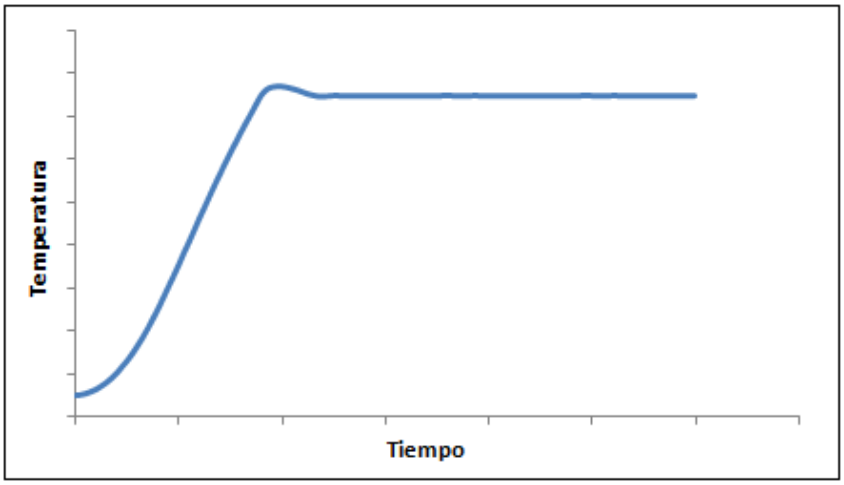
Fuente:Autores

Fuente:Autores

4.2.2 Segundo escenario: Calentamiento a temperatura de referencia constante.

En este caso el calentamiento ya no se basa en una rampa, si no en el suministro de la potencia total al sistema hasta que este alcance la temperatura de trabajo equivalente a 750ºC, en un tiempo que depende directamente de las características de la planta y que para este caso en particular fue de 40 min. La siguiente figura muestra el comportamiento de la planta cuando esta es excitada por la potencia total hasta que alcanza la temperatura de referencia, la cual debe mantener en un valor aproximadamente constante durante el tiempo restante del proceso.

Figura 42 COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA



Fuente:Autores

Para programar el control con el fin de que lleve un calentamiento con temperatura de referencia constante, se debe seguir el siguiente protocolo:

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Mantener presionado durante 3 seg. | Presione para activar SV. | Mantenga presionado para ir a inicio. | Pantalla de inicio

Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para activar SV. | Busque el parámetro Out. | Mantener presionado F/S durante 3seg. | Presione para pasar al siguiente item. | Ajústelo en 5 y vaya a inicio.

Presione para activar SV.

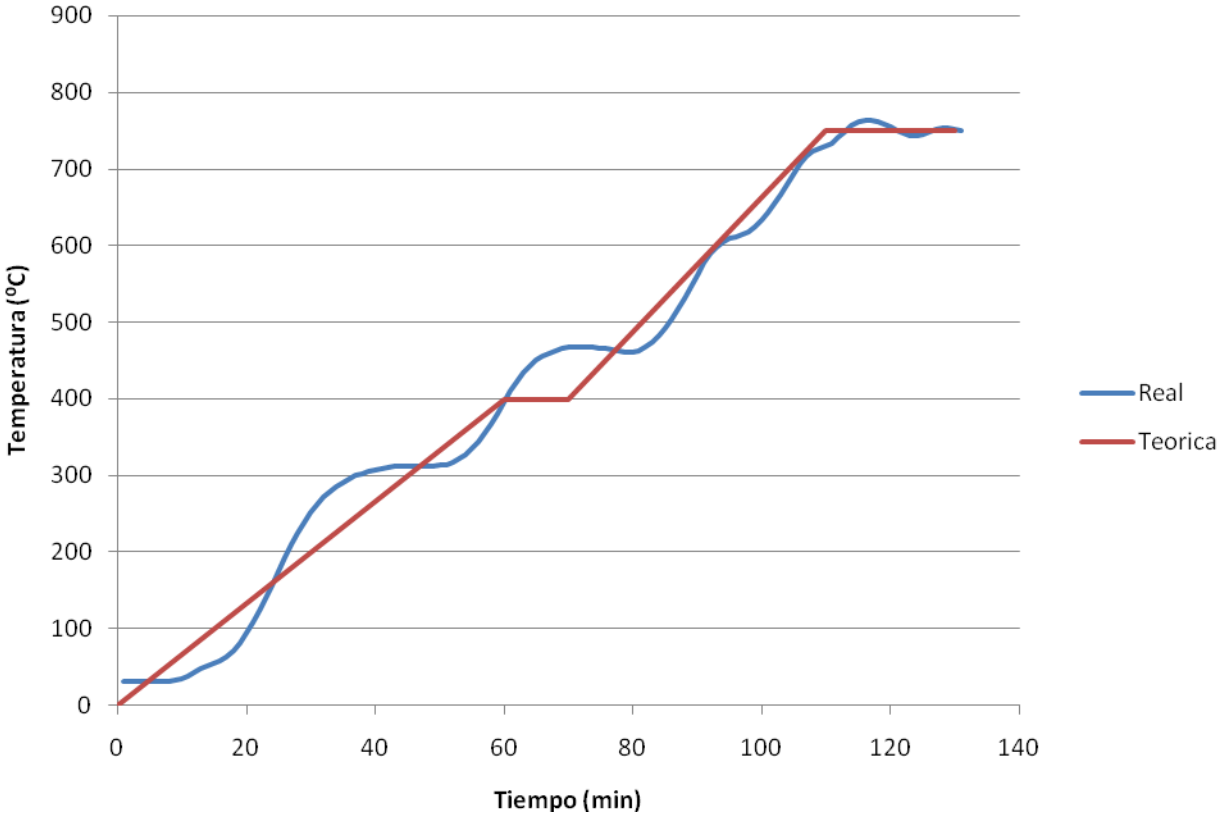
Ajuste la temperatura de referencia y presione F/s para activar

Fuente:Autores

4.3 RESULTADO DE LAS PRUEBAS

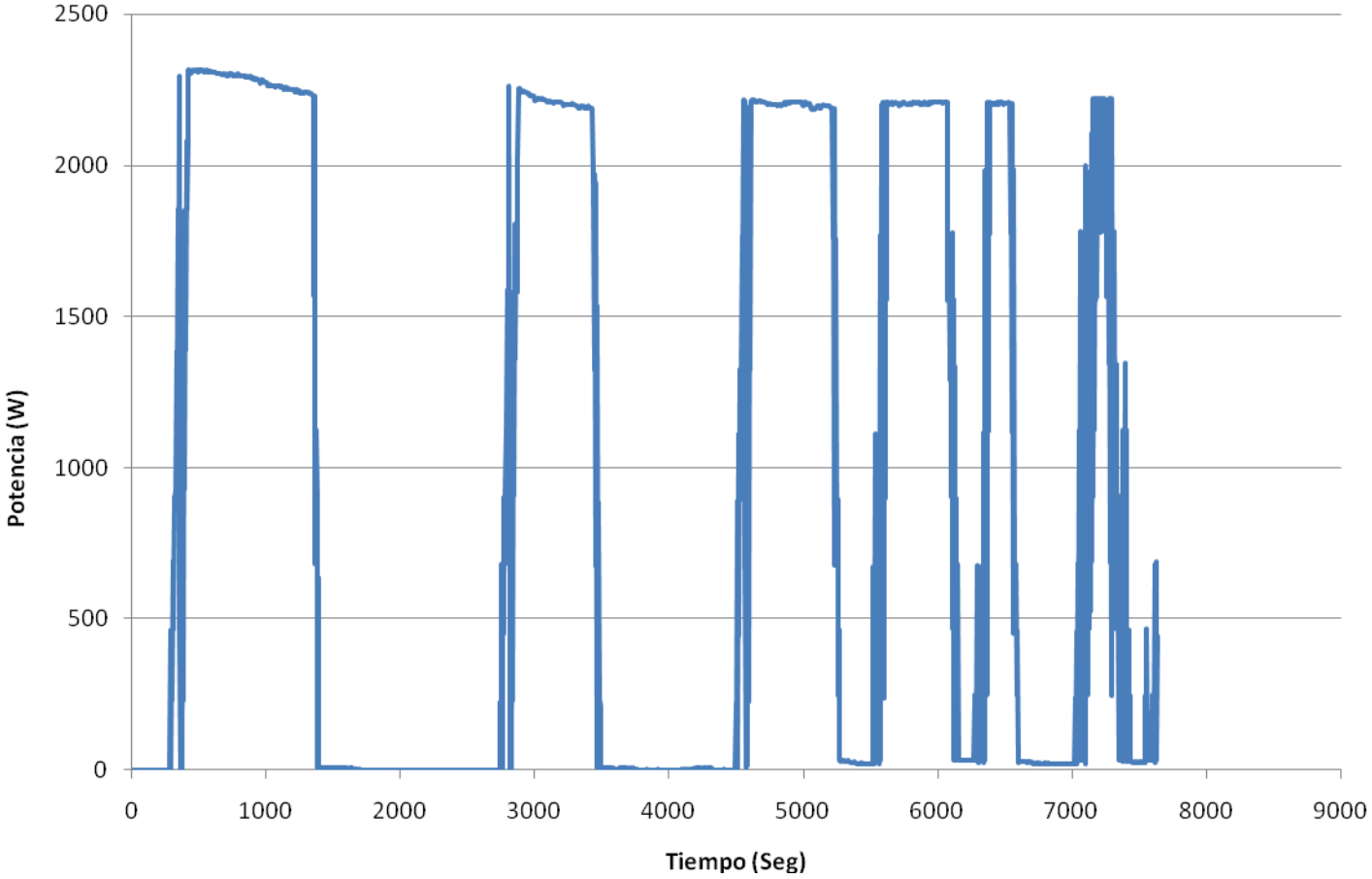
4.3.1 Calentamiento programando en rampa

Figura 43 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES



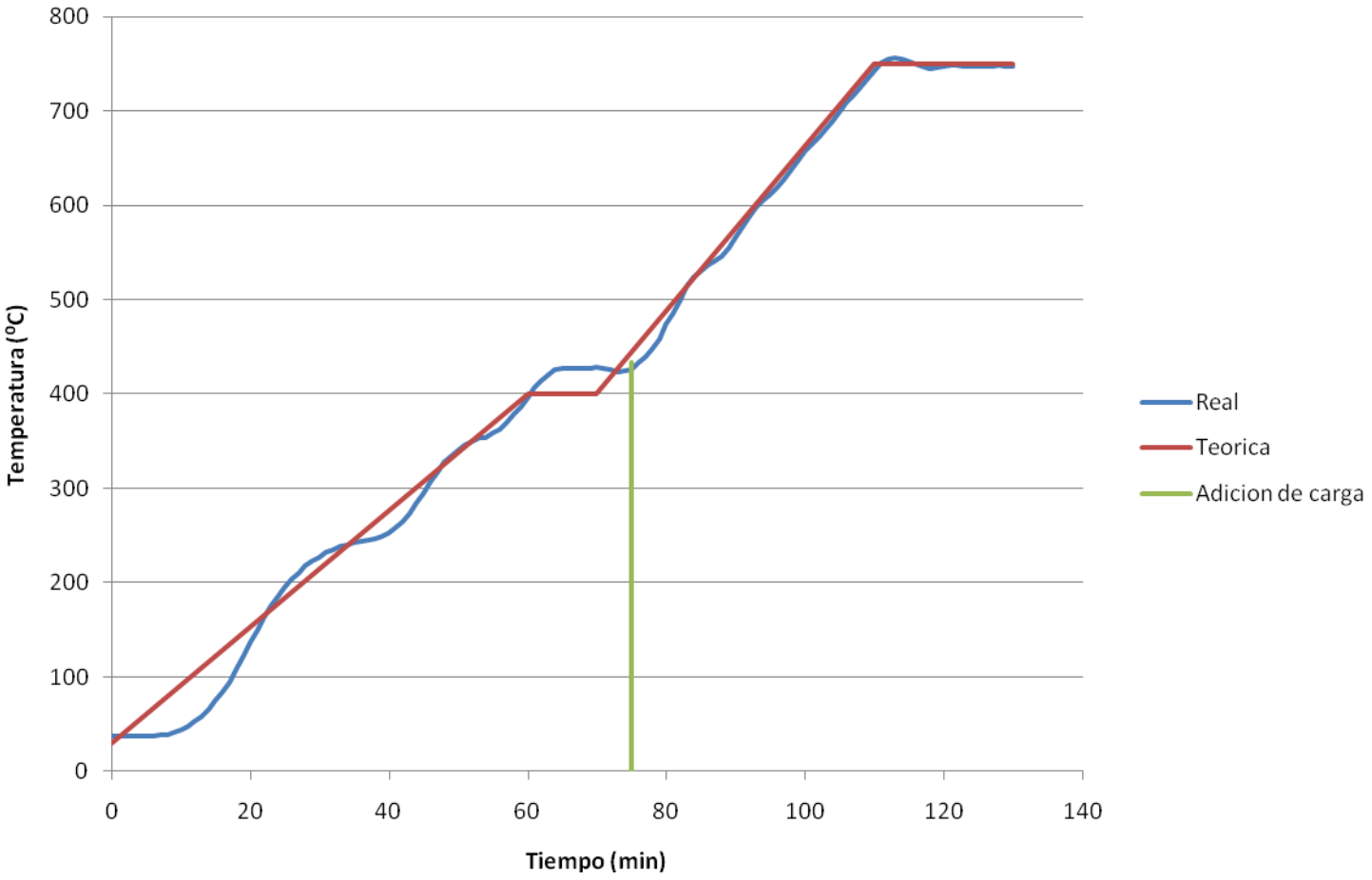
Fuente:Autores

Figura 44 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES



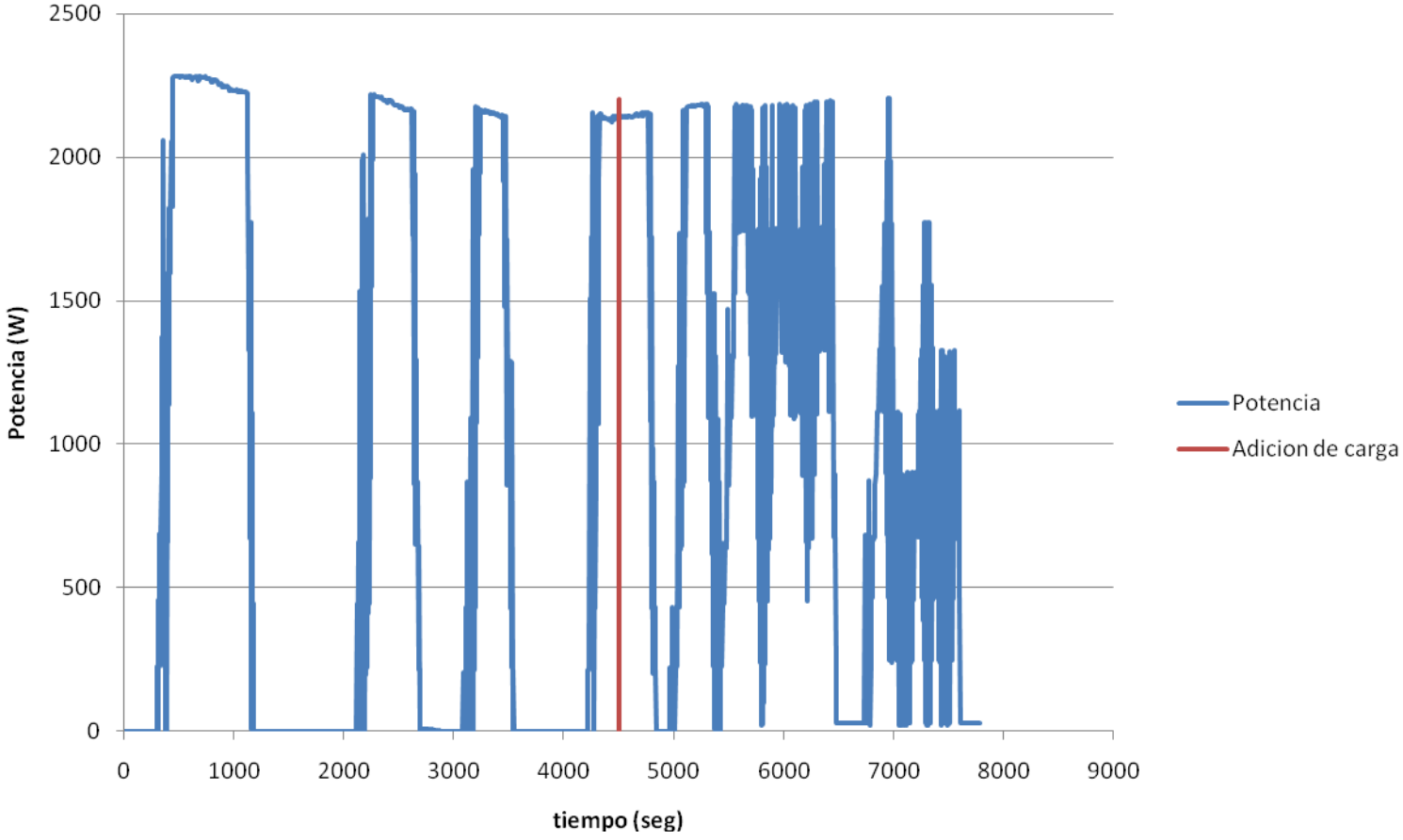
Fuente:Autores

Figura 45 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



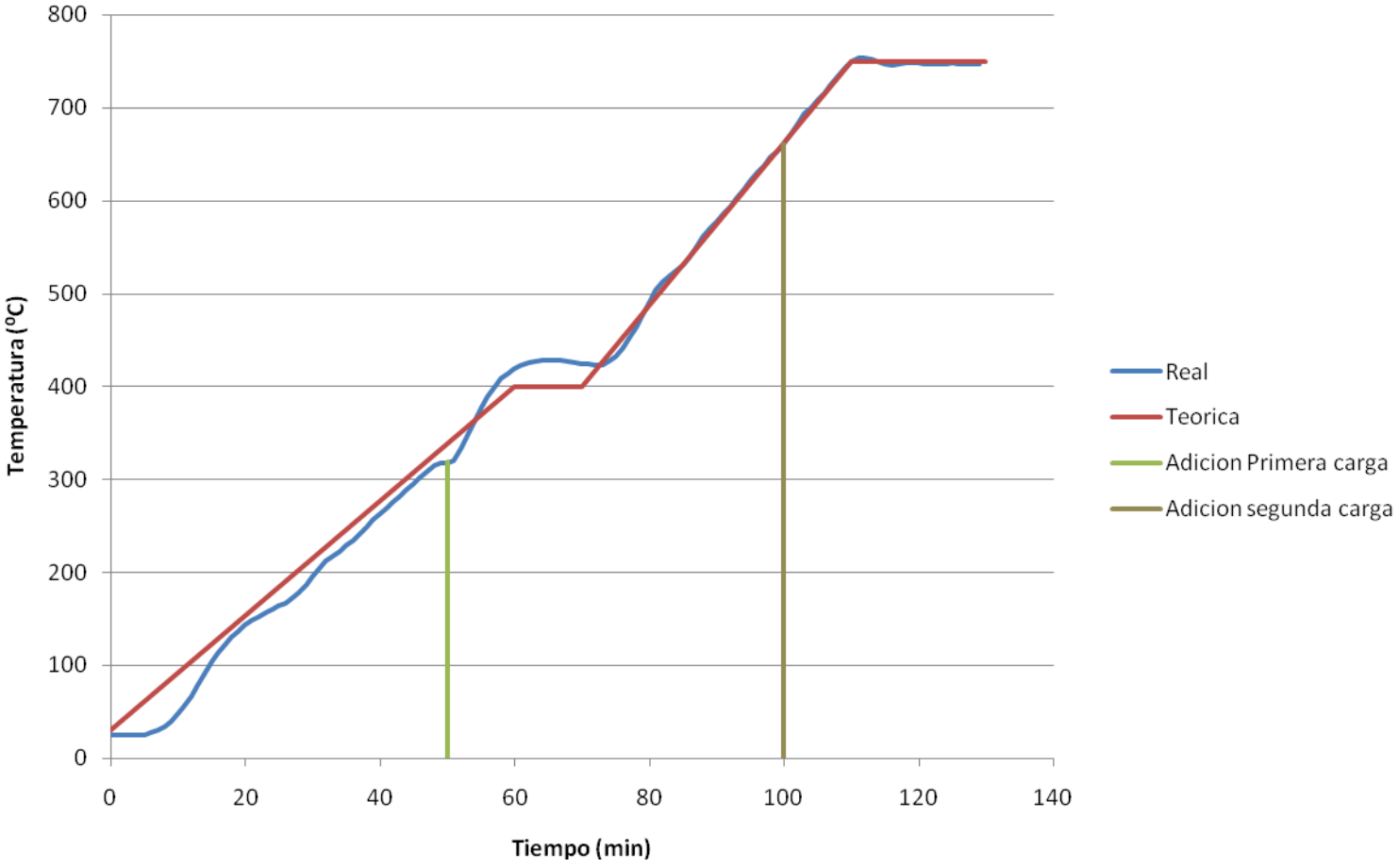
Fuente:Autores

Figura 46 POTENCIA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



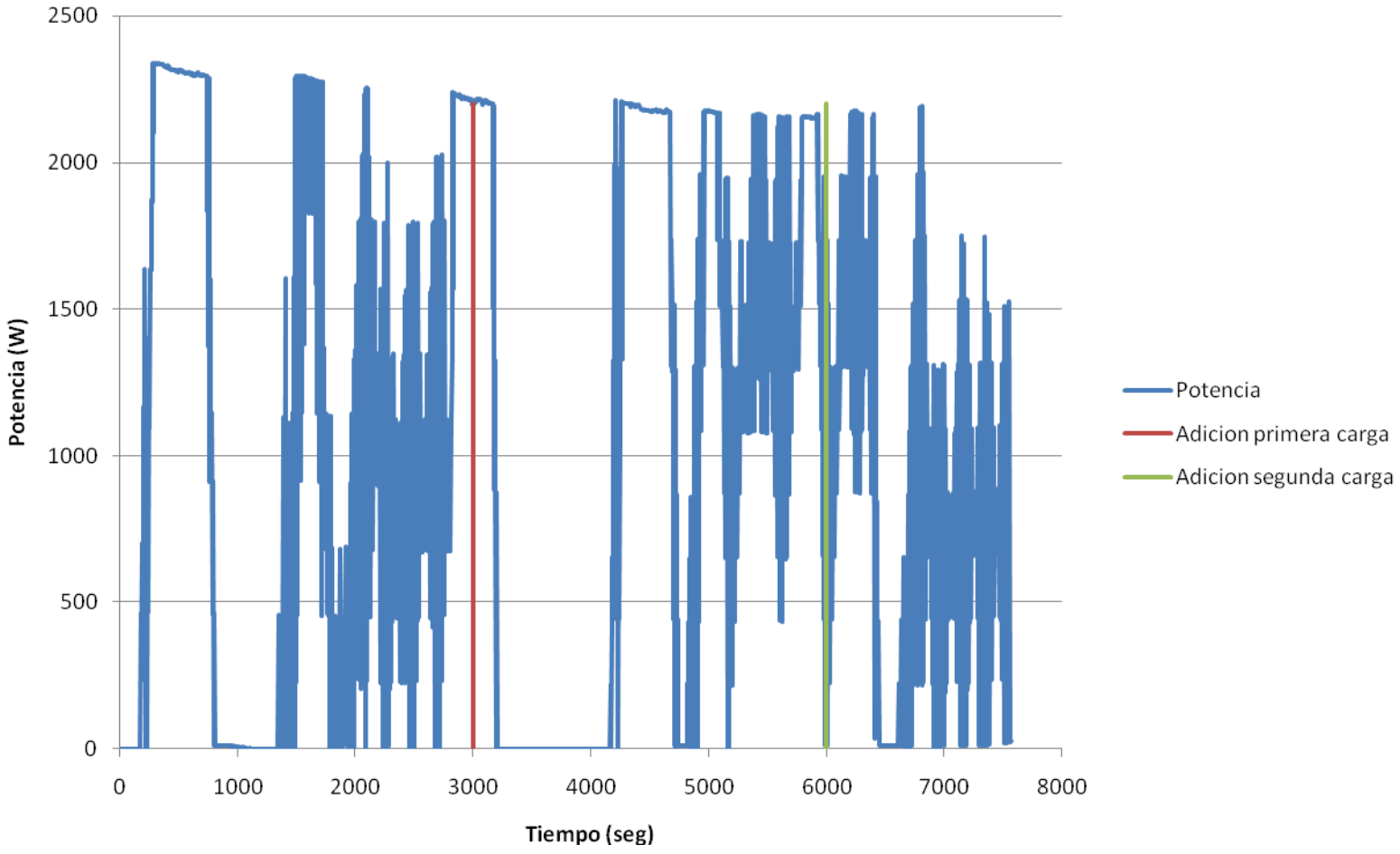
Fuente:Autores

Figura 47 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



Fuente:Autores

Figura 48 POTENCIA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



Fuente:Autores

Figura 49 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA

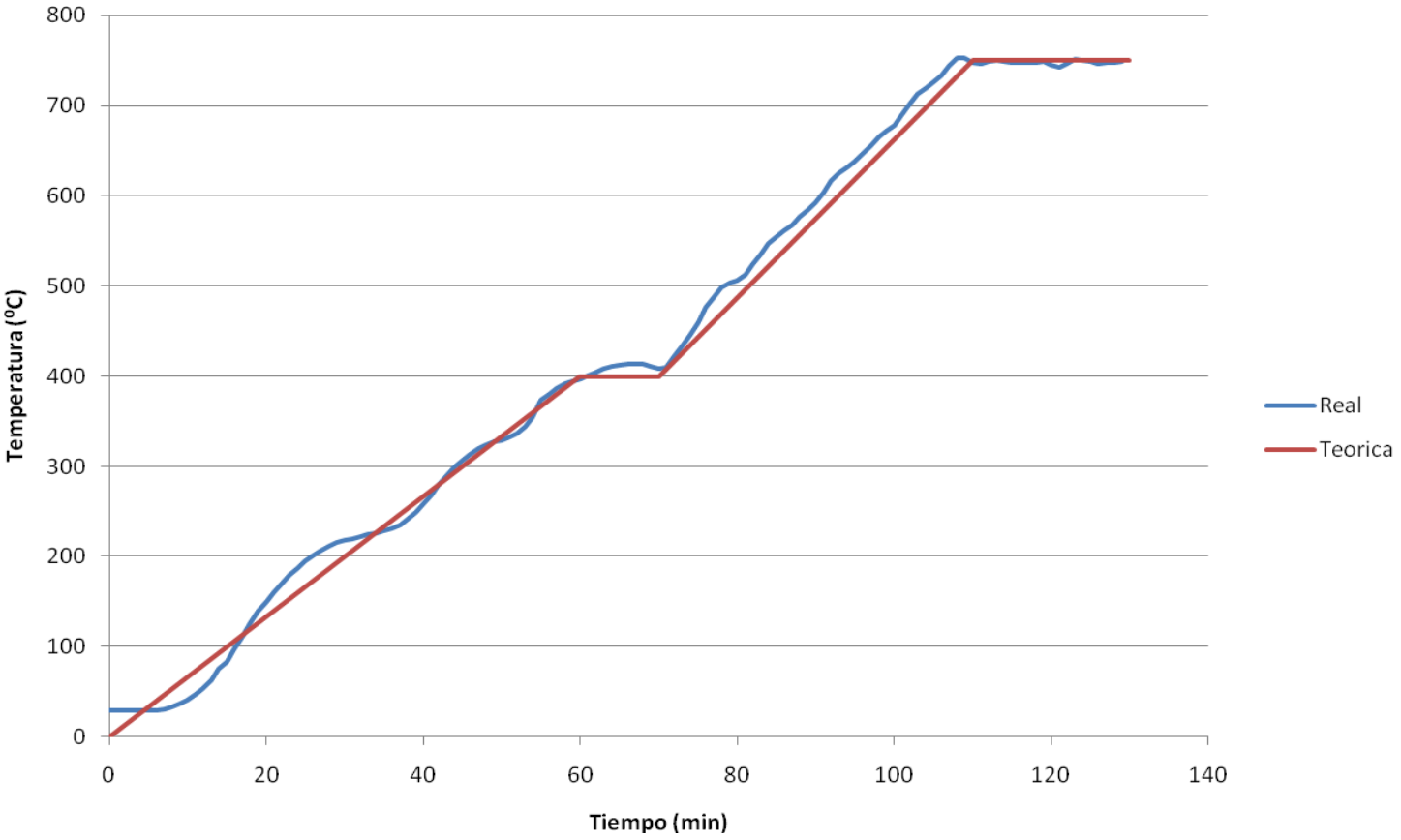
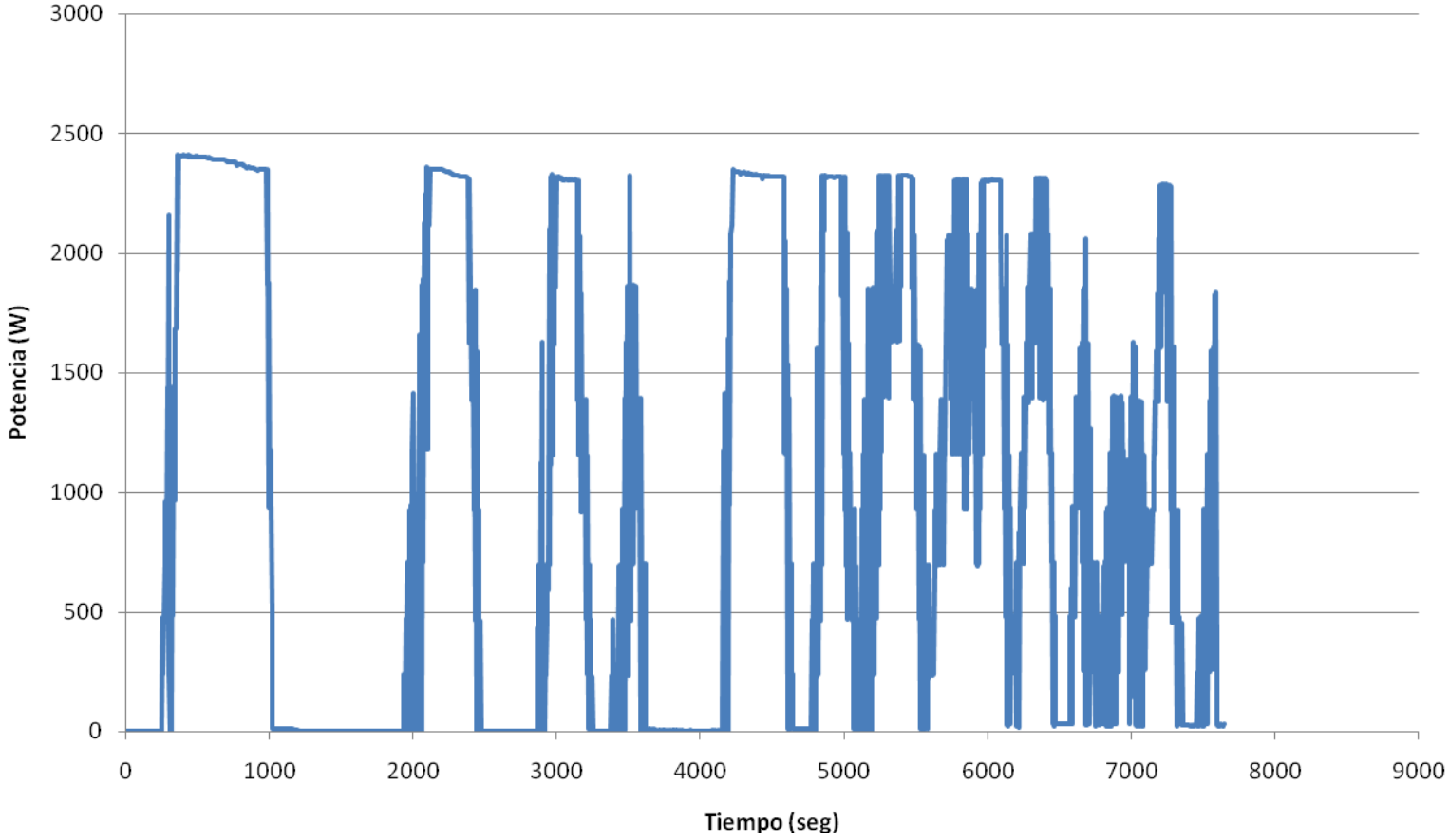


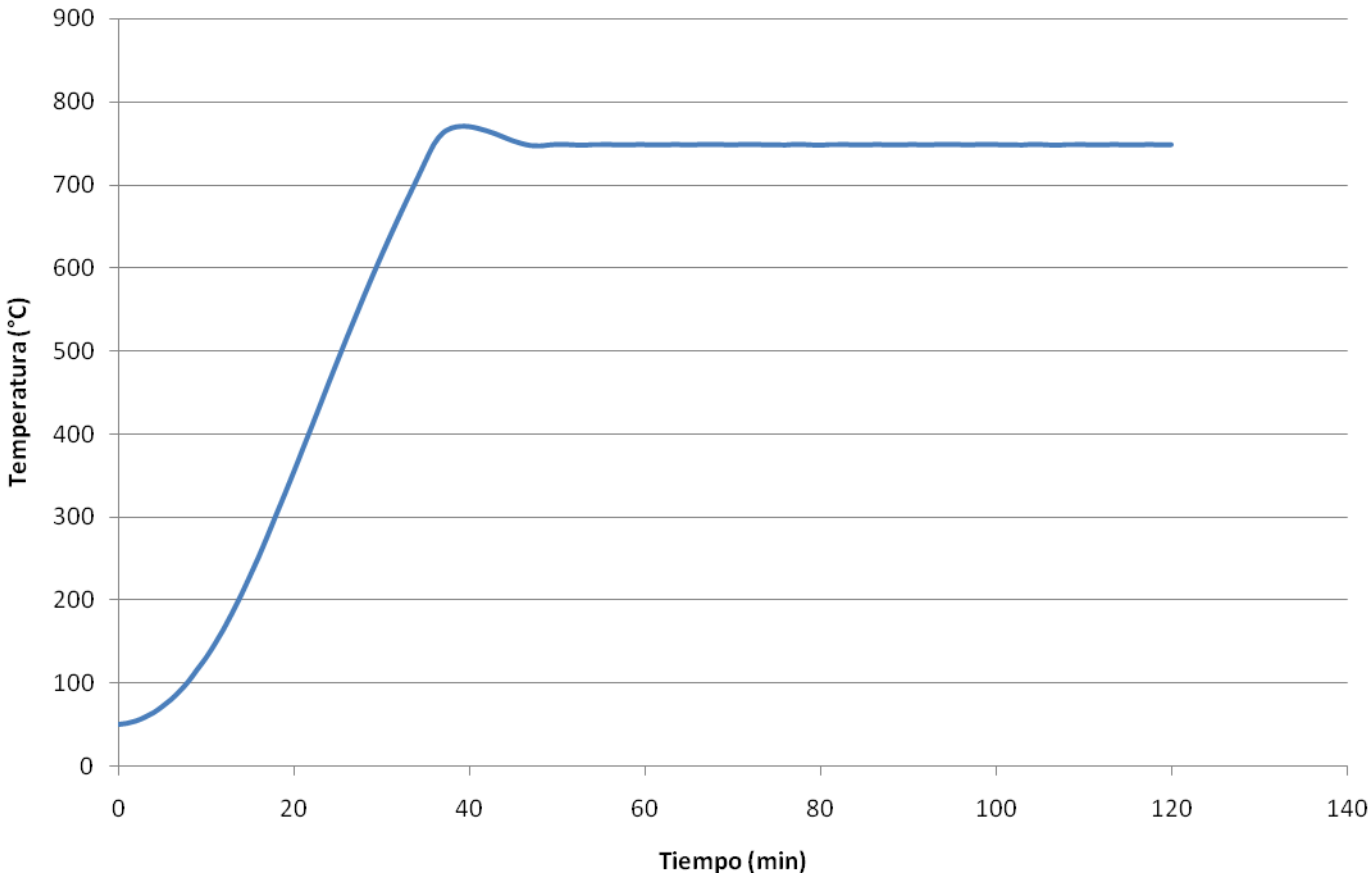
Figura 50 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA



Fuente:Autores

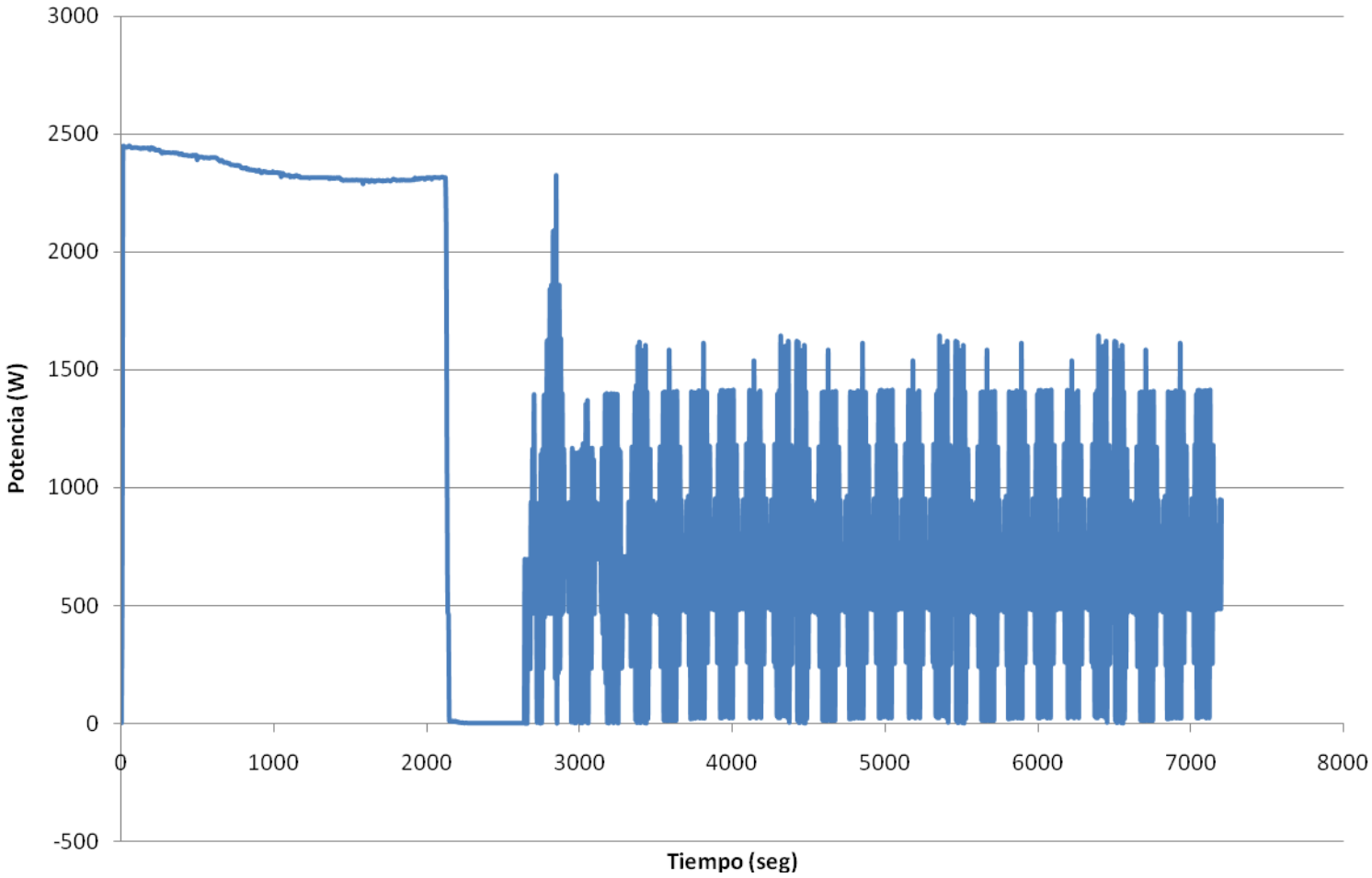
4.3.2 Calentamiento con temperatura de referencia constante

Figura 51 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES



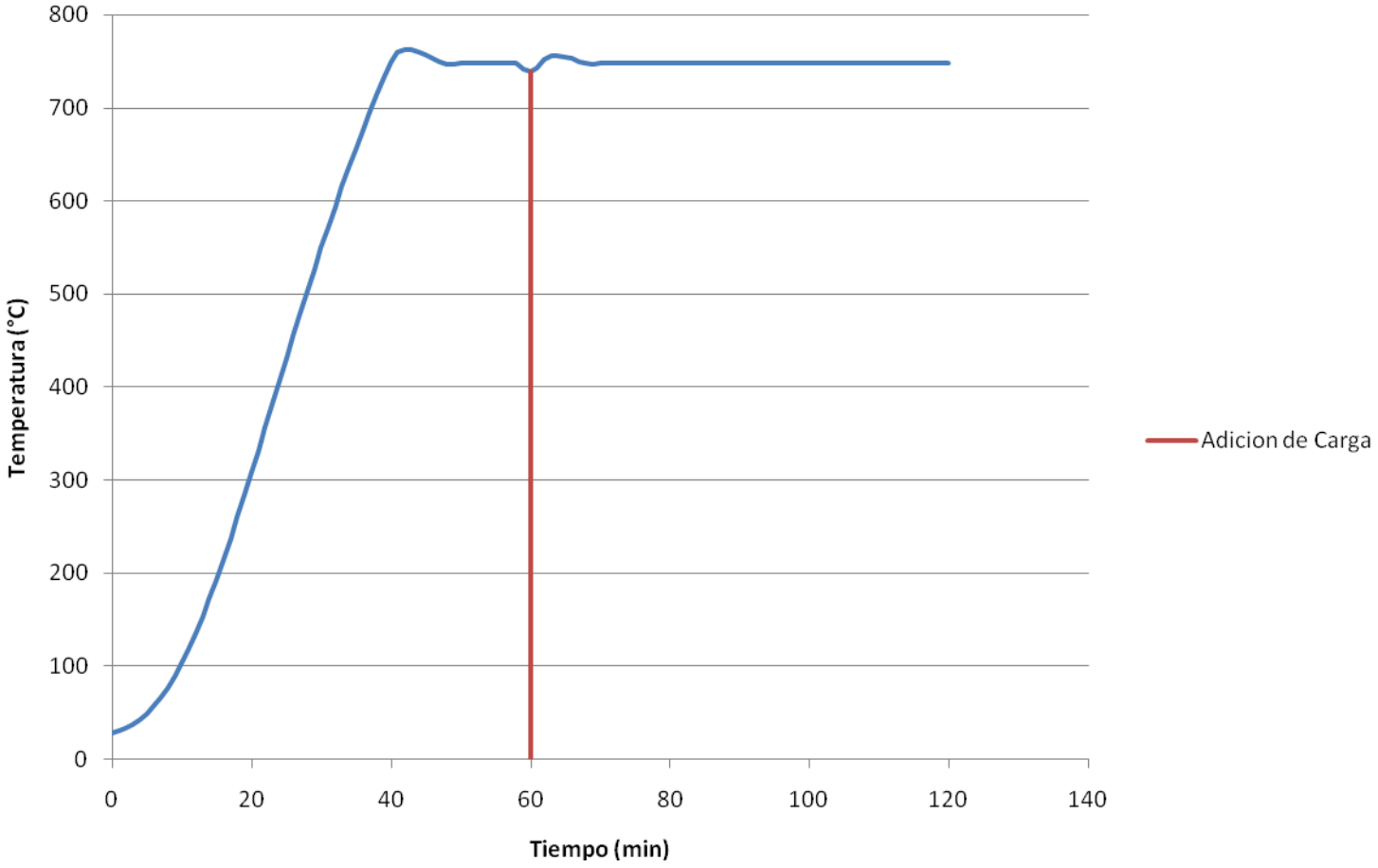
Fuente:Autores

Figura 52 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA SIN PERTURBACIONES



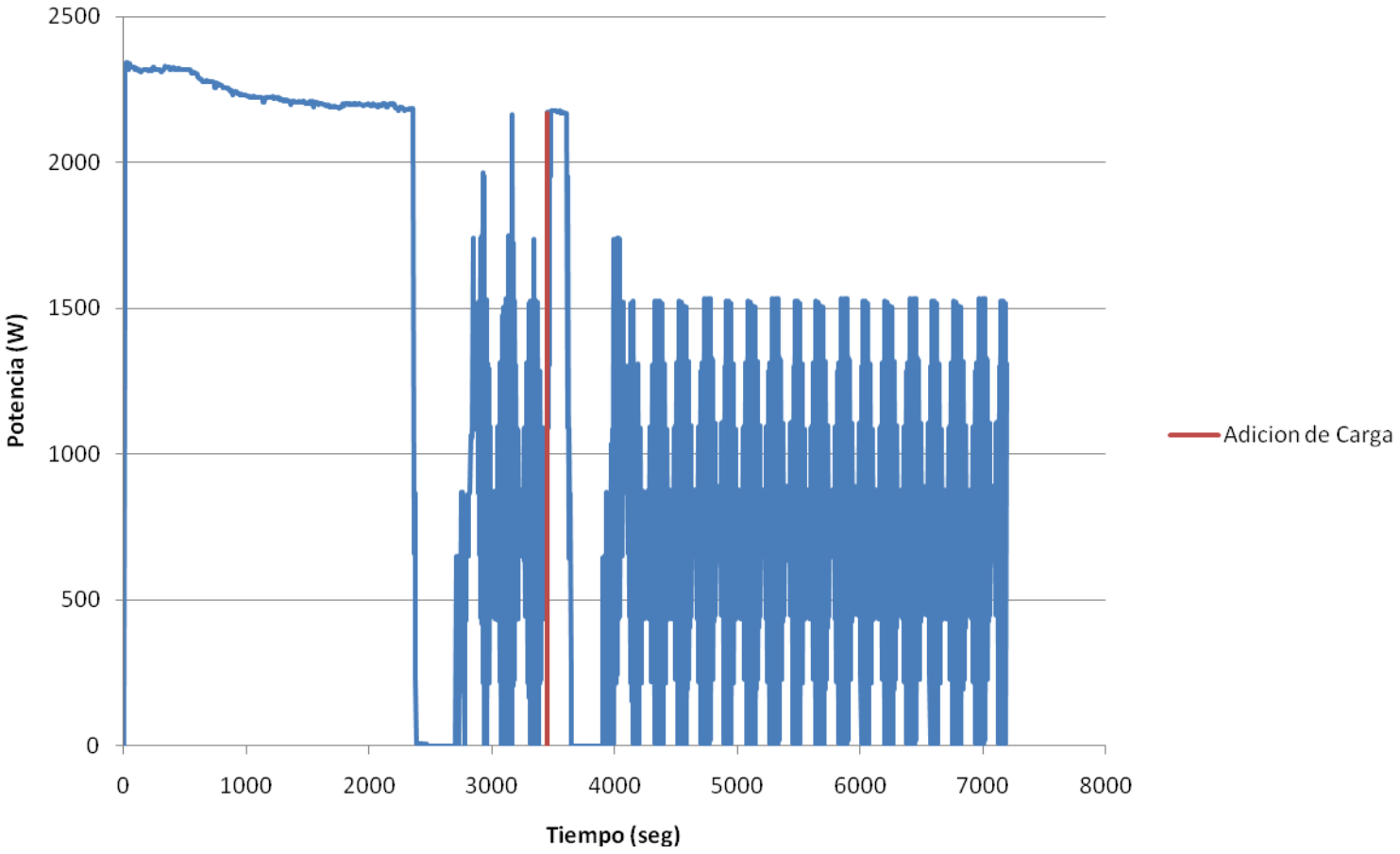
Fuente:Autores

Figura 53 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



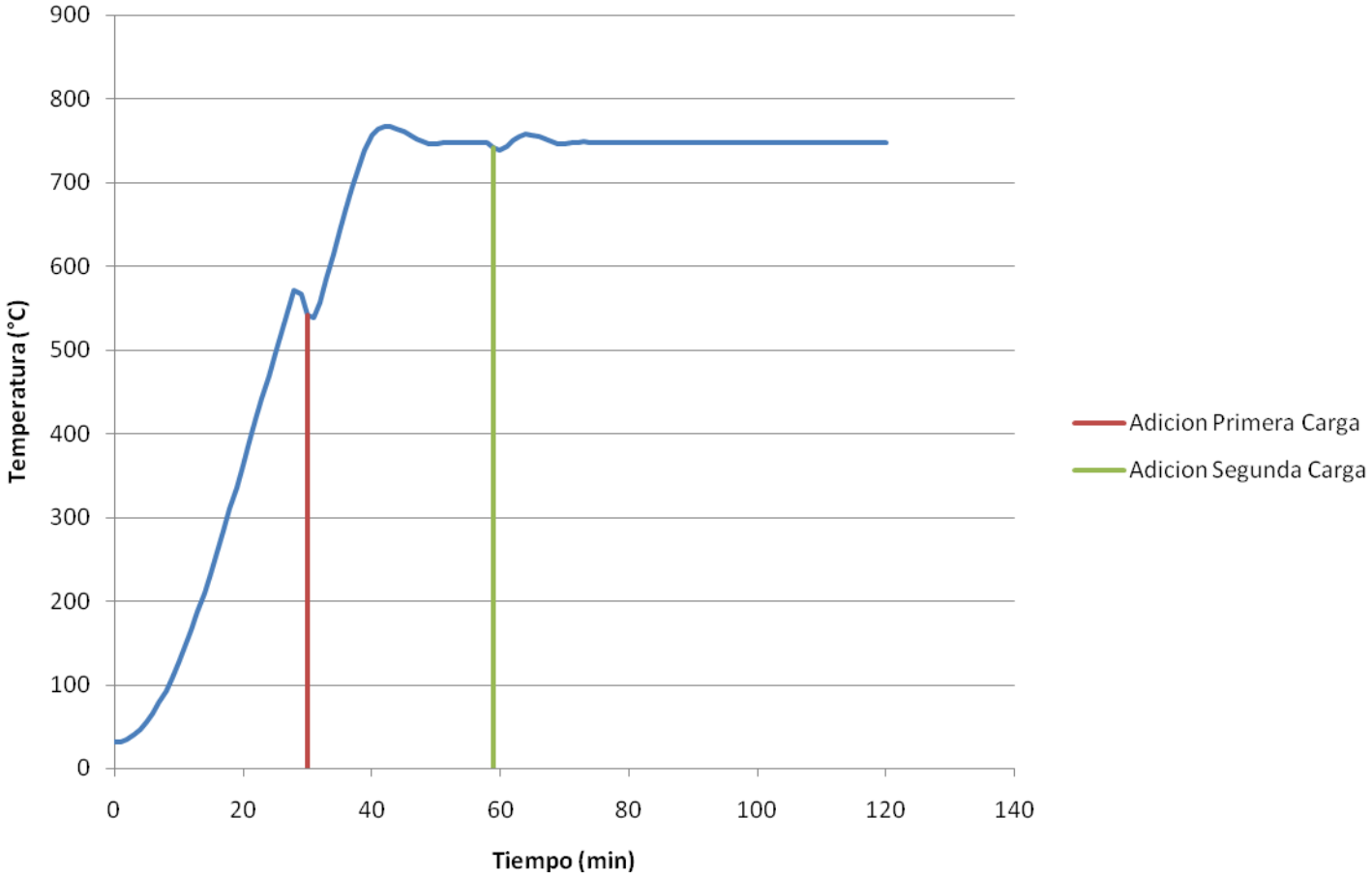
Fuente:Autores

Figura 54 POTENCIA VS TIEMPO HORNO CON CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



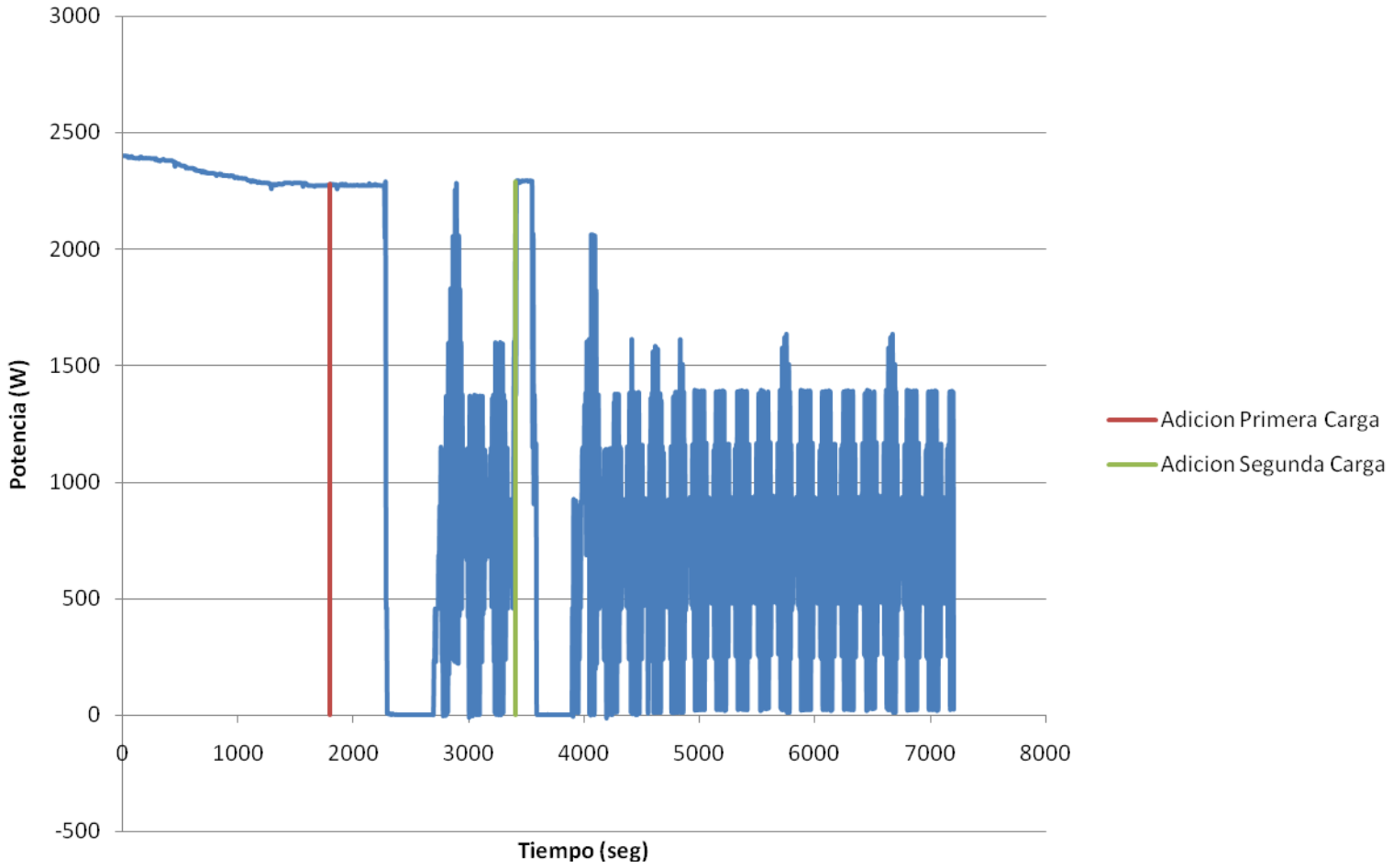
Fuente:Autores

Figura 55 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



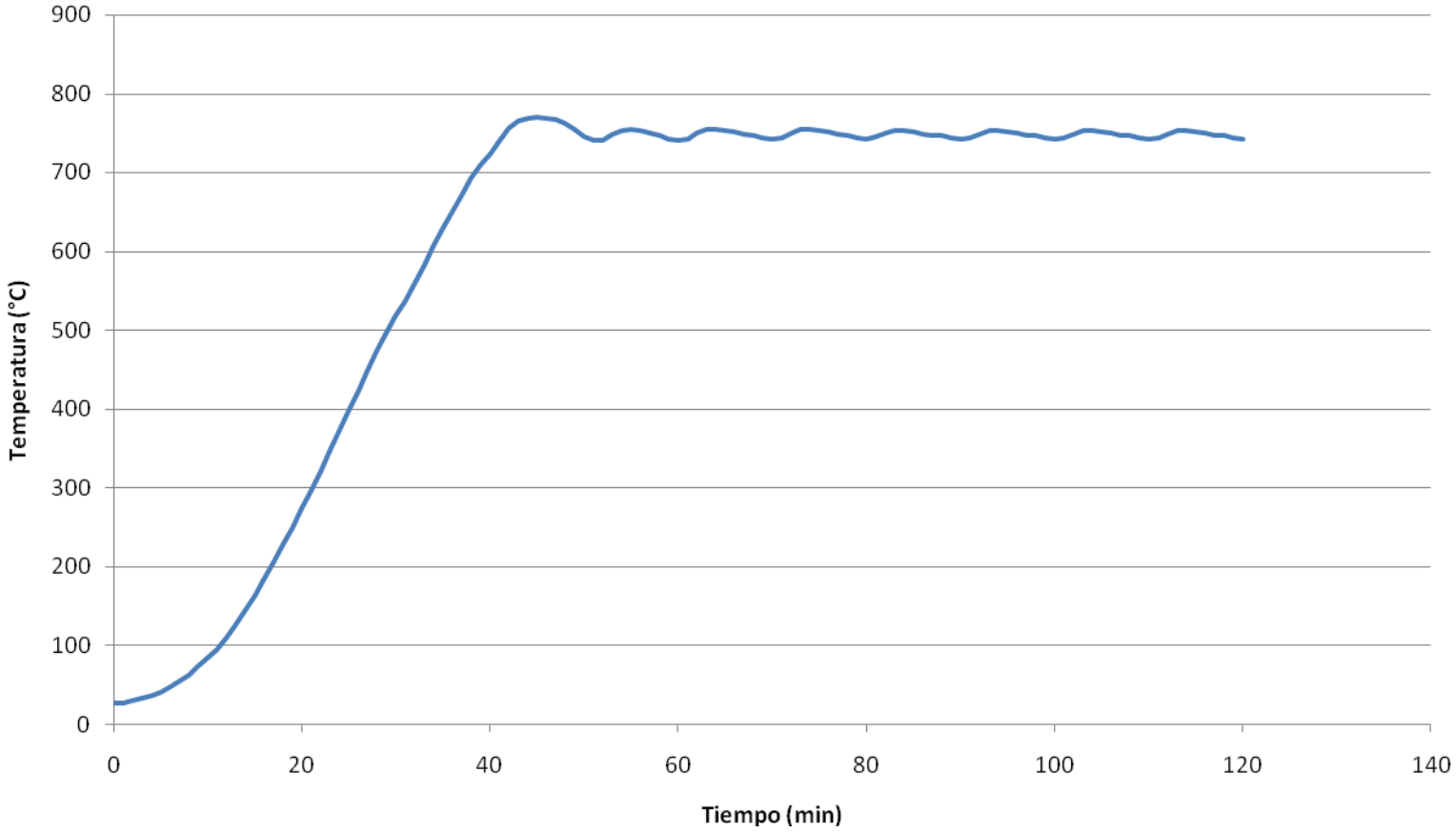
Fuente:Autores

Figura 56 POTENCIA VS TIEMPO HORNO SIN CARGA INICIAL PERTURBADO CON ADICION DE CARGA



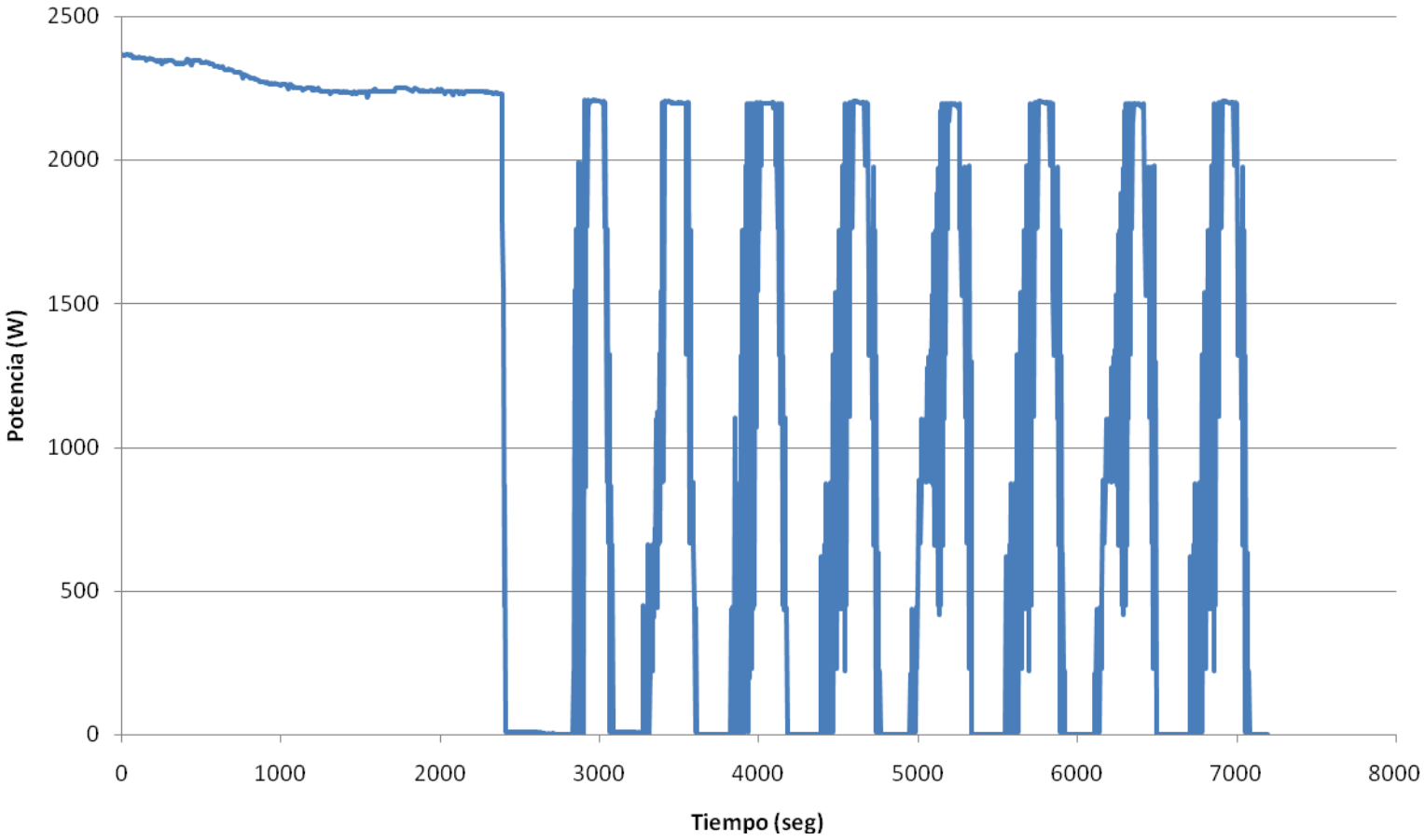
Fuente:Autores

Figura 57 TEMPERATURA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA



Fuente:Autores

Figura 58 POTENCIA VS TIEMPO HORNO A PLENA CARGA PERTURBADO CON APERTURA DE PUERTA



Fuente:Autores

Tabla 8 CONSUMOS ENERGÉTICOS

ESCENARIO	DESCRIPCION DE LA PRUEBA	CONSUMO (kW/h)
Calentamiento Programando en Rampa	*Horno a plena carga sin perturbaciones*	**2.0480**
	Horno con carga inicial perturbado con adición de carga	**2.0699**
	Horno sin carga inicial perturbado con adición de carga	**2.1055**
	Horno a plena carga perturbado con apertura de puerta	**2.0727**
Calentamiento con temperatura de referencia constante	*Horno a plena carga sin perturbaciones*	**2.2969**
	Horno con carga inicial perturbado con adición de carga	**2.3923**
	Horno sin carga inicial perturbado con adición de carga	**2.3826**
	Horno a plena carga perturbado con apertura de puerta	**2.5613**

Fuente:Autores

4.3.3 Calculo del consumo energético.

El consumo energético en cada una de las pruebas fue calculado utilizando la regla compuesta del trapecio[23], con el fin de conocer el área bajo la curva potencia tiempo. La ecuación que me permite por medio de métodos numéricos calcular dicha integral es:

$$C(\boldsymbol{P},\boldsymbol{h}) = \frac{\boldsymbol{h}}{2}\sum_{\boldsymbol{k}=1}^{\boldsymbol{M}}[\boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{k}-1}) + \boldsymbol{P}(\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{k}})] \quad \left[\frac{\boldsymbol{kW}}{\boldsymbol{h}}\right]$$

$$\boldsymbol{h} = \frac{\boldsymbol{t_f} - \boldsymbol{t_0}}{\boldsymbol{M}}$$

(fuente: Jhon H. Mathews, Métodos numéricos con MATLAB®)

Donde:

$\boldsymbol{h}$**:** Ancho del intervalo.

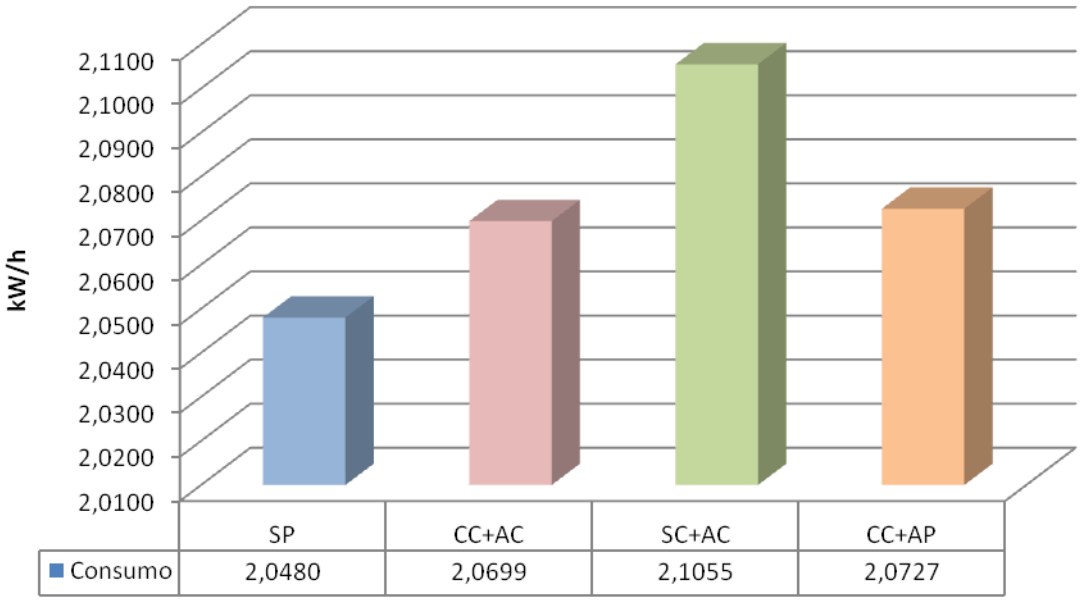
$\boldsymbol{M}$**:** Numero de nodos menos 1.

C**:** Consumo.

$\boldsymbol{P}$**:** Potencia instantánea.

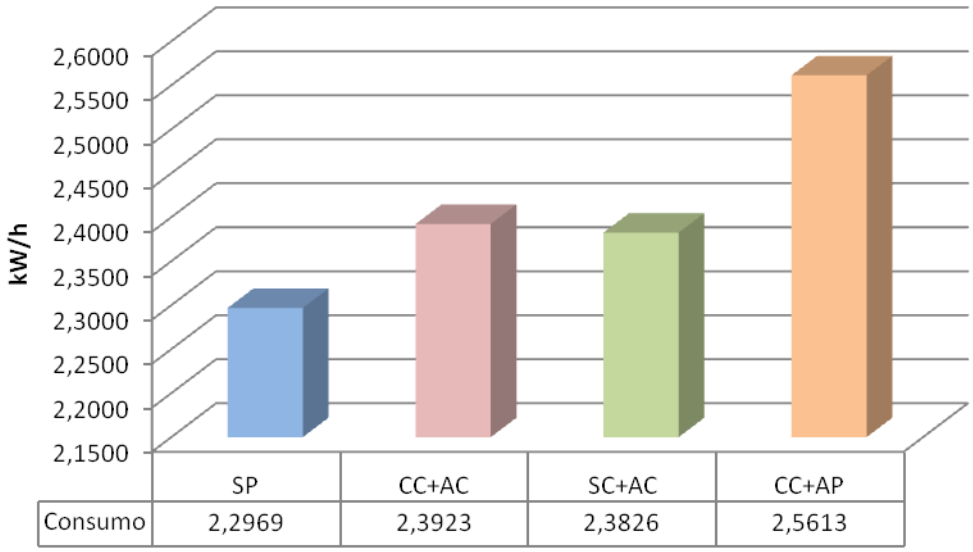
[23] La regla compuesta del trapecio método de integración numérica que se utilizó para obtener una aproximación de la integral de la potencia en el control PID.

Figura 59 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO POR RAMPA



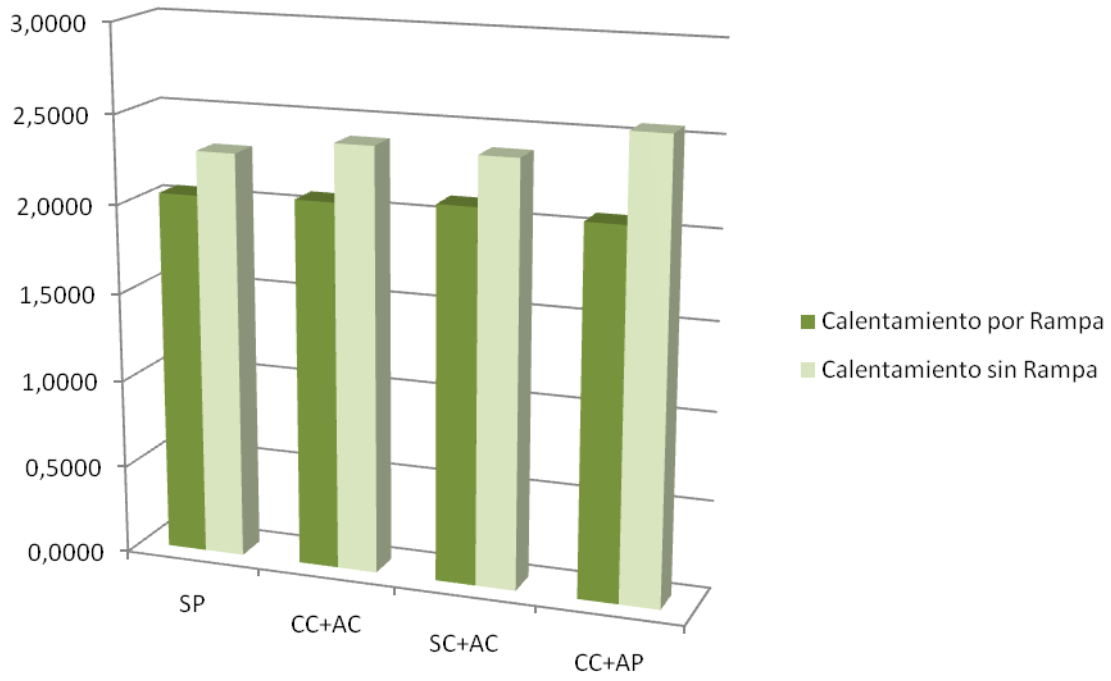
Fuente:Autores

Figura 60 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO POR TEMPERATURA DE REFERENCIA CONSTANTE



Fuente:Autores

Figura 61 COMPARACION DEL CONSUMO ENERGETICO DEL HORNO EN LOS DOS ESCENARIOS DE PRUEBAS



Fuente:Autores

Convenciones:

SP: Sin perturbaciones.
CC+AC: Con carga más adición de carga.
SC+AC: Sin carga mas adición de carga.
CC+AP: Con carga mas apertura de puerta.

CONCLUSIONES

- Se dio cumplimiento al objetivo principal del proyecto, adecuando y optimizando el horno del laboratorio de Transferencia de Calor Aplicada de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Se cambio su aislante por uno de última generación, se implementaron los sensores de temperatura y corriente respectivamente, junto con el control PID de temperatura Maxthermo MC5838. Además se doto al sistema de una la tarjeta de adquisición de datos, con el fin de hacer automática la toma de datos de potencia instantánea consumida. Cada mejora estaba enfocada en conseguir el mejor funcionamiento de la planta.

- El presente trabajo de grado brindo la oportunidad de conocer herramientas que permiten agilizar y simplificar el análisis de procesos, como son el programa *Hyperterminal,* que es un software que hace parte de los accesorios de *Windows* como una alternativa de comunicación del sistema operativo. Esto facilitó el monitoreo de la potencia consumida por el horno en el proceso de calentamiento.

- La comparación entre los escenarios implementados en base al calentamiento del horno, con el fin de determinar el consumo energético permitieron establecer que:

a. Se consume menos energía en un proceso de calentamiento de un horno eléctrico, si la potencia es suministrada de forma restringida por una rampa de calentamiento.
b. Para el caso del calentamiento programado por rampa en dos etapas, el mayor consumo se obtuvo cuando el horno se encontraba inicialmente sin

carga, y consecutivamente se iba adicionando la carga en el transcurso del proceso en dos cochadas, cada una con una cantidad igual al 50%.

c. En el caso del calentamiento por temperatura de referencia constante, el mayor consumo se presento perturbando el horno con aperturas periódicas de puerta, estando a plena carga.
d. Como era de esperarse los menores consumos en las dos situaciones se presentaron cuando el horno no fue perturbado en el proceso de calentamiento.

- Al comparar las dos formas de llevar a cabo el proceso de calentamiento se puede evidenciar que:

a. Si el proceso requiere estrictamente de una pendiente determinada de temperatura, la mejor opción es el calentamiento por rampa, cuyo consumo es mínimo y además asegura que el aumento de la temperatura por minuto sea el indicado; aunque el tiempo que le toma al sistema es mayor.
b. Cuando la rata de aumento de temperatura en el tiempo no es una variable condicionante del proceso, la mejor opción siempre será el calentamiento por temperatura de referencia constante, ya que permite alcanzar la temperatura final en un tiempo más corto.

- Respecto a las pruebas realizadas para determinar el análisis energético se concluye que:

a. Aunque una de las perturbaciones fue abrir la puerta durante un lapso de tiempo considerable, las pérdidas de energía eran suministrada por el control en un tiempo aproximado de 2.5 minutos. Evidenciando que el control en lazo cerrado funciona excelentemente cuando existen sistemas perturbados externamente.

b. La cámara del horno no es lo suficientemente grande como para que la adición de carga genere un efecto considerable al sistema, aunque se puede evidenciar la fluctuación en la curva de consumo y temperatura del proceso.
c. La toma de datos de potencia se lleva a cabo en intervalos de tiempo de aproximadamente 4 segundos, hecho que permite tener un valor del consumo específico del horno más cercano al real; ya que la confiabilidad del sensor es alta debido a su linealidad en el rango de trabajo.

- La sintonización del PID es una tarea larga y tediosa cuando no se conoce la función de transferencia de la planta, pero el control implementado permite conocer el valor de las constantes con solo llevar a cabo una prueba programando la función Auto Tuning del controlador. La precisión en el control de la temperatura con estas constantes fue de 2,3±0.3 ºC por debajo de la temperatura de referencia.

- Este proyecto es el punto de partida para iniciar una serie de estudios relacionados con el control de temperatura de procesos que exijan una alta precisión, ya que tanto el horno como el control, demostraron en la fase de pruebas que las mejoras implementadas dieron al sistema las condiciones necesarias para enfrentar dicho reto.

- Finalmente se provee al laboratorio de Transferencia de Calor Aplicada de una herramienta pedagógica, para evaluar el consumo energético del horno en tiempo real.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda de manera enfática leer el manual de manejo del horno en el anexo 6; allí encontrará no solo el protocolo que debe seguir para desmontarlo, sino el cuidado y las medidas de emergencia en caso de manipular de manera indebida la fibra cerámica del horno.

- Lea previamente la guía para adquirir los datos en Hyperterminal, ya que el software de la tarjeta de adquisición de datos no solo le ofrece la opción de hacer la toma de datos automática, sino manualmente, al introducir la letra de la variable que necesita: T(mayúscula) para temperatura y P(mayúscula) para potencia, en el instante que lo desee.

- Tener mucho cuidado con la manipulación de las resistencias, ya que debido al calor el alambre se encuentra fragilizado, y cualquier quiebre puede llegar a romperlas.

- Desarrollar un modulo de adquisición de datos de temperatura, con el fin de automatizar completamente la prueba.

- Continuar con el análisis de procesos donde el control de la temperatura exija una precisión considerable.

BIBLIOGRAFIA

- Palacios E. Remiro F.y López L. Microcontrolador PIC16f84 Desarrollo de proyectos, Alfaomega Ra-Ma, 2ª Edición, 2006.
- Fernández A. Instrumentación Electrónica, Transductores, Acondicionadores de Señal y Sistemas de Adquisición de Datos, Depto. De Sistemas Electrónicos y de Control, 1990.
- Lázaro A. LabVIEW 6i, Programación Gráfica para el Control de Instrumentación, PARANINFO, Thomson Learning, 2001.
- Ogata K. Ingeniería de control Moderna, Prentice Hall, Tercera edición, 1998.
- Measurement Computing, User`s Guide, USB-1208LS, 2003.
- Javier I. Atorino, Luciano P. Bortolín, Ezequiel Rodríguez, Rubén O. Farías, Eduardo E. Rodríguez. Experimentos con un sensor de efecto Hall.
- Dra. Ordoñez Stella. Técnicas Experimentales en Metalurgia, Depto. de Ingeniería Metalúrgica - Universidad de Santiago de Chile.

SITIOS DE INTERNET

- http://www.maxthermo.com.tw/maxthermo.html.
- http://www.aerocolor.com.co/images/stories/pdf/Pintura_Para_Alta_Temperatura.pdf.
- http://www.aerocolor.com.co/
- http://www.thermalceramics.com/
- http://www.erecos.com/
- http://www.erecos.com/blanket.html
- Tomado de http://www.erecos.com/blanket.html.
- http://www.erecos.com/concrax_ug.pdf
- http://www.erecos.com/u_32.pdf
- http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-termopares.htm.
- http://www.thermometricscorp.com/thersen.html "Especificaciones para termopares" mayo 2007.
- http://www.quiminet.com/ar6/ar_advcarmzgt-que-son-los-contactores-de-corriente.htm.

ANEXO 1
PINTURA PARA ALTAS TEMPERATURAS

HOJA TECNICA PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA EN AEROSOL

DESCRIPCION DEL PRODUCTO:
La **PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA**, está formulada a base de resinas y pigmentos especiales, los cuales permiten proteger y decorar superficies metálicas expuestas a elevadas temperaturas.

CARACTERISTICAS:
- Fácil y rápida aplicación.
- Alto grado de resistencia y flexibilidad a temperaturas fluctuantes entre 150°C y 400°C.
- Máxima adherencia y durabilidad.
- Excelente protector contra grasa, aceite y gasolina.
- Uso interior y exterior.
- NO DAÑA LA CAPA DE OZONO.

APLICACIONES:
- Ideal para usar en: mofles de autos y motos, motores de combustión, asadores, chimeneas, calderas, hornos, múltiples de escape, entre otros.

INSTRUCCIONES DE USO:
- La superficie debe estar limpia y libre de mugre, polvo, grasa y óxido. No se recomienda aplicar sobre una superficie ya pintada, ésta se debe remover para obtener una buena adherencia.
- Invierta el envase y agítelo (1 minuto aproximadamente) hasta que suene el balín. Hágalo antes y durante la aplicación.
- Aplique a 30 cms de la superficie. Pinte en sentido horizontal de izquierda a derecha. Hágalo por capas delgadas permitiendo un corto secado entre capa y capa (15 minutos aproximadamente).
- Cuando termine de pintar invierta el aerosol y oprima el actuador hasta que solo salga gas. Esto evitará la obstrucción del aerosol para aplicaciones posteriores.

IMPORTANTE: Inmediatamente después de la aplicación encienda el motor de su auto o moto durante 25 minutos, para obtener un secamiento satisfactorio de la pintura, asegurando una buena resistencia y acabado final.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS:
- Temperatura que resiste: 150°c a 400°c
- Espesor de película recomendado: 25 micras (aprox. 2 capas)
- Rendimiento sobre superficie plana:
  240 cm^3: 1 mt^2 aproximado.
  430 cm^3: 2 mts^3 aproximado.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:
Rango de temperatura óptimo: 15-45°c.
Lugar: Fresco y con suficiente ventilación.
Limite de almacenamiento máximo
Sugerido: 1 año después de fabricado.

Nota: el producto no puede ser almacenado en cercanías de fuentes de ignición, tales cómo: equipos de soldadura, eléctricos, generadores de vapor, etc.

PRESENTACION:

PRODUCTO	CODIGO	TAMAÑO
Azul Brillante	125350-8008 125350-8016	8 onzas 16 onzas
Rojo Brillante	125352-8008 125352-8016	8 onzas 16 onzas
Negro Brillante	125130-8008 125130-8016	8 onzas 16 onzas
Negro Mate	125358-8008 125358-8016	8 onzas 16 onzas
Aluminio Brillante	125132-8008 125132-8016	8 onzas 16 onzas

PRECAUCIONES:

- No perforar ni incinerar el envase.
- No aplicar cerca de una llama o fuego.
- No almacenar a mas de 50°C.
- No exponer el envase a los rayos directos del sol.
- Mantener fuera del alcance de los niños.
- Inflamable.

SERVICIO TECNICO:

Nuestro departamento técnico ampliará las especificaciones referentes a este producto. Es la intención de DESTISOL S.A. trabajar con nuestros clientes y poder así resolver sus inquietudes.

Nota : La información que contiene esta hoja técnica, ha sido elaborada con la finalidad de proporcionar una guía adecuada para la elección de productos. Sin embargo, ya que existen diferentes condiciones de trabajo en diversas aplicaciones, no nos hacemos responsables por utilizaciones no recomendadas por DESTISOL S.A.

DESTISOL S.A.

MEDELLIN OFICINA PRINCIPAL

Calle 19A # 43B - 41
Teléfono: 2619100
Servicio al cliente: 2327954
Apartado Aéreo: 8873
Fax 2323803-2628084

GUARNE

Planta - Oficinas
Antigua Carretera a Guarne Vereda LA HONDA
Diagonal al HIPODROMO DE LOS COMUNEROS
Teléfono: 5510925
Fax: 5510927

BOGOTA

Calle 25 Bis# 31 A 16 "La Gran America"
Teléfono: 3683993
Apartado Aéreo: 44410
Fax:2441546

CALI

CALLE 36N # 3G- 55
BARRIO PRADOS DEL NORTE
Telefax: 6650656

BARRANQUILLA

Calle 56 # 26 – 26 apto 2
Teléfono: 3701003

PEREIRA

Bosques de la acuarela
Etapa 4, manzana 8
Casa 51 Dosquebradas
TEL: 328 31 91

BUCARAMANGA

Avenida Jardín
Casa 12

ANEXO 2
FIBRAS CANCERÌGENAS

Thermal Ceramics

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL
(Según 91/155/EEC)

CERABOARD 100
PANELES PT-2 Y PT-3

NÚMERO MSDS	S-239-2-EURO		
FECHA DE LA PRIMERA EDICIÓN	04/2004	FECHA DE LA ÚLTIMA REVISIÓN	06/2005

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO
El producto antes mencionado contiene fibra cerámica refractaria (FCR) (fibra de vidrio de aluminosilicato para uso a elevada temperatura).

USO DEL PRODUCTO
Limitado a usuarios profesionales para aplicaciones como aislante térmico, escudos de calor, contención de calor, juntas estancas y de dilatación para temperaturas de hasta 1.450 ºC en hornos industriales, estufas, hornos, calderas y otros equipamientos de procesos y en las industrias aerospacial, del automóvil y de aparatos eléctricos y en sistemas de protección pasiva contra incendios y cortafuegos.

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

FRANCIA
THERMAL CERAMICS
Department HSE
Route de Lauterbourg - B.P. 148
F-67163 WISSEMBOURG Cedex
Tel.: +33 (0)3 88 54 95 50
Fax: +33 (0)3 88 54 29 20

ESPAÑA
THERMAL CERAMICS ESPAÑA SL.
Avenida Hermanos Bou, 205
ES-12100 CASTELLÓN
Tel. : +34 964 23 25 52
Fax : +34 964 23 88 05

2. COMPOSICIÓN /INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

DESCRIPCIÓN
Este producto en forma de placa (preconformada o no) está fabricado con fibras cerámicas refractarias.

COMPOSICIÓN

COMPONENTE	%	NUMERO CAS	SIMBOLO	FRASES R
Fibra cerámica refractaria	15-90	142-844-00-6	T, Xi	R49, R38
Almidón	0-10	(EINECS 232-679-6)	N.A.	N.A.
Materiales inorgánicos inertes	1-75	N.A.	N.A.	N.A.
Cuarzo (fracción respirable)	<3	(EINECS 238-878-4)	N.A.	N.A.

La composición química de las fibras cerámicas refractarias :
SiO_2: 48 % - 60 %, Al_2O_3: 25 % - 55 %, ZrO_2 < 16%, Cr_2O_3.< 3 %

Ninguno de los componentes es radioactivo según los términos de la Directiva europea Euratom 96/29.

3.IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

EFECTOS IRRITANTES
La exposición al producto puede provocar irritación mecánica leve de la piel, los ojos y las vías respiratorias superiores. Estos efectos suelen ser temporales.

La existencia de enfermedades respiratorias y de la piel previas, incluidas el asma, la enfermedad pulmonar crónica y la dermatitis, puede agravarse por la exposición al producto.

EFECTOS CRÓNICOS SOBRE LA SALUD RESPIRATORIA
La U.E. ha clasificado a las fibras cerámicas refractarias como carcinógeno en la Categoría 2 ("sustancias que pueden contemplarse como si fueran carcinógenas para el hombre").

La Agencia Internacional para Investigaciones del Cáncer (AIIC) confirmó que el Grupo 2B ("posiblemente carcinógeno para seres humanos") era la clasificación apropiada de las FCR.

EFECTOS CRÓNICOS SOBRE LA SALUD RESPIRATORIA DE LA SÍLICE CRISTALINA
Estos productos pueden contener cantidades mínimas de sílice cristalina. La inhalación prolongada o repetida de polvo de sílice cristalina respirable puede provocar una lesión pulmonar demorada (silicosis).

La IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) afirma que hay "pruebas suficientes en seres humanos de carcinogénesis por inhalación de sílice cristalina en forma de cuarzo o cristobalita en puestos de trabajo para clasificar la sílice cristalina como producto carcinógeno para los seres humanos (Grupo 1)" (Monografía V 68). Sin embargo, conviene destacar que al realizar la evaluación global del Grupo de trabajo no se detectó la carcinogénesis para los seres humanos en todas las circunstancias industriales estudiadas.

4. PRIMEROS AUXILIOS

PIEL:
En caso de irritación de la piel, enjuague las zonas afectadas con agua y lávese suavemente. No restriegue ni arañe la piel expuesta.

OJOS:
En caso de contacto con los ojos lávese abundantemente con agua; tenga a mano un colirio. No se frote los ojos.

NARIZ Y GARGANTA:
Si sufren irritación, la persona afectada debe trasladarse a una zona libre de polvo, beber agua y sonarse.

En caso de síntomas persistentes, acudir al médico.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Productos no combustibles. Sin embargo, un aglomerante virgen puede arder y producir gases y/o humos.
Los materiales de embalaje y de protección pueden ser combustibles.
Utilice los medios de extinción adecuados para los combustibles de la zona circundante.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Si se produce una concentración de polvo anormalmente alta, proporcione a los trabajadores el equipo de protección adecuado como se detalla en el apartado 8.
Limite el acceso a la zona al número mínimo de trabajadores necesarios.
Normalice la situación tan pronto como sea posible.
Evite la ulterior dispersión del polvo, por ejemplo humedeciendo los materiales.

Recoja los fragmentos voluminosos y utilice un aspirador equipado con un filtro de elevada eficacia (HEPA).
Si se barre, asegúrese que la zona ha sido previamente humedecida.
No utilice aire comprimido para efectuar la limpieza.
No deje que se lo lleve el viento.

No arrastre el vertido con agua hasta el desagüe e impida que se incorpore a los cursos de agua naturales. Consulte el apartado 13 para la eliminación de residuos.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

TÉCNICAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE POLVO DURANTE LA MANIPULACIÓN
La manipulación del producto puede ser una fuente de emisión de polvo. El proceso o procesos deberá(n) diseñarse para limitar el número de manipulaciones. Siempre que sea posible, la manipulación deberá llevarse a cabo en un lugar ventilado provisto de campana de aspiración. Los procedimientos rutinarios de limpieza doméstica reducirán la dispersión del polvo.

ALMACENAMIENTO
Guárdelo en su envase original en una zona seca. Utilice siempre contenedores sellados y etiquetados con claridad. Evite daños en el envoltorio. Reduzca la emisión de polvo durante el desembalaje Los contenedores vacíos, que pueden contener restos del producto, deberán limpiarse antes de eliminarlos o reciclarlos.

APLICACIONES ESPECÍFICAS
Por favor, consulte a su distribuidor local de Thermal Ceramics o la página Web de ECFIA (www.ecfia.org).

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

NORMAS DE HIGIENE Y LÍMITES DE EXPOSICIÓN
Las normas de higiene industrial y los límites de exposición en el trabajo pueden variar según los países y las jurisdicciones. Averigüe cuáles son los que están en vigor en su país y cumpla con las reglamentaciones locales. Si no existieran directivas sobre regulación de polvo y otras normas, un experto en medio ambiente industrial puede ayudarle con una evaluación específica del lugar de trabajo incluyendo recomendaciones para la protección respiratoria. A continuación se dan ejemplos de límites de exposición (en enero de 2003) de polvo respirable:

PAÍS	LÍMITE DE EXPOSICIÓN					FUENTE
	FIBRA CERAMICA *(1)*	POLVO RESPIRABLE *(2)*	SILICE CRISTALLINA *(2)*	CUARZO *(2)*	CRISTOBALITA *(2)*	
Alemania		3 mg/m3				TRGS 900
Francia	0.6 f/ml	5 mg/m3		0.10 mg/m3	0.05 mg/m3	Circulaire DRT No 95-4 du 12.01.95
Reino Unido	1.0 f/ml y 5 mg/m3	4 mg/m3	0.30 mg/m3			HSE - EH40

(1) *Promedio ponderado de tiempo de concentraciones de fibras respirables en suspensión en el aire medidas en 8 horas, por el método de filtro con membrana convencional o del polvo inhalable total, usando técnicas gravimétricas estándar.*

(2) Promedio ponderado de tiempo, medido en 8 horas, de concentraciones gravimétricas en forma de polvo respirable o inhalable.

CONTROLES DE INGENIERÍA
Revise sus aplicaciones de FCR y evalúe sus posiciones con aspiración de polvo potencial.
Cuando sea posible, aísle las fuentes emisoras de polvo y proceda a la extracción del mismo allí donde se genera.
Si no es posible evitar la exposición, puede usarse la ventilación por aspiración local que recoja el polvo en el lugar en que se genera. Por ejemplo: mesas especiales, herramientas de control de emisión y equipamiento para manipulación de materiales.
Delimite las zonas de trabajo con FCR y restrinja el acceso a las mismas a los trabajadores capacitados.
Use procedimientos de operación que limitarán la emisión de polvo y la exposición de los trabajadores al mismo.

Si es necesario consulte a un experto en medio ambiente industrial para diseñar controles adecuados de los puestos de trabajo.

La utilización de productos especialmente diseñados para su(s) instalación(es) contribuirá a controlar el nivel de polvo. Algunos productos pueden entregarse listos para usar a fin de que no tenga que cortarlos o mecanizarlos en sus instalaciones. Otros pueden ser tratados o embalados para reducir al mínimo o evitar la emisión de polvo durante su manipulación.
Para más detalle consulte a su distribuidor local de Thermal Ceramics.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
Protección de la piel:
Lleve guantes y ropa de trabajo holgados en el cuello y los puños. Límpiese la ropa sucia antes de quitársela (por ej. mediante aspiración al vacío y no con aire comprimido).
Deberá procurarse dos taquillas para cada trabajador en un vestuario apropiado con lavabos.
La ropa de trabajo de cada operario se lavará por separado; los trabajadores no deberán llevarla a lavar a su casa.

Protección de los ojos:
Si es necesario, use gafas o lentes de seguridad con protecciones laterales.

Protección respiratoria:
Para concentraciones de polvo inferiores al límite de exposición no es necesario el uso de equipos de protección respiratoria (EPR), pero pueden usarse máscaras FFP2 si se desea. Para operaciones de corta duración en las que no se supere más de diez veces el valor límite utilice máscaras FFP2. En caso de concentraciones más elevadas o desconocidas, póngase en contacto con su empresa y/o proveedor local de Thermal Ceramics para pedirle consejo. También puede consultar el código ECFIA de práctica disponible en la página web de ECFIA.

INFORMACIÓN Y FORMACIÓN DE LOS TRABAJADORES
Éstas incluyen:
- las aplicaciones que comprenden productos que contienen fibras;
- los riesgos potenciales para la salud provocados por la exposición al polvo de las fibras;
- los requisitos respecto de fumar, comer y beber en el lugar de trabajo.
- los requisitos respecto del equipo y la ropa de protección;
- los hábitos correctos de trabajo para limitar las emisiones de polvo;
- el uso adecuado del equipo de protección.

CONTROLES DE EXPOSICIÓN MEDIOAMBIENTAL
Consulte las normas medioambientales permitidas vigentes en el ámbito local, nacional y europeo para el aire, el agua y el suelo. *Consulte el apartado 13 para la eliminación de residuos.*

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

ASPECTO	Placa, forma especial o molde de color blanco/pardo	**COEFICIENCIA DE REPARTO**	N.A.
PUNTO DE EBULLICIÓN	N.A.	**OLOR**	Ninguno
PUNTO DE INFLAMACIÓN	N.A.	**PUNTO DE FUSIÓN**	> 1650°C
AUTOINFLAMABILIDAD	N.A.	**INFLAMABILIDAD**	N.A.
PROPIEDADES OXIDANTES	N.A.	**PROPIEDADES EXPLOSIVAS**	N.A.
DENSIDAD RELATIVA	300 kg/m³	**PRESIÓN DE VAPOR**	N.A.
SOLUBILIDAD	Débil	**pH**	N.A.
DIÁMETRO GEOMÉTRICO MEDIO MEDIDO EN LONGITUD			> 1,5µm

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

SITUACIONES O MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE
Ninguno

PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN
Si se calienta a más de 900 °C durante periodos prolongados de tiempo, este material amorfo empieza a transformarse en mezclas de fases cristalinas. Para más información, consulte el apartado 16.

HUMOS
Durante el primer calentamiento pueden emitirse productos de oxidación del aglomerante orgánico en un intervalo de temperatura comprendido entre 180°C y 600°C. Se recomienda ventilar la habitación hasta que hayan desaparecido todos los gases y humos. Evite la exposición a elevadas concentraciones de gas o humo.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DATOS EN SERES HUMANOS
Propiedades irritantes
Los ensayos realizados con métodos homologados (Directiva 67/548/EEC, Anexo V, Método B4) no revelan la presencia de FCR en este material. Todas las fibras minerales fabricadas por el hombre, al igual que algunas fibras naturales, pueden producir una suave irritación que provoca picor o, menos frecuentemente, en algunas personas sensibles, un ligero enrojecimiento. A diferencia de otras reacciones irritantes, esta reacción no es el resultado de alergia o de daños químicos de la piel, sino que está provocada por efectos mecánicos temporales.

Efectos sobre la salud respiratoria
No se conocen enfermedades asociadas a la exposición a FCR aunque dichas fibras se hayan usado durante más de 40 años. Los estudios de morbilidad pulmonar se llevaron a cabo entre trabajadores de producción de Europa y EE.UU. En el estudio de morbilidad realizado en EE.UU. se informó de una relación estadísticamente importante entre la exposición a FCR y las placas pleurales; estos efectos no se observaron en el correspondiente estudio europeo. Las placas no desarrollan enfermedad.

DATOS A PARTIR DE EXPERIMENTOS CON ANIMALES
En la preparación de muestras para realizar ensayos con animales hay que moler las lanas de FCR y separar las fibras de tamaño adecuado. Este proceso y su impacto potencial en los resultados experimentales no se han conocido plenamente hasta hace poco. Al igual que en los primeros experimentos realizados con animales, los tumores se produjeron después de inyecciones intrapleurales e intraperitoneales, aunque los experimentos por vía de inhalación no aportaron conclusiones. Se diseñó una serie de experimentos, llamados estudios RCC, para superar las carencias de estos primeros intentos en los que las FCR produjeron fibrosis y un número significativo de tumores, incluyendo algunos mesoteliomas. Sin embargo, estos resultados sólo se obtuvieron con las dosis más altas de exposición empleadas. Es sabido que debido al método usado para preparar las muestras, estas exposiciones incluían un elevado número de partículas no fibrosas que no son típicas de ninguna exposición de seres humanos y que la dosis de partículas y fibras alcanzada en este proceso era suficiente para reducir considerablemente la eliminación del polvo de los pulmones. En la actualidad se consideraría que exceden la dosis máxima tolerada y que suponen una situación que, en los animales, puede provocar inflamación de los pulmones, tumores y mesoteliomas, probablemente por reconducir las fibras a la pleura.

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA DE LA SÍLICE CRISTALINA

TOXICIDAD CRÓNICA
Tal como se fabrican, estos productos pueden contener una cantidad mínima de sílice cristalina.

Estudio experimental
Se ha informado del desarrollo de fibrosis y tumores en animales expuestos a concentraciones muy elevadas de sílice cristalina, artificialmente o por inhalación (Monografías 42 y 68 de la AIIC). La inhalación e instalación intratraqueal de sílice cristalina en ratas provocó el desarrollo de cáncer de pulmón. Sin embargo, estudios realizados con otras especies, como ratones y hámsters, no revelaron la aparición de cáncer de pulmón. La sílice cristalina también provocó fibrosis en varios estudios de inhalación e instalación intratraqueal en ratas y hámsters.

Epidemiología
La inhalación prolongada o repetida de polvo de sílice cristalina respirable puede provocar una lesión pulmonar demorada (silicosis). En la evaluación de la sílice cristalina como factor de riesgo de cáncer, la Agencia Internacional para Investigaciones del Cáncer (AIIC) revisó varios estudios de distintas industrias y llegó a la conclusión de que la sílice cristalina originada en el ámbito laboral, inhalada en forma de cuarzo o cristobalita, es carcinógena para los seres humanos (Grupo 1) [Monografía AIIC; Vol. 68; Junio de 1997]. Sin embargo, al llegar a esta conclusión la AIIC afirmó que no podía encontrarse un proceso de carcinogénesis en los seres humanos en todas las industrias revisadas y que el carácter carcinógeno podría depender de características inherentes de la sílice cristalina o de factores externos que afectasen a la actividad biológica (por ej. el consumo de cigarrillos) o a la distribución de sus polimorfos.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Estos productos son materiales inertes que permanecen estables a lo largo del tiempo.
No se prevé ningún efecto adverso de este material sobre el medio ambiente.

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

Se clasifica el residuo con un contenido superior al 0,1 % de FCR como un residuo peligroso que, en general, se puede tirar en un vertedero de basuras que haya sido autorizado para este fin. Por favor, consulte la Lista europea (Decisión Nº 2000/532/CE modificada) para identificar el número apropiado de su residuo y asegurarse de que cumple con las reglamentaciones nacionales y/o autonómicas. Debería solicitar el consejo de un experto para tener en cuenta cualquier posible contaminación durante su empleo.

A menos que se humedezca, este residuo suele ser pulverulento, por lo que deberá eliminarse adecuadamente introducido en sacos de plástico o contenedores sellados. En algunos vertederos autorizados los residuos pulverulentos pueden tratarse de modo diferente a fin de asegurar que son procesados rápidamente para evitar que el viento los escampe. Compruebe las reglamentaciones nacionales y/o autonómicas aplicables.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

El producto no está clasificado como peligroso según las regulaciones internacionales de transporte (ADR, RID, IATA, IMDG).
Asegúrese de que el polvo no pueda ser llevado por el viento durante el transporte.

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

DEFINICIÓN DEL TIPO DE FIBRA SEGÚN LA DIRECTIVA 67/548/EEC
La Directiva europea 67/548/EEC modificada por la Directiva 97/69/EC y su entrada en vigor en los Estados miembros otorga la situación legal relativa a la clasificación, el etiquetado y el envasado de sustancias y preparados peligrosos.

Según la Directiva 67/548/EEC, la fibra contenida en este producto pertenece al grupo de "fibras vítreas artificiales (silicatos) con orientación aleatoria y contenido de óxidos alcalinos y alcalinotérreos ($Na_2O+K_2O+CaO+MgO+BaO$) inferior o igual al 18 % en peso".

CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FIBRA SEGÚN EL ANEXO I A LA DIRECTIVA 67/548/EEC

Clasificación:	Carcinógeno de Categoría 2; Irritante.
Símbolo:	T (Calavera y tibias cruzadas – tóxico).
Frases de peligro:	
R49:	Puede causar cáncer por inhalación
R38:	Irrita la piel

Se aplica únicamente en la Unión Europea.

La mercadotecnia y el uso de las FCR están controlados por la Directiva 76/769/EEC modificada (21ª enmienda, Directiva 2001/41/EC, 19 de junio de 2001) relativa a las restricciones en la mercadotecnia y el uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos y están limitados exclusivamente a aplicaciones profesionales.

PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES
Se hará de acuerdo con las distintas directivas europeas teniendo en cuenta las enmiendas y aplicaciones de los Estados miembros:

a) Directiva del Consejo 89/391/EEC del 12 de junio de 1989 "relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo" (DOCE (Diario Oficial de la Comunidad Europea) L 183 del 29 de junio de 1989, p.1).
b) Directiva del Consejo 98/24/EC del 7 de abril de 1998 "relativa a la protección de los trabajadores de los riesgos relacionados con los productos químicos en el lugar de trabajo" (DOCE L 131 del 5 de mayo del 1998, p. 11).
c) Directiva del Consejo 90/394/EC del 28 de junio del 1990 "relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a los agentes carcinogénicos en el lugar de trabajo" (DOCE L 196 del 26 de julio de 1990, p. 1)

OTRAS REGULACIONES POSIBLES
Los Estados miembros tienen la responsabilidad de implantar las directivas europeas en sus propias reglamentaciones nacionales en el periodo de tiempo que normalmente se concede en la directiva. Los Estados miembros pueden imponer requisitos aún más restrictivos. Por favor, consulte siempre todas las reglamentaciones nacionales.

16. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

REFERENCIAS ÚTILES (las directivas que se citan deben considerarse en su última versión)

- Consejo de Salud y Seguridad; Documento Informativo, HSE 267/ (1998)
- El trabajo con las FCR; ECFIA; Guía de Uso (Febrero de1998).
- TRGS 521: Faserstäube, febrero de 1999.
- Maxim LD et al (1998). CARE – Un programa europeo sobre el control y la reducción de polvo de FCR en el lugar de trabajo; resultados iniciales. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 58 : 3, 97-103.
- Reconocimiento y control de exposición a las FCR, ECFIA, noviembre de 1999.
- Directiva del Consejo 89/391/EEC del 12 de junio de 1989 "relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo" (DOCE L 183 del 29 de junio de 1989, p.1);
- Directiva del consejo 67/548/EEC "sobre la aproximación a las leyes, regulaciones y provisiones administrativas relativas a la clasificación, el embalaje y el etiquetado de sustancias peligrosas modificadas y adaptadas al progreso técnico" (DOCE L 196 del 16 de agosto de 1967, p. 1 y sus modificaciones y adaptaciones al progreso técnico).
- Directiva de la Comisión 97/69/EC del 5 de diciembre de 1997 adaptada al progreso técnico por 23ª vez. Directiva del consejo 67/548/EEC (OJEC L 343 de 13 diciembre de 1997, p. 19).
- Directiva del Consejo 98/24/EC del 7 de abril de 1998 "relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores de los riesgos relacionados con los productos químicos en el lugar de trabajo" (DOCE L 131 del 5 de mayo del 1998, p. 11).
- Directiva del Consejo 90/394/EC del 28 de junio del 1990 "relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a los agentes carcinogénicos en el lugar de trabajo" (DOCE L 196 del 26 de julio de 1990, p. 1)

MEDIDAS DE PRECAUCIÓN A ADOPTAR DESPUÉS DE SU PUESTA EN SERVICIO Y ANTES DE SU ELIMINACIÓN
Todas las fibras FCR son materiales vítreos que pueden desvitrificar si se exponen de modo continuado a temperaturas elevadas (más de 900 °C). La aparición y extensión de la formación de fase cristalina depende de la duración y la temperatura de exposición, la composición química de la fibra y/o la presencia de fundentes. La presencia de fases cristalinas sólo puede confirmarse mediante análisis de laboratorio de la fibra de la "cara caliente".

La IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) afirma que hay « pruebas suficientes en seres humanos de carcinogénesis por inhalación de sílice cristalinas en forma de cuarzo o cristobalita en puestos de trabajo para clasificar la sílice cristalina como producto carcinógeno para los seres humanos (Grupo 1) ». Sin embargo, conviene destacar que al realizar la evaluación global del grupo de trabajo, no se detectó « la carcinogénesis para los seres humanos en todas las circunstancias industriales estudiadas ».

En la mayoría de las jurisdicciones, hay valores de límites de exposición de la sílice cristalina (cuarzo, cristobalita) que pueden variar según los países y las jurisdicciones locales. Compruebe qué niveles de exposición se aplican a su instalación, y conformarse a las reglamentaciones locales en vigor.

La simulación de una FCR ya utilizada con 27 % de sílice cristalina mostró poca o nula actividad cuando la exposición fue por inhalación o inyección intraperitoneal. Las fibras FCR no resultaron citotóxicas para células macrófago.

Estos productos pueden producir elevadas concentraciones de fibra cuando, después de utilizarlos, se remueven mecánicamente en operaciones como las de demolición. Estos polvos pueden contener sílice cristalina. La ECFIA recomienda:

a) que se tomen medidas de control para reducir las emisiones de polvo, y
b) que todo el personal que esté directamente involucrado lleve un aparato respirador adecuado para minimizar la exposición y cumplir con los límites locales de regulación.

Estos procedimientos asegurarán el cumplimiento de las normas locales de regulación referidas a la exposición de sílice cristalina libre. Además, debido a que las fibras desvitrificadas contienen una mezcla de sílice cristalina, sílice amorfa y otras fases cristalinas, son mucho menos activas biológicamente que los polvos de sílice cristalina libre, estas medidas supondrán un alto grado de protección.

PROGRAMA CARE ("Exposición controlada y reducida")

La Asociación Europea que representa a la industria de lanas para el aislamiento para alta temperatura (ECFIA) ha emprendido un extenso programa de higiene industrial para la lana aislante para alta temperatura. Los objetivos son dobles: (i) el control de las concentraciones de polvo tanto en los locales de los fabricantes como en el de los clientes, y (ii) la documentación de la fabricación y el uso de productos con HTIW desde una perspectiva de higiene industrial para establecer recomendaciones apropiadas con el fin de reducir las exposiciones para participar en el programa CARE, póngase en contacto con ECFIA o con su proveedor.

PÁGINAS WEB:

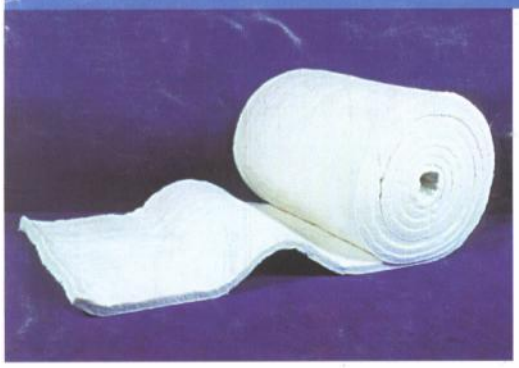
Para más información, conecte con:
La página web de Thermal Ceramics: (http://www.thermalceramics.com/)
o con la página web de ECFIA: (http://www.ecfia.org/)
o con la página web Deutsche KeramikFaser-Gesellschaft e.V (http://www.dkfg.de/)

ADVERTENCIA:

La información que aquí se ofrece se basa en datos considerados precisos en la fecha de preparación de esta Hoja de datos de seguridad del material. Sin embargo, a pesar de cumplir con las exigencias legales de seguridad, no se ofrece ninguna garantía o representación, expresa o implícita, en cuanto a la precisión o el carácter exhaustivo de los datos e información sobre seguridad precedentes, ni se concede ninguna autorización expresa o implícita para practicar cualquier patente de invención sin licencia. Además, el vendedor no puede asumir ninguna responsabilidad por cualquier daño o lesión resultante de usos anormales, por incumplimiento de las técnicas recomendadas, o por cualquier peligro inherente a la naturaleza del producto (sin embargo, lo anterior no restringirá la responsabilidad potencial del vendedor por negligencia o incumplimiento de sus estatutos).

ANEXO 3
FICHA TÉCNICA DE FIBRA

COLCHONETA DE FIBRA CERAMICA



Fibratec*

http://www.fibratec.com

PRODUCTOS DE FIBRA CERAMICA

La colchoneta de Fibra Cerámica **Fibratec*** está hecha a base de fibras cerámicas largas entretejidas formando una colchoneta flexible y de peso ligero para aplicaciones a temperaturas de 538 °C (1000 °F) hasta 1482 °C (2700 °F).

La colchoneta **Fibratec*** combina la resistencia al calor de un ladrillo refractario con bajo peso y la flexibilidad de una fibra refractaria.Tiene mayor capacidad aislante que un refractario duro, además de las siguientes ventajas:

Aplicaciones Típicas:

Metal Mecánica
- Hornos de tratamiento térmico
- Sellos y aislamiento en puertas
- Hornos de precalentamiento y tapas de ollas
- Reparaciones en la cara caliente de los hornos

Refinación y Petroquímica
- Aislamiento de reformadores
- Juntas de expansión, sellos y empaques
- Aislamiento en tubería, ductos y turbinas
- Aislamiento en calentadores de crudo

Cerámica
- Carros de baja masa térmica
- Hornos intermitentes y continuos

Generación de Energía
- Aislamiento en calderas
- Puertas de calderas
- Cubiertas reusables de turbinas
- Sellos de expansión en tubería

Otros
- Aislamiento para secadores y estufas
- Aislamiento veneer sobre refractario duro
- Aislamiento en revelado de esfuerzos
- Aislamiento en hornos de vidrio
- Protección contra incendio

Ventajas:

- Baja conductividad térmica
- Bajo almacenamiento de calor
- Resistencia al choque térmico
- Absorbe el sonido
- Fácil de cortar, doblar y empacar
- La instalación puede ser expuesta a temperatura de operación inmediatamente
- No requiere secado ni curado
- Alta resistencia a la tensión
- Rapidez y facilidad de instalación, es muy económico para instalar
- No contiene asbesto
- No contiene aglutinantes, no causa humos ni contaminación en la atmósfera

o

CERAMIC FIBER BLANKET
Technical Specifications

BLOWN

Typical Physical Properties		LT	RT	HP	HT
Max. Use Limit.	°C (°F)	1000 (1833)	1260 (2300)	1315 (2400)	1482 (2700)
Continuous Use Limit	°C (°F)	900 (1652)	1160 (2120)	1200 (2192)	1380 (2516)
Melting Point.	°C (°F)	1760 (3200)	1760 (3200)	1760 (3200)	1760 (3200)
Fiber Diameter	Microns	2.5	2.5	2.5	2.5
Fiber Length.	mm(in)	178 (7)	178 (7)	178 (7)	178 (7)

Linear Shrinkage (%)				
24 Hr @ 1000 °C (1832 °F)	2.0	–	–	–
24 Hr @ 1100 °C (2012 °F)	–	2.0	1.8	–
24 Hr @ 1300 °C (2372 °F)	–	–	–	2.0

Chemical Analysis (%)				
AL_2O_3	42-46	46-48	44-50	52-54
SiO_2	50-60	49-55	50-56	42-46
Fe_2O_3	0.7-1.5	0.8-1.2	0.1-0.2	0.1-0.2
TiO_2	1.5-1.9	1.5-1.9	0.1-0.2	0.1-0.2

Blanket Dimensions

Standard	European
1/4" x 24" x 600"	6 x 610 x 29280mm
1/2" x 24" x 600"	12.5 x 610 x 14640mm
1" x 24" x 300"	25 x 610 x 7320mm
1-1/2" x 24" x 150"	38 x 610 x 4820mm
2" x 24" x 150"	50 x 610 x 3660mm
Also available in 48" width	Also available in 1220mm width

Especificaciones Técnicas

NUTEC

	LT	RT	HPS	HTZ	HT
TEMPERATURAS MAXIMAS RECOMENDADAS					
°C	1000	1260	1315	1425	1482
°F	1800	2300	2400	2600	2700
ENCOGIMIENTO TERMICO (%)					
24 Hrs @ 1000°C (1800°F)	2.0	-	-	-	-
24 Hrs @ 1100°C (2000°F)	-	2.0	1.8	-	-
24 Hrs @ 1300°C (2400°F)	-	-	-	2.0	2.0
COMPOSICION QUIMICA (%)					
AL_2O_3	42-46	46-48	44-50	33-37	52-54
SiO_2	50-60	49-55	50-56	47-51	42-46
ZrO_2	-	-	-	13-19	-
Fe_2O_3	0.7-1.5	0.8-1.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
TiO_2	1.5-1.9	1.5-1.9	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2

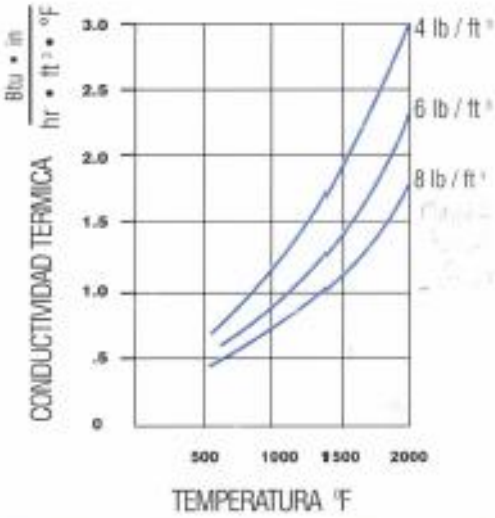
Dimensiones Estandar

Densidad: 4,6 y 8 lbs/ft³ (64, 96 y 128 kg/m³)
Espesor: 1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2" (6, 13, 25, 38, 51 mm)
Ancho: 24" y 48" (0.6 y 1.2 m)
Largo: 12 1/2, 25 y 50ft (3.8, 7.6 y 15.2m)

• Los datos técnicos están basados en el promedio de pruebas de laboratorio y sujetos a variaciones individuales.

• La fibra HPS y HTZ son producidos por el proceso "spun". Este proceso produce fibras largas que dan a nuestros productos una mayor resistencia a la tensión.

• Las fibras LT, RT y HT son producidas por el proceso "blown". Este proceso produce una fibra fina y suave ideal para aplicaciones como el aislamiento de moldes de fundición.



CALORTEC, S.A. DE C.V.
AARON SAENZ # 1918 PTE. • 64650 MONTERREY, MEXICO
PH (52) 8151 3200 • FAX (52) 8378 3434
e-mail: mail@fibratec.com

http://www.fibratec.com

ANEXO 4
FICHA TÉCNICA LADRILLOS REFRACTARIOS

U-32

Clasificación NTC - 773, ASTM C-27	Altamente Refractarios High Duty
Análisis Químico (%)	
Al_2O_3	40.5
SiO_2	54.0
Fe_2O_3	2.1
TiO_2	2.1
CaO	0.3
MgO	0.3
Álcalis	0.4
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	32 1/2
Temperatura equivalente (ºC) NTC -706, ASTM C-24	1724
Porosidad aparente (%) NTC -674, ASTM C-20	22.0 - 26.0
Densidad aparente (g/cm^3) NTC -674, ASTM C-20	2.03 - 2.13
Resistencia a la compresión en frío. Mpa (kg/cm^2) NTC -682, ASTM C-133	17.0 - 25.0 (170 - 250)
Módulo de ruptura en frío. Mpa (kg/cm^2) NTC -682, ASTM C-133	6.0 - 12.0 (60 - 120)
Cambio lineal permanente a 1400 ° C (%) NTC - 688, ASTM C – 113	0.0 - 0.2 C
Deformación bajo carga en caliente a 1350 ° C (%) NTC - 1107, ASTM C - 16	0.1 - 0.7

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial de ladrillos normales prensados de 9" utilizando los procedimientos descritos en las Normas Técnicas Colombianas y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación

C= Contracción

1997-01-10

ANEXO 5
FICHA TÉCNICA CEMENTO REFRACTARIO

CONCRAX UG

Clasificación NTC - 814 , ASTM C – 401			Clase B
Análisis Químico %			
Al_2O_3			36.2
SiO_2			45.0
Fe_2O_3			4.8
TiO_2			1.6
CaO			10.0
MgO			0.4
Álcalis			1.4
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)			14
Temperatura equivalente ºC NTC – 706 , ASTM C-24			1398
Máxima temperatura de servicio recomendada ºC			1320
Máximo tamaño de grano mm			5
Material seco requerido por metro cúbico kg			1950 – 2100
Agua de preparación cm^3 de agua/kg de material seco NTC - 988 , ASTM C – 860			130 – 140
Densidad volumétrica ºC - g/cm^3 ASTM C - 134	110 1000 1260	2.00 - 2.15 1.90 - 2.00 1.90 - 2.00	
Módulo de ruptura en frío ºC - Mpa (kg/cm^2) NTC - 988 , ASTM C-133	110 1000 1260	5.0 - 8.0 3.0 - 6.0 7.0 - 10.0	(50 - 80) (30 - 60) (70 - 100)
Resistencia a la compresión en frío °C -Mpa (kg/cm^2) NTC - 682 , ASTM C - 133	110 1000 1260	25.0 - 50.0 20.0 - 30.0 20.0 - 30.0	(250 - 500) (200 - 300) (200 - 300)

ANEXO 6
MANUAL PARA DESMONTAR EL HORNO

Con el fin de minimizar los accidentes e imprevistos en la manipulación de cada uno de los elementos del horno, es necesario establecer una serie de precauciones básicas, teniendo en cuenta el caso de llegar a desarmarlo.

Además se considera una prioridad contar con una serie de recomendaciones de seguridad, puesto que la fibra con la que se va a tener contacto es cancerígena de dos categorías.

1. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

- *Protección de la piel:*

  - Lleve guantes y ropa de trabajo holgados en el cuello y los puños.
  - Límpiese la ropa sucia antes de quitársela.
  - La ropa de trabajo de cada operario se lavará por separado.
  - Los trabajadores no deberán llevarla a lavar a su casa.

- *Protección de los ojos:*

Si es necesario, use gafas o lentes de seguridad con protecciones laterales.

- *Protección respiratoria:*

  - Para concentraciones de polvo inferiores al límite de exposición no es necesario el uso de equipos de protección respiratoria (EPR), pero pueden usarse máscaras FFP2 si se desea.
  - Para operaciones de corta duración en las que no se supere más de diez veces el valor límite utilice máscaras FFP2.
  - En caso de concentraciones más elevadas o desconocidas, póngase en contacto con su empresa y/o proveedor local de Thermal Ceramics para pedirle consejo.

- *Nota:*

Recuerde que estas recomendaciones están dirigidas, a trabajadores que manipulan a diario esta fibra produciendo grandes cantidades de material particulado. Así que no se alarme y siga las recomendaciones, ya que usted solo la manipulara por un tiempo mínimo.

Todas las fibras FCR son materiales vítreos que pueden desvitrificar si se exponen de modo continuado a temperaturas elevadas (más de 900 ºC). La IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) afirma que hay “pruebas suficientes en seres humanos de carcinogénesis por inhalación de sílice cristalinas en forma de cuarzo o cristobalita en puestos de trabajo para clasificar la sílice cristalina como producto carcinógeno para los seres humanos (Grupo 1)”.

2. LIMITES DE EXPOSICION

LIMITES DE EXPOSICIÓN A FIBRAS CERÁMICAS

PAÍS	LÍMITE DE EXPOSICIÓN					FUENTE
	FIBRA CERAMICA *(1)*	POLVO RESPIRABLE *(2)*	SILICE CRISTALLINA *(2)*	CUARZO *(2)*	CRISTOBALITA *(2)*	
Alemania		3 mg/m3				TRGS 900
Francia	0.6 f/ml	5 mg/m3		0.10 mg/m3	0.05 mg/m3	Circulaire DRT No 95-4 du 12.01.95
Reino Unido	1.0 f/ml y 5 mg/m3	4 mg/m3	0.30 mg/m3			HSE - EH40

(1) *Promedio ponderado de tiempo de concentraciones de fibras respirables en suspensión en el aire medidas en 8 horas, por el método de filtro con membrana convencional o del polvo inhalable total, usando técnicas gravimétricas estándar.*

(2) Promedio ponderado de tiempo, medido en 8 horas, de concentraciones gravimétricas en forma de polvo respirable o inhalable.

3. PRIMEROS AUXILIOS

- *Piel:*
  - ❖ En caso de irritación de la piel, enjuague las zonas afectadas con agua y lávese suavemente.
  - ❖ No refriegue ni arañe la piel expuesta.
- *Ojos:*
  - ❖ En caso de contacto con los ojos lávese abundantemente con agua; tenga a mano un colirio (Algodón).

- ❖ No se frote los ojos.

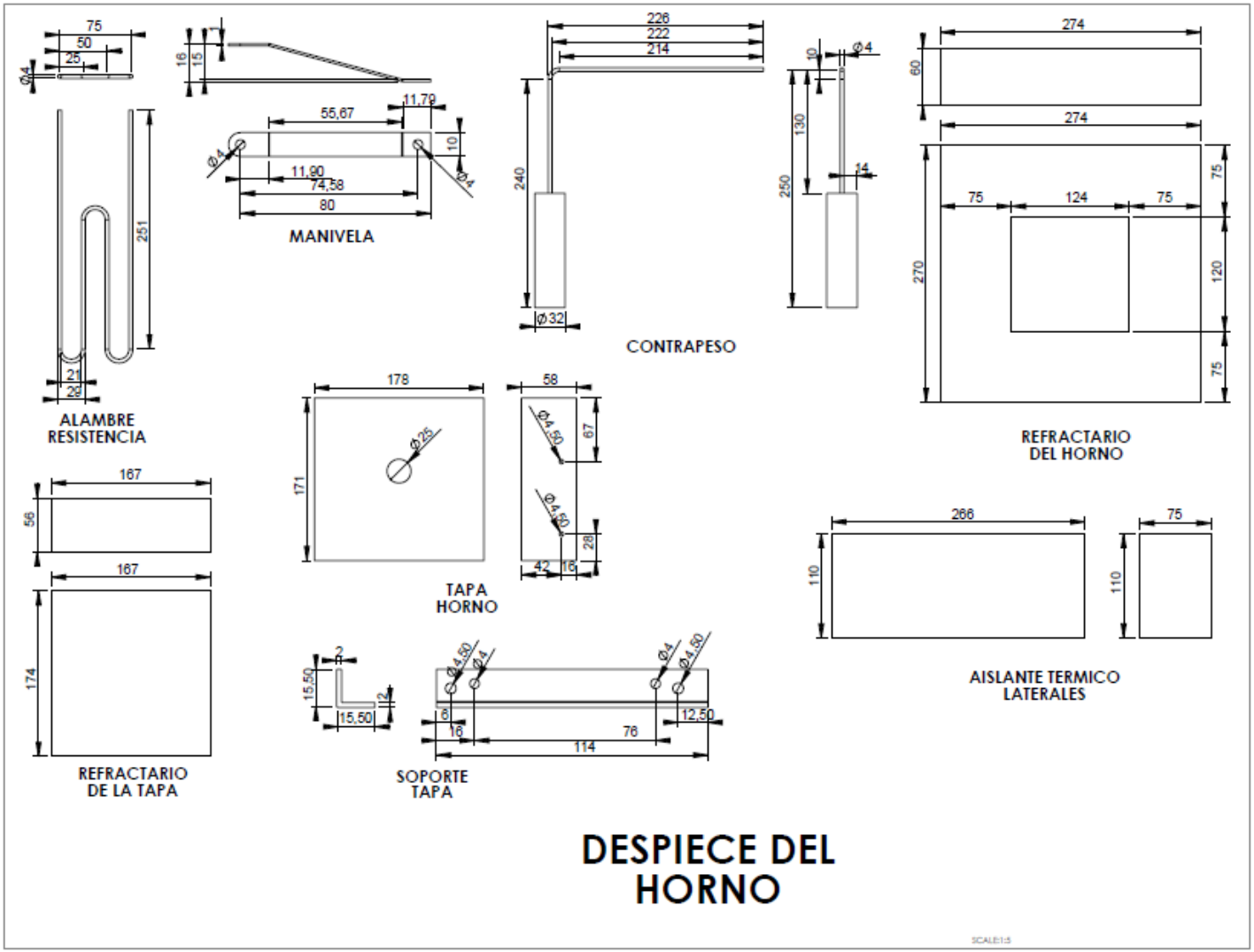
- *Nariz y garganta:*

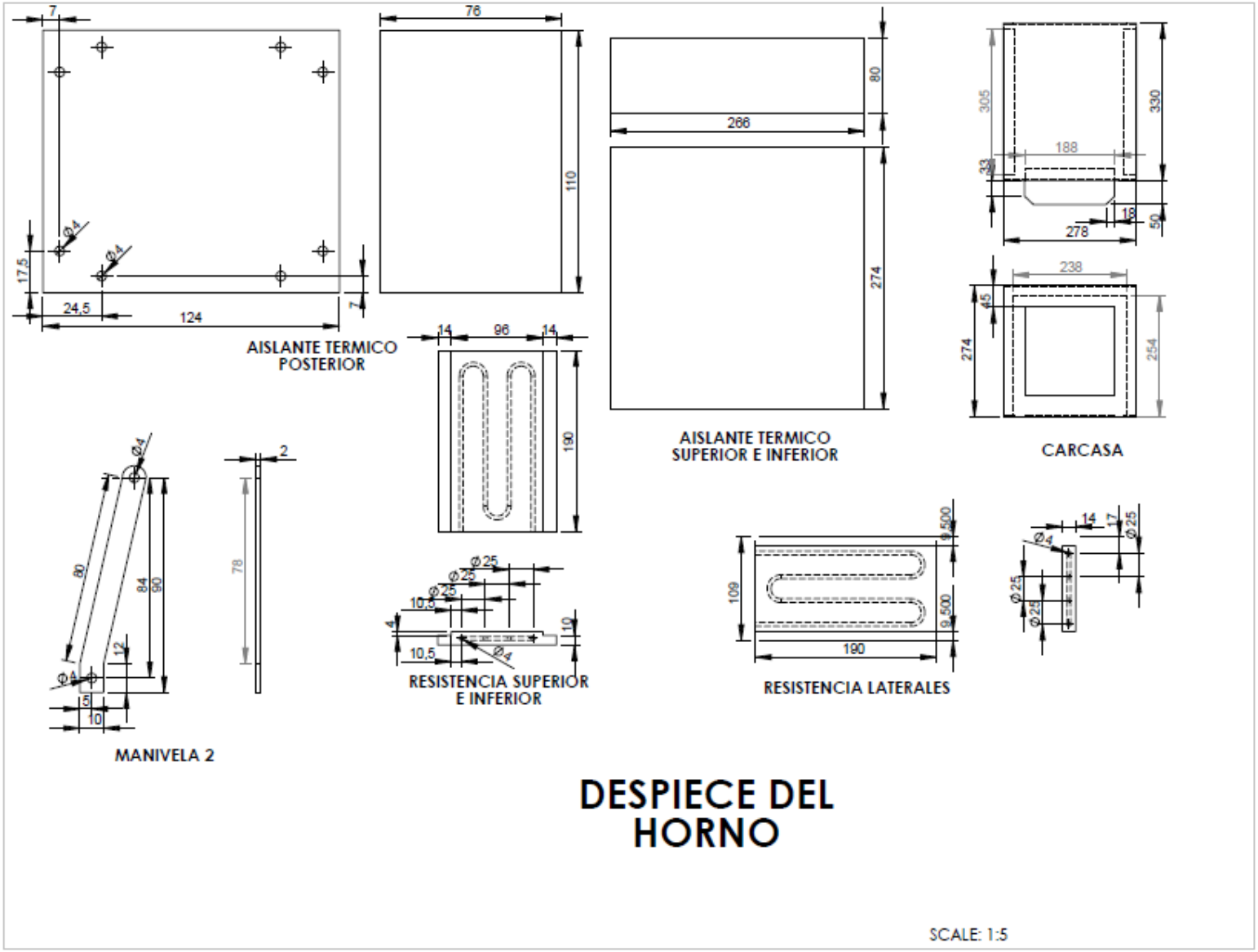
  - ❖ Si sufren irritación, la persona afectada debe trasladarse a una zona libre de polvo, beber agua y sonarse.
  - ❖ En caso de síntomas persistentes, acudir al médico.

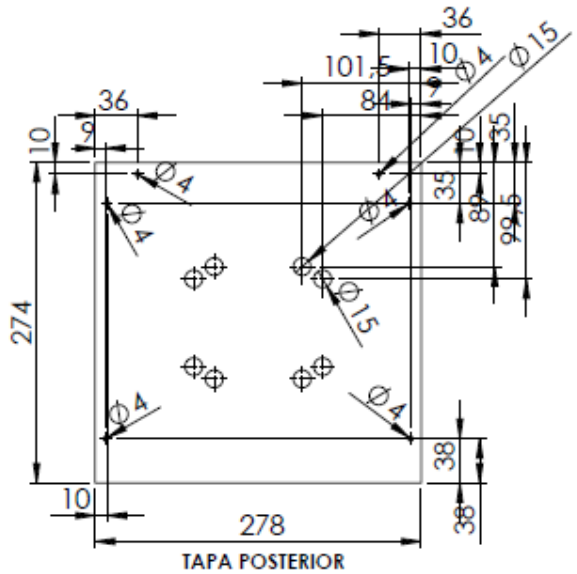
4. LAS RESISTENCIAS

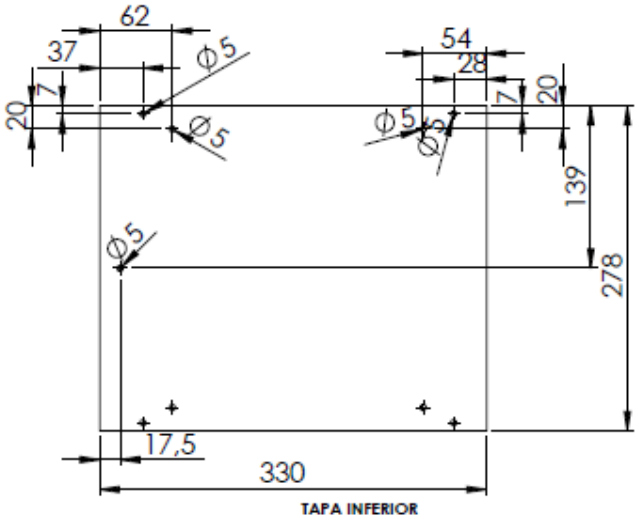
Debido a que el alambre con el cual están fabricadas estas resistencias está sometido al calor directo producido, este se fragiliza y cualquier dobles que se haga fatiga el material. De tal manera que procure no manipular el alambre que las compone, ya que según recomendación del fabricante, una vez montadas no se deben mover.

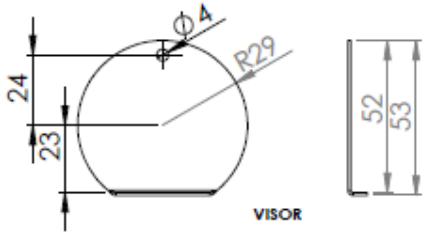
ANEXO 7
PLANOS DEL HORNO




AISLANTE TERMICO POSTERIOR
AISLANTE TERMICO SUPERIOR E INFERIOR
CARCASA
RESISTENCIA SUPERIOR E INFERIOR
RESISTENCIA LATERALES
MANIVELA 2
DESPIECE DEL HORNO
SCALE: 1:5

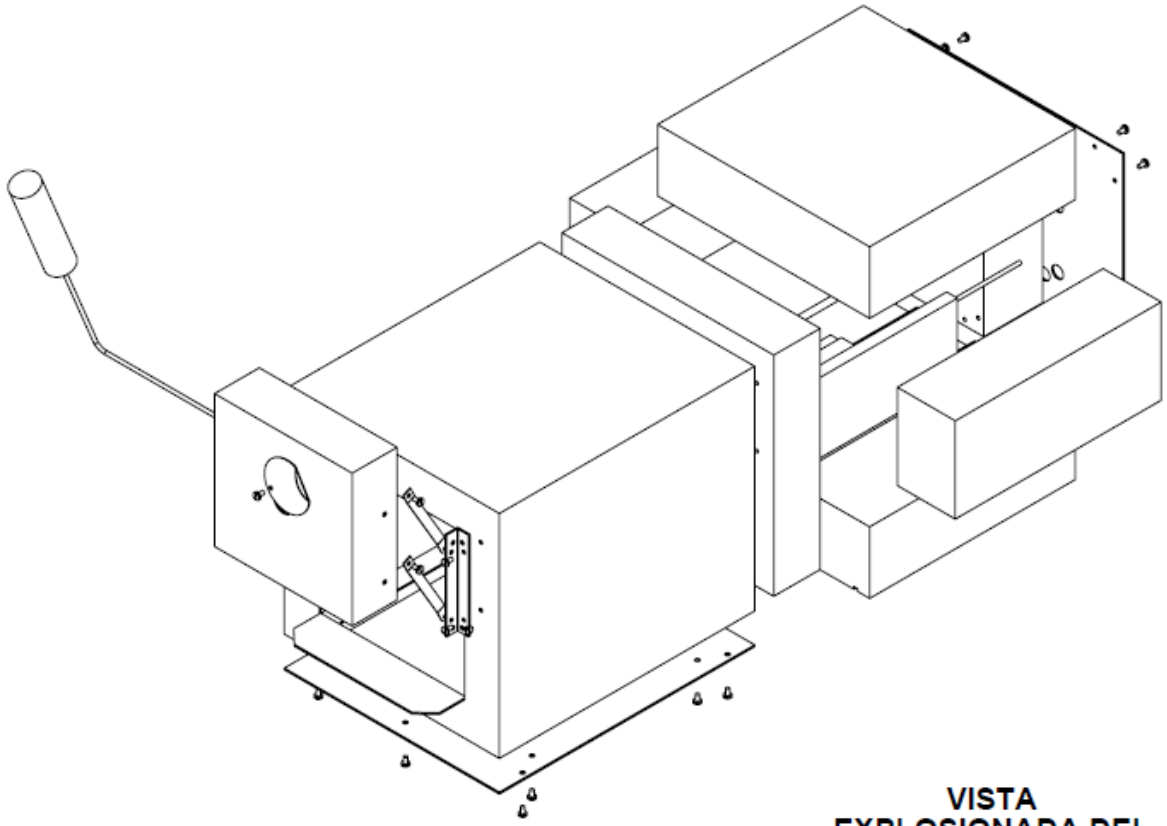






DESPIECE DEL HORNO

SCALE: 1:5



VISTA EXPLOSIONADA DEL HORNO

ESCALA:1:10