

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR
ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA**

PRESENTADO POR:

CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ

CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ

DIEGO ALBERTO ROLIN MENJÍVAR

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIA GENERAL :

Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR
ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA**

Presentado por :

**CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ
CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ
DIEGO ALBERTO ROLIN MENJÍVAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, junio de 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

Al ser supremo por la determinación, perseverancia y un nivel de conciencia para no dudar de mis capacidades para seguir adelante y otorgarme unos padres que me apoyaron y predicaron con el ejemplo de no rendirse a pesar de las dificultades quienes siempre han estado en momentos difíciles motivándome y creyendo en mí.

Dedicó de manera especial a todas las personas que conocí desde que inicié mis estudios universitarios en algún momento de desánimo me brindaron unas palabras de motivación y sabiduría.

Carlos Daniel

DEDICATORIA

A mi padre Salvador López a mi madre Ana Evelin Martínez, que han sido un pilar fundamental durante mi etapa de estudios quienes siempre me han motivado y creído en mí de manera incondicional hasta el día de hoy.

De igual manera a mis abuelas que en paz descansan Benigna Vásquez y Natalia Martínez que siempre fomentaron en mi valores y principios para ser un hombre de bien, humilde y correcto, este trabajo de graduación es para ustedes familia.

Carlos Marcelo

DEDICATORIA

A mi padre Jorge Alberto Rolin Sánchez porque siempre me apoyo para la realización de mis estudios, aun con las dificultades que representa siempre se mantuvo constante en su determinación de ver que yo pudiera llegar hasta donde me encuentro ahora.

A mi madre Rosa Irma Menjívar Méndez, que siempre se preocupó por mi bienestar, además de que me brido incondicionalmente, su apoyo a lo largo de este arduo camino, hasta lograr la terminación de mi carrera, confiando siempre en mi capacidad de lograrlo.

A mis hermanas y hermano, que, gracias a este importante logro, he conseguido también aportar en parte a motivar y despertar en ellos ese anhelo de lograr alcanzar grandes metas de estudio y superación también.

A mis demás familiares que siempre estuvieron pendientes de mi desarrollo durante cursaba mis estudios y me brindaron su apoyo y palabras de motivación que también me impulsaron a no abandonar mis metas por cumplir.

Diego Alberto

AGRADECIMIENTO

A mi padre quien me enseñó que no importa porque este pasando en la vida o que ya este a un paso de la muerte lo que tienes que hacer hazlo. Gracias por enseñarme ese nivel de responsabilidad mostrarme que las personas al final pueden elevar su conciencia, trascender, reconocer los errores y pedir perdón.

A los docentes, les quiero agradecer por poner a disposición sus conocimientos que me permitieron y ayudaron a que hoy en día haya podido llegar a esta etapa de mi carrera.

Al Dr. y M.sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, gracias por su apoyo y enseñanza, le agradezco mucho por haber sido muy paciente y compartir sus conocimientos y experiencia.

A todas esas personas que a lo largo de mi viaje conocí y tuve la oportunidad de convivir y se convirtieron en mis amigos, quienes me ayudaron cuando más lo necesitaba. Así, especialmente a esas personas que me han brindado su apoyo y conocimientos durante esta última etapa de mi carrera.

Carlos Daniel

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecerle a Dios por brindarme salud y fuerzas para afrontar la vida y llevarme siempre por los caminos correctos.

A mi Padre Salvador López que con su trabajo y esfuerzo siempre me brindo todo lo necesario para que pudiera seguir adelante, con sus palabras me motivo en los momentos más adversos incluso cuando ni yo mismo creí en mí, a mi madre Ana Evelin Martínez que estuvo para mi dándome su cariño incondicional y recordándome en todo momento que el estudio es la mejor herencia de los padres a los hijos. Gracias por toda la paciencia todos estos años y por nunca dejarme solo en este camino.

A mis hermanos Jonathan, Nicol, Edgardo y Joseph que en algún momento de mi vida con su amor siempre estuvieron conmigo para darme fuerzas y motivarme a seguir adelante.

A mi padrastro Jorge Alberto Rosales que siempre me abrió las puertas de su casa y su familia como un refugio cuando no tenía otro lugar más a donde ir y siempre ser una persona honesta y sensata conmigo.

A mis compañeros de trabajo de grado que pese a todas las adversidades y dificultades siempre buscamos la manera de apoyarnos para salir adelante con la investigación y cerrar este largo proceso.

Finalmente, al Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, gracias por su asesoría, apoyo y paciencia a lo largo del trabajo de grado, compartiendo sus conocimientos y experiencia.

Carlos Marcelo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mi padre Jorge Alberto Rolin Sánchez y a mi madre Rosa Irma Menjívar Méndez porque ellos siempre me brindaron su apoyo durante mi proceso de formación académica y profesional, siempre confiaron en mi capacidad para llegar hasta donde me encuentro ahora, a este punto de mi vida en el que casi finalizo una gran meta de culminar mis estudios y obtener este logro tan importante.

Agradezco a los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador, por brindar la formación académica y compartir sus conocimientos, especialmente al Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, que tanto nos asesoró como también nos compartió su conocimiento para guiar este trabajo de graduación.

Agradezco también a todos mis compañeros que conocí durante realizaba mis estudios y que siguieron conmigo este camino de superación con ellos tuve la oportunidad de trabajar y aprender un poco de ellos, especialmente a mis compañeros en este trabajo de graduación, por entender las dificultades que fueron surgiendo y con los que las hemos ido superando al largo de este proceso.

Diego Alberto

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA

Estudiantes: Brs. Carlos Daniel Amaya López¹, Carlos Marcelo López Martínez² y Diego Alberto Rolin Menjívar³

Docente asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz⁴
Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se realizó un diseño de un horno para asistir ensayos de tracción con temperatura, para ello se realizó una investigación sobre tipos, de hornos materiales de las capas y orden en el cual se deben colocar, sistemas de control de temperatura, y sobre el ensayo de tracción para conocer la configuración de las máquinas y determinar el diseño estructural del horno adecuarlo al diseño de existente en la Escuela de Ingeniería Mecánica al finalizar el diseño del horno se determinó la potencia absorbida y esto facilitó los cálculos y posteriormente se selección de componentes eléctricos para diseño del sistema eléctrico, se prosiguió con el estudio de los tipos de sistemas de control de temperatura. De acuerdo a la investigación se definieron y analizaron los requerimientos, o parámetros necesarios para la selección del tipo de controlador de temperatura, sensor de temperatura que permita medir y controlar la temperatura. Finalmente, se obtuvo la propuesta de diseño de un horno capaz de asistir ensayos de tracción no solo sometiendo a las probetas a cargas de desplazamiento sino también a diferentes temperaturas.

Palabras claves: Control de temperatura; Diseño del horno; y Ensayo de tracción.

1 carlosguitar492@gmail.com

2 diego.rolinm@gmail.com

3 carlosmarcelolopezmartinez431@gmail.com

4 jonathan.berrios@ues.edu.sv

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Influencia de la temperatura en las propiedades estáticas.....	4
1.2.1. Propiedades que se determinan a partir de un ensayo de tracción	5
1.3. Ensayo de tracción a alta temperatura	6
1.4. Termofluencia.....	8
1.4.1. Ensayo de termofluencia.....	9
1.4.2. Tiempos de velocidad de termofluencia lenta y de ruptura.....	11
1.5. Tipos de hornos utilizados en la industria	14
1.5.1. Clasificación de los hornos	15
1.5.2. Hornos según el sistema de calentamiento.....	15
1.5.3. Hornos según la atmósfera principal.....	16
1.6. Componentes de los hornos.....	18
1.6.1. Partes principales de un horno al vacío	18
1.6.2. Partes principales de un horno de atmósfera de tipo generadora exotérmico y endotérmico	18
1.6.3. Partes principales de un horno de resistencia eléctrica.....	19
1.7. Elementos de resistencia.....	20
1.7.1. Resistencias metálicas, materiales	20
1.7.2. Aleaciones de base níquel-cromo	21
1.7.3. Aleaciones de base fe-cr-al (kanthal).....	23
1.8. Cálculo de la resistencia.....	25
1.8.1. Calentamiento de la resistencia por efecto joule	26
1.8.2. Factores que intervienen en el cálculo de la resistencia eléctrica	27
1.8.3. Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo.....	30
1.9. Refractarios utilizados en la construcción de hornos	31
1.10. Recanismo de transferencia de calor	32
1.10.1. Conducción	33
1.10.2. Convección.....	34
1.10.3. Radiación	35
1.11. Sistemas de control para hornos eléctricos.....	36
1.11.1. Tipos de sistemas de control	37
1.11.2. Tipo de acciones de control	38
1.11.3. Elemento del sistema de control.....	42

	Pág.
2. PROPUESTA DE DISEÑO DEL HORNO	50
2.1. Dimensiones externas del horno	51
2.2. Diseño térmico del horno.....	53
2.2.1. Disposiciones de las capas de el horno	53
2.2.2. Características de los materiales a utilizar en las capas del horno.....	55
2.2.3. Análisis térmico.....	58
2.2.4. Coeficiente de transferencia de calor por convección	59
2.2.5. Coeficiente de transferencia de calor por radiación.....	62
2.2.6. Coeficiente de transferencia de calor combinado.....	62
2.2.7. Cálculo de los espesores de las capas que conforman el horno	63
2.2.8. Cálculos de pérdida de calor al exterior del horno	63
2.2.9. Cálculo del espesor e_1	64
2.2.10. Cálculo del espesor e_2 y selección del espesor e_3 para el acero de la cubierta.....	65
2.2.11. Calor acumulado total en el horno	68
2.3. Cálculo de la resistencia.....	70
2.3.1. Elementos de resistencia	72
2.3.2. Cálculo del diámetro del hilo (d).....	73
2.3.3. Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo de la resistencia	74
2.3.4. Cálculo de la longitud radiante del hilo (l).....	76
2.3.5. Cálculo del diámetro de la hélice (d)	76
2.3.6. Cálculo del número de espiras (n)	77
2.3.7. Cálculo de la longitud de la espira comprimida (lw).....	78
2.3.8. Cálculo del paso del arrollamiento (s)	78
2.3.9. Cálculo de la longitud de la espira extendida (le)	79
2.4. Selección de elementos del sistema de control de temperatura	80
2.4.1. Criterios de selección del controlador	80
2.4.2. Controlador de temperatura	81
2.4.3. Selección de la termocupla	83
2.5. Diseño del sistema de control eléctrico.....	84
2.5.1. Dimensionamiento de elementos de control.....	85
2.5.2. Selección del contactor.....	85
2.5.3. Selección de relé	87
2.5.4. Selección del relé temporizador	88
2.5.5. Selección del interruptor termomagnético	89
2.5.6. Selección de elementos de mando y señalización	90
2.5.7. Selección del cable eléctrico.....	91
2.5.8. Instalación del circuito de control	91
2.5.9. Instalación de circuito de carga.....	94

	Pág.
2.6. Diseño de sistema de atmósfera inerte.....	94
2.6.1. Cilindro de gas argón.....	95
2.6.2. Varilla de plata plana al 5% y cinta teflón.....	96
2.6.3. Regulador y manguera para cilindro de gas argón.....	97
2.6.4. Hermeticidad del horno.....	98
2.6.5. Tubo galvanizado	99
2.7. Diseño de componentes y cambios en la estructura de la máquina de ensayos	100
2.7.1. Rediseño de placa móvil superior	101
2.7.2. Rediseño de placa móvil inferior	104
2.7.3. Diseño de las barras móviles	105
2.7.4. Tipo de rosca de tornillos de placas móviles	108
2.7.5. Placa fija superior	108
2.7.6. Mordazas para prueba de tracción.....	109
2.8. Análisis de la estructura que soportara el horno	110
2.8.1. Parámetros de diseño.....	111
3. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	117
3.1. Costos directos de construcción	117
3.1.1. Materia prima directa (mpd)	118
3.1.2. Mano de obra directa (mod).....	121
3.2. Costos indirectos	130
3.3. Costos totales.....	131
CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	134
ANEXOS.....	137
Anexos A. Especificaciones técnicas y cotizaciones	138
Anexos B. Manuales	163
Anexos C: Planos.....	184

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Variaciones entre la temperatura de ensayo especificada T y las temperaturas indicadas Ti, y máximas variaciones admisibles a lo largo de la probeta, para distintos intervalos de prueba.....	8
Tabla 1.2. Clasificación de hornos	15
Tabla 1.3. Características principales de las aleaciones de base.....	21
Tabla 1.4. Resistividad eléctrica de aleaciones Ni-Cr a diferentes temperaturas.....	22
Tabla 1.5. Coeficiente de resistividad para aleaciones níquel-cromo a diferentes temperaturas.....	23
Tabla 1.6. Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al.....	24
Tabla 1.7. Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al	25
Tabla 1.8. Propiedades físicas de materiales aislantes	32
Tabla 1.9. Relación de sensores tradicionales según el campo de utilización	46
Tabla 1.10. Tipos de RTDs	47
Tabla 1.11. Materiales, intervalos de temperatura, tensión y letra con que se designa a diferentes termocuplas.	49
Tabla 2.1. Propiedades de refractarias aislantes JM.	56
Tabla 2.2. Conductividad térmica de las mantas Superwool® Plus	57
Tabla 2.3. Espesores disponibles de las mantas Superwool® Plus.....	57
Tabla 2.4. Espesores finales de las capas del horno y diámetro final.....	68
Tabla 2.5. Resumen de temperaturas para cada cara de las paredes que conforman el horno.....	69
Tabla 2.6. Datos para el cálculo del diámetro del hilo	74
Tabla 2.7. Relación para resistencias Kanthal A/AF/AE	75
Tabla 2.8. Diámetro de la espiral (D) y paso del arrollamiento (s)	76
Tabla 2.9. Datos de la resistencia eléctrica kanthal A1.....	80
Tabla 2.10. Características de termocupla tipo K	84
Tabla 2.11. Parámetros de selección	86
Tabla 2.12. Características del contactor	87
Tabla 2.13. Características del relé de pines.....	88
Tabla 2.14. Generalidades del cilindro de gas.....	96
Tabla 2.15. Materiales selladores.....	97
Tabla 2.16. Especificación es Técnicas.....	98
Tabla 2.17. Fabricación de rosca para tubería	99
Tabla 2.18. Radios y espesores de las capas que componen al horno	112
Tabla 2.19. Propiedades de las capas que componen al horno	112
Tabla 2.20. Referencia de roscas UNC y UNF para pernos en pulgadas	114
Tabla 2.21. Resultados obtenidos de la simulación de la soldadura.....	116
Tabla 3.1. Costos de materia prima para componentes de control, alimentación eléctrica y sistema de gas inerte	118
Tabla 3.2. Costos de materiales para la modificación de la máquina de ensayos	119
Tabla 3.3. Costos de materiales para la construcción del horno.....	120

	Pág.
Tabla 3.4. Costos de los componentes para la fabricación de la estructura que soportara el horno para altas temperaturas.....	121
Tabla 3.5. Condiciones de operación para perforar en diversos materiales con brocas comunes	123
Tabla 3.6. Porcentaje de valores para una máquina luego de su uso o explotación.....	124
Tabla 3.7. Precios máximos para el suministro eléctrico en mediana demanda y baja tensión (voltaje).....	130
Tabla 3.8. Costos totales de la materia prima utilizada.....	131
Tabla 3.9. Costos totales de la mano de obra directa necesaria	132
Tabla 3.10. Costo total de construcción de horno.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Efecto de la temperatura: a) Sobre la curva esfuerzo de formación; y b) sobre el comportamiento de las propiedades de una aleación de aluminio por efecto de las altas temperaturas	4
Fig. 1.2. Dimensiones de probeta sección circular según norma ASTM E8. Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos	7
Fig. 1.3. El movimiento de la cruceta se puede llevar a cabo con el uso de tornillos o un mecanismo hidráulicos.....	10
Fig. 1.4. Curvas de termofluencia para las pruebas realizadas en el acero A387 Gr.5 C2	11
Fig. 1.5. Curva de deformación de fluencia versus tiempo	11
Fig. 1.6. Efecto de la temperatura o del esfuerzo aplicado sobre la curva de termofluencia	12
Fig. 1.7. Diagrama típico de esfuerzo-ruptura mostrando los datos de una serie de probetas ensayadas a la misma temperatura bajo Cargas diferente [1].	14
Fig. 1.8. Relación entre magnitudes eléctricas	26
Fig. 1.9. Factores que intervienen para el cálculo de resistencias eléctricas	27
Fig. 1.10. Carga específica máxima de las resistencias Kanthal A1/AF/APM.....	30
Fig. 1.11. Diagrama de bloques de un control automático de para hornos de resistencia	37
Fig. 1.12. Diagrama de bloques de lazo abierto	38
Fig. 1.13. Sistema de lazo cerrado o retroalimentación	38
Fig. 1.14. Diagrama de bloques con acción PID.....	39
Fig. 1.15. Componentes primordiales de un PLC	43
Fig. 1.16. Funda típica montada en sonda RTD	45
Fig. 1.17. Curvas características fem/temperatura de los termopares	49
Fig. 2.1. Modelo de horno para altas temperatura con atmósfera inerte de argón accesorio de la máquina de ensayos de tracción instrumentada.....	51
Fig. 2.2. Dimensiones en mm de la placa superior móvil con la que cuenta la máquina de ensayos de tracción.....	52
Fig. 2.3. Horno tubular vertical de alta.....	52
Fig. 2.4. Disposición de las capas del horno.	54
Fig. 2.5. Manta aislante de alta temperatura.	58
Fig. 2.6. Carga específica máxima de las resistencias kanthal A1 22-6	72
Fig. 2.7. Forma del elemento de resistencia.....	73
Fig. 2.8. Diámetro de hélice del resorte.....	77
Fig. 2.9. Longitud comprimida del resorte.....	78
Fig. 2.10. Paso de arrollamiento s del resorte	79
Fig. 2.11. Comparación del comportamiento de los controladores P, PD, PI y PID	81
Fig. 2.12. Controlador de temperatura AX2-1-A 48 x 96 mm o un Relé HANYOUNG NUX.....	82
Fig. 2.13. Especificaciones generales controlador de temperatura AX2-1-A 48X96 mm	82
Fig. 2.14. Termocupla tipo K	83
Fig. 2.15. Contactor tres polos 110 V, 60 Hz.....	87
Fig. 2.16. Relé auxiliar de 8 pines 120 V AC	88
Fig. 2.17. Relé temporizador de 24 V - 120 V AC.....	89

	Pág.
Fig. 2.18. Interruptor termomagnético 2 polos	90
Fig. 2.19. Circuito de control eléctrico	92
Fig. 2.20. Circuito de control eléctrico	93
Fig. 2.21. Circuito de Fuerza	94
Fig. 2.22. Vista esquemática del sistema de atmósfera controlada	95
Fig. 2.23. Cilindro de gas argón	96
Fig. 2.24. Regulador de gas argón	97
Fig. 2.25 ranuras en el contorno de una tapadera del horno	98
Fig. 2.26. Empaque de las tapas del horno tubular	98
Fig. 2.27. Tubo galvanizado	99
Fig. 2.28. Disposición de las placas móviles y placa fija.....	101
Fig. 2.29. Momento máximo generado en la placa móvil.....	102
Fig. 2.30. Factor de concentración de esfuerzo para barra rectangular con un agujero transversal en flexión.....	104
Fig. 2.31. Representación de las dimensiones de las barras móviles de la máquina de ensayos en milímetros.....	105
Fig. 2.32. Longitudes efectivas de columnas para varias condiciones de extremo	106
Fig. 2.33. Mordaza para sujeción de la probeta con la porta mordaza.....	110
Fig. 2.34. Disposición del horno para calentamiento de probetas en ensayos de tracción	111
Fig. 2.35. Peso concentrado del horno actuando sobre el pin central que pasa sobre las bisagras de la carcasa metálica	112
Fig. 2.36. Identificación del cordón de soldadura entre la columna de sección cuadrada y el brazo de soporte del horno.....	115
Fig. 2.37. Análisis de la soldadura del brazo de soporte y el tubo de sección cuadrada realizado en software inventor 2018	116

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A: Área perpendicular al flujo de calor
- A_1 : Área superficial
- A_{alambre} : Área de sección transversal del alambre
- A_c : Área superficial radiante
- $A_{\text{cubierta acero}}$: Área de cubierta de acero en contacto con el aire exterior
- A_{perno} : Área del perno
- A_s : Área del sólido en contacto con el fluido en movimiento
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- C: Constantes que dependen de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo
- C_{gp} : Calor específico de gas argón en el interior y de la probeta
- CI: Costo Indirectos
- C_{pi} : Calor específico de cada material
- C_t : Coeficiente de temperatura
- c_t : Coeficiente de resistividad
- D_{bm} : Diámetro de la barra móvil
- D_{helice} : Diámetro de la hélice
- D_m : Diámetro mecanizado
- D_{perno} : Diámetro efectivo del perno
- d_{alambre} : Diámetro del alambre
- $d_{\text{concentrador}}$: Diámetro del concentrador de esfuerzo
- $d_{\text{rosca perno}}$: Diámetro de la rosca interna de la barra
- E_{placa} : Espesor de la placa
- E: Módulo de elasticidad para el acero
- $e(t)$: Función de transferencia error
- e_1 : Espesor del refractario aislante
- e_2 : Espesor de la manta cerámica
- e_3 : Espesor de la cubierta de acero
- $F_{\text{máx}}$: Fuerza generada por la máquina de ensayos tracción
- Fs: Factor de seguridad
- Gr_L : Número de Grashof
- g: Aceleración de la gravedad
- h: Coeficiente de transferencia de calor por convección
- $h_{\text{combinado}}$: Coeficiente de transferencia de calor combinado
- h_i : Coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación al interior del horno
- h_{rad} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación
- h_{∞} : Coeficiente de transferencia de calor por convección al exterior del horno
- I: Corriente
- $I_{\text{contactor}}$: Corriente de funcionamiento del contactor
- K: Conductividad térmica del material

K_i : Ganancia integrativa
 K_p : Ganancia proporcional
 K_1 : Coeficiente conductivo del refractario
 K_2 : Coeficiente conductivo promedio de la manta cerámica
 K_3 : Coeficiente conductivo de la cubierta de acero
 k_t : Factor de esfuerzo por flexión
 L : Longitud radiante de la resistencia
 L_{alambre} : Longitud del alambre
 L_c : Longitud característica de la configuración geométrica de 0.13 m
 L_e : Longitud de la espira extendida
 L_e : Longitud efectiva de la barra
 L_m : Longitud del maquinado
 L_{placa} : Longitud de la placa
 L_w : Longitud de la espira comprimida
 L_1 : Distancia desde los puntos 1 y 2 el centro del horno
 M_{fleotor} : Momento de flexión generado en el brazo que soporta al horno
 M_j : Momento de inercia de la sección transversal de la barra
 $M_{\text{máx}}$: Momento máximo de flexión
 MOD : Mano de Obra Directa
 MPD : Materia Prima Directa
 n : Velocidad del husillo
 n_{espiras} : Número de espiras
 N_u : Número de Nusselt
 P : Potencia
 P_{carga} : Carga específica
 P_{CR} : Fuerza crítica de falla en el material
 Pr : Número de Prandtl
 Q_{cc} : Calor total acumulado en la cámara y la probeta en el horno
 Q_{cm} : Calor total acumulado en los materiales de la pared del horno
 Q_{cr} : Calor acumulado de la resistencia
 Q_{cr} : Flujo de calor por convección y radiación
 Q_{cta} : Calor acumulado total
 q : Razón de transferencia de calor conducción, radiación convección
 R : Resistencia
 R_a : Número de Rayleigh
 R_t : Resistencia de termina temperatura
 R_{20} : Resistencia a 20 °C
 r_1 : Radio interno de la pared del refractario
 r_2 : Radio externo de la pared del refractario
 r_3 : Espesor de la manta cerámica aislante.
 S : Paso de arrollamiento
 T_c : Tarifa de consumo
 T_{cc} : Temperatura en la cara caliente
 T_{cf} : Temperatura en la cara fría

	T_d : Tiempo derivativo
$T_{\text{ermomagnético}}$:	Corriente de funcionamiento del termomagnético
	T_F : Temperatura del fluido suficientemente del sólido
	T_i : Temperatura al interior de la cámara del horno
	T_I : Tiempo integrativo
	T_M : Tiempo de la máquina
	T_{rn} : Temperatura del recinto negro
	T_S : Temperatura de la superficie del sólido
	T_{sc} : Temperatura superficial del cuerpo
	T_t : Tiempo de trabajo
$T_{u1, u2, u3}$:	Temperaturas de unión en el termopar
	T_1 : Temperatura en la pared interior del refractario
	T_2 : Temperatura en la cara caliente de la pared de la manta cerámica aislante
	T_3 : Temperatura en la cara caliente de la cubierta
	T_4 : Temperatura en la pared exterior del horno
	T_∞ : Temperatura al exterior del horno
$U_{(t)}$:	Función de transferencia u
	V : Voltaje
	V_1 : Fuerza cortante en punto 1
	V_2 : Fuerza cortante en punto 2
V_{op} :	Volumen de cámara y de la probeta
	V_f : Velocidad de avance de la mesa
	V_i : Volumen de cada material
	ν : Viscosidad cinemática del fluido
	w : Ancho de la placa efectivo
	w_0 : Costo por minuto del trabajador
	α : Difusividad térmica.
	β : Coeficiente de expansión volumétrica, $1/k$ ($\beta = \frac{1}{T}$ para los gases ideales)
	ϵ_1 : Emisividad del cuerpo gris
	ρ : Resistividad del material
	ρ_i : Densidad de cada material
$\sigma_{\text{placa inferior}}$:	Esfuerzo por flexión en la placa inferior
	σ : Constante de Stefan-Boltzmann
$\sigma_{\text{placa superior}}$:	Esfuerzo por flexión en la placa superior
	τ : Esfuerzo cortante
	∂T : Diferencia de temperatura
	∂x : Espesor del material que va a atravesar el flujo de calor
$\%m_T$:	Porcentaje agregado a la máquina
$\% w_0$:	Porcentaje agregado al trabajador

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de estudiar y evaluar el comportamiento de diversos materiales es puestos a cambios de temperatura en el presente trabajo de graduación se propone el diseño de un horno eléctrico por resistencia para asistir ensayos de tracción a altas temperaturas. La máquina a la cual se asistirá pertenece a la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador y es utilizada por sus estudiantes como parte de su aprendizaje práctico.

En la máquina de ensayos de tracción se realizarán ensayos destructivos los cuales son pruebas realizadas en materiales o estructuras que implican la aplicación de cargas, temperatura o condiciones extremas con el propósito de evaluar su resistencia comportamiento y características mecánicas y físicas, lo que puede ocasionar deformación o fractura del material resultando en su daño o destrucción permanente.

Se propone que se realicen cambios a las dimensiones de la máquina de ensayos de tracción manteniendo la geometría de la máquina con el fin de aumentar el tamaño disponible donde se instalará el horno eléctrico. La modificación requiere de ciertos aspectos importantes en primer lugar. Se debe determinar espesor, longitud de placas móviles, fijas y diámetro de las barras de soporte que conectan a ambas placas para recalcular momentos de flexión en cada una de las placas y barras de soporte y así poder garantizar que la máquina no fallara por flexión en operación. Para la instalación del horno se deberá fabricar un soporte que pueda desplazar el horno así dentro de la máquina ya que por su configuración no permite instalar directamente el horno a la estructura. El diseño del horno se adecuará para que sea compatible con el diseño actual de la máquina tanto desde el punto de vista técnico como económico.

El horno deberá ser hermético esto se logra fabricando una ranura rectangular en el contorno de cada cara del horno donde se colocará un sello de asbesto para poder contener la mayor cantidad de gas argón que realizará la función de atmósfera protectora para evitar que la probeta se contamine y entorpecer el estudio de la microestructura. Para ello se instaló una tubería en una de las caras del horno que permita el acceso del gas al interior del horno.

Para llevar registro de la temperatura en el interior del horno se instalará una termocupla tipo K sensor que estará conectado al controlador de temperatura.

Finalmente se presenta una guía para el uso y operación del horno. En esta guía instrucciones claras sobre el funcionamiento del horno; configuración del sistema de control de temperatura, pautas para realizar el mantenimiento preventivo y reducir su deterioro a lo largo del tiempo, así como una guía detallada para la instalación y construcción del horno.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta conceptos generales sobre el ensayo de tracción a elevadas temperaturas y ensayo de termofluencia, así como también la influencia de la temperatura sobre las propiedades de los materiales obtenidas de un ensayo de tracción a elevada temperatura, por lo cual es necesario tener un panorama de los cambios que se producen en los metales durante estas pruebas experimentales. Así como también conocer los elementos constructivos principales, de los hornos utilizados durante los ensayos de este tipo, se presenta también los tipos de hornos y la forma en que se clasifican, los elementos de control de temperatura y los mecanismos de transferencia de calor que se producen en los hornos; es decir todas aquellas consideraciones necesarias que se toman en consideración para el diseño y la selección de estos accesorios. Por lo tanto, en las secciones siguientes se desarrollarán estos temas.

1.1. GENERALIDADES

La realización de los ensayos de tracción a mayores temperaturas que la del ambiente produce una disminución en la resistencia mecánica de los materiales y un aumento en su ductilidad, en este sentido la mayoría de las máquinas industriales que se utilizan para realizar estos ensayos en materiales metálicos u otro tipo como cerámicos requieren de un accesorio como un horno ya sea por resistencia o inducción, por lo general estos hornos que se encuentran en las máquinas para los diferentes ensayos requieren del uso de un gas inerte como por ejemplo argón, nitrógeno o helio, que al no reaccionar químicamente con otra sustancia permite proteger la superficie de los metales como aceros de alto carbono evitando su oxidación, esto se conoce como atmósfera inerte que no es más que el gas que rodea el metal que está siendo trabajado durante los procesos de tratamiento térmico.

1.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES ESTÁTICAS

La forma de la curva esfuerzo-deformación es afectada tanto por la tasa de deformación como también por la temperatura. La tasa de deformación unitaria es la velocidad de prueba dividida entre la longitud original de la probeta. Para una tasa de deformación creciente se necesita de mayor esfuerzo para lograr la misma deformación. Muchos materiales tienen una tasa de deformación unitaria muy sensible a las altas temperaturas. A temperatura ambiente, la tasa de deformación unitaria por lo general es poco sensible.

Si la temperatura incrementa se ven afectadas las propiedades mecánicas de los materiales. Lo que se ve reflejado cuándo cambia la forma de la curva esfuerzo-deformación, debido al hecho del incremento de la temperatura, tal como se presenta en la Fig. 1.1a. El esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad disminuyen a altas temperaturas. En tanto que, por lo general, la ductilidad se incrementa como se presenta en la Fig. 1.1b. Esto es un efecto opuesto al del incremento en la tasa de deformación unitaria. A cierta temperatura el esfuerzo de cedencia se vuelve independiente de la deformación unitaria [1 y 2].

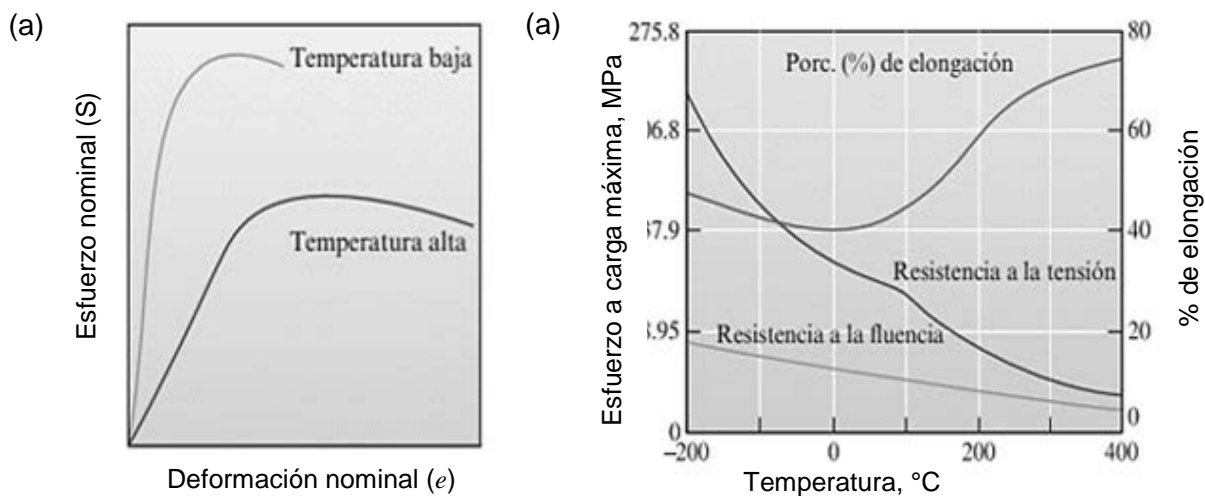


Fig. 1.1. Efecto de la temperatura: a) Sobre la curva esfuerzo de formación; y b) sobre el comportamiento de las propiedades de una aleación de aluminio por efecto de las altas temperaturas [1].

1.2.1. PROPIEDADES QUE SE DETERMINAN A PARTIR DE UN ENSAYO DE TRACCIÓN

De un ensayo de tracción para materiales, en el caso de este trabajo a temperaturas elevadas se puede obtener información relacionada a la determinación de propiedades tales como la resistencia a la tracción, límite elástico, elongación, reducción del área. A su vez rigidez y ductilidad de un material, así:

- ✓ Resistencia a la tracción.- El esfuerzo obtenido a la carga más alta aplicada es la resistencia a la tracción también conocido como resistencia máxima a la tracción, que es el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación nominales [1].
- ✓ Esfuerzo de cedencia o fluencia.- Es el esfuerzo al cual la deformación plástica se hace importante. En los metales, el esfuerzo crítico que divide a los comportamientos elástico y plásticos del material también se le llama límite elástico del material. En los materiales metálicos, por lo general es el esfuerzo que se requiere para que se inicie el movimiento de las dislocaciones, o deslizamiento cargado monotónica mente. El límite de proporcionalidad se define como el nivel de esfuerzo sobre el cual la relación entre el esfuerzo y la deformación deja de ser lineal [1].

En la mayoría de los materiales, el límite elástico y el límite de proporcionalidad están bastante cercanos; sin embargo, la posición de estos puntos no se puede determinar con precisión. Los valores medidos dependen de la sensibilidad del equipo que se utilice. Por este motivo, se estableció convencionalmente que se debe trazar una línea recta a 0.002 o de deformación, la cual es paralela a la parte lineal de la curva de esfuerzo-deformación. El esfuerzo que corresponde a la intersección de esta línea y la curva de esfuerzo-deformación ingenieriles se denomina resistencia a la fluencia convencional al 0.2%, o solamente resistencia a la fluencia [1].

Generalmente, los ingenieros prefieren utilizar la resistencia a la fluencia cuando se diseña, pues se puede determinar de manera confiable. Así, existen algunos materiales donde la transición elastoplástica es bastante abrupta. A esta transición se le conoce como fenómeno del punto de fluencia. El valor del esfuerzo primero alcanza el punto de fluencia superior, el valor del esfuerzo oscila después alrededor de un valor promedio definido como el punto de fluencia inferior.

En estos materiales la resistencia a la fluencia se puede definir a partir de la deformación convencional al 0.2%. Además, se puede tomar el promedio del esfuerzo asociado con el límite de fluencia inferior si está bien definido y es poco sensible al procedimiento seguido en el ensayo, así [1]:

- ✓ Rigidez.- Es la capacidad de un material de resistir esfuerzos sin llegar a deformarse, el módulo de elasticidad es una medida de esta propiedad. La rigidez también depende de las dimensiones de los componentes.
- ✓ Ductilidad.- La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Las medidas comunes de la ductilidad son:
 - El porcentaje de elongación. Cuantifica la deformación plástica permanente en la falla, acá no se incluye la deformación elástica que se recupera después de la fractura del material porque la deformación después de la falla es menor que la deformación en el punto de ruptura por la recuperación elástica cuando la carga se elimina, lo que se mide es la distancia entre las marcas calibradas en el espécimen antes y después de la prueba.
 - Porcentaje de reducción de área. Es el cambio porcentual del área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después de la prueba. La reducción porcentual del área describe la cantidad de adelgazamiento que experimenta el espécimen durante la prueba.

A continuación, se citan 2 tipos de ensayos, los cuales están relacionados por la naturaleza del tipo de esfuerzo aplicado, ambos son asistidos por un horno para lograr el objetivo de estudiar el comportamiento de las propiedades del espécimen ensayado al exponerlo a una temperatura diferente a la temperatura ambiente. Ensayo de termofluencia y ensayo de tracción a altas temperaturas, este último para el cual está destinado principalmente el diseño del horno del presente trabajo de graduación [1 - 3].

1.3. ENSAYO DE TRACCIÓN A ALTA TEMPERATURA

En este tipo de ensayos se emplea una combinación de prueba de tracción y calentamiento, en un horno se busca investigar el comportamiento del material y el

cambio de microestructura, además proporciona una medida comparativa de resistencia y ductilidad.

Es un procedimiento que permite determinar los efectos de la temperatura y la tracción estática sobre la velocidad de fluencia en un determinado componente. Este ensayo utiliza la norma Sociedad Americana de Ensayos de Materiales designación E21 (ASTM E21), con el fin de contar con bases para caracterizar el comportamiento de los materiales ensayados a tracción a altas temperaturas. Se pueden utilizar probetas de sección circular, cuadrada, rectangular, e incluso de otras formas en ciertos casos particulares. Las formas típicas de las probetas para el ensayo de tracción se especifican en la norma ASTM E8. En la Fig. 1.2 se presenta las dimensiones de una probeta de sección circular.

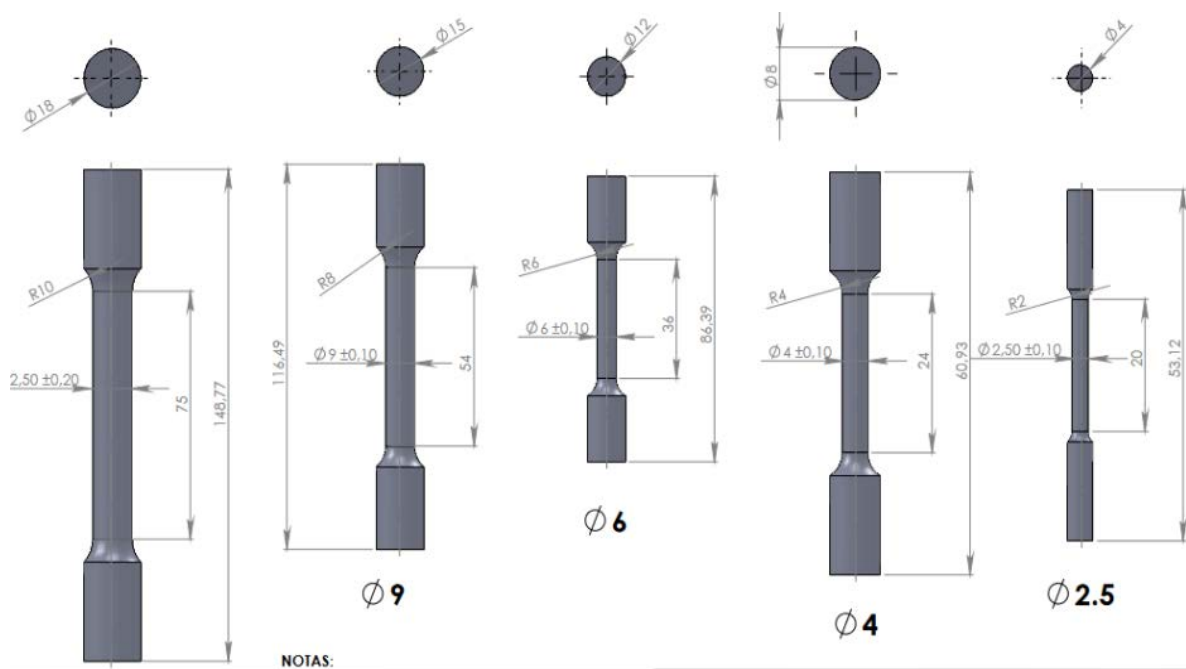


Fig. 1.2. Dimensiones de probeta sección circular según norma ASTM E8. Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos [4].

El procedimiento del ensayo de tracción a alta temperatura consiste en ensayar probetas estos regímenes y esfuerzo gradualmente aplicado; la atmósfera debe ser de preferencia inerte para evitar interferencias por oxidación excesiva durante el calentamiento el cual por lo regular es obtenido colocando el espécimen de prueba o probeta preparada dentro de un horno, la probeta es sujeta con las mordazas de

máquina de prueba y se somete a carga axial por medio de un sistema de carga de palanca, mecánico o hidráulico. La prueba finaliza hasta que la probeta llega a la ruptura.

La cámara de temperatura utilizada para calentar la probeta debe estar diseñada para calentarla a temperatura de ensayo especificada T . Además, la cámara de temperatura también debe presentar aperturas adecuadas para sensores de temperatura y los brazos sensores del extensómetro. En la Tabla 1.1 se presenta las variaciones admisibles entre la temperatura de ensayo especificada T y las temperaturas indicadas T_i , así como las diferencias de temperatura máximas admisibles a lo largo de la probeta. Las desviaciones admisibles por encima de 1,100 °C deben ser acordadas por separado por las partes implicadas [5 y 6].

Tabla 1.1. Variaciones entre la temperatura de ensayo especificada T y las temperaturas indicadas T_i , y máximas variaciones admisibles a lo largo de la probeta, para distintos intervalos de prueba [6].

Temperatura fija T , °C	Desviación permitida entre T_i y T , °C	Diferencias de temperatura máximas admisibles a lo largo la muestra, °C
$T \leq 600$	± 3	3
$600 < T \leq 800$	± 4	4
$800 < T \leq 1,000$	± 5	5
$1,000 < T \leq 1,100$	± 6	6

Fuente: DIN en ISO 6392 - 2;2016 - 09 Materiales metálicos – Ensayo de tracción – Parte 2: Métodos de ensayo de tracción a temperatura elevada (ISO 6892-2;2018)

1.4. TERMOFLUENCIA

En un metal a temperatura ambiente, un esfuerzo aplicado menor que el de fluencia no produce deformación plástica. Sin embargo, si la temperatura del metal se incrementa, es posible que se comience a deformar plásticamente aun cuando los esfuerzos aplicados sean bajos. Esta deformación plástica depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la fuerza.

La termofluencia es la deformación plástica que puede sufrir un material a elevada temperatura, durante períodos largos aun cuando el esfuerzo aplicado sea menor que su resistencia de fluencia.

Es el fenómeno por el cual se produce una deformación plástica en función del tiempo para esfuerzos o cargas constantes a temperaturas elevadas.

Después de un tiempo, la termofluencia culmina en la fractura del material. Actualmente se sabe que la termofluencia es causada por procesos difusivos que son térmicamente activados; es decir que se activan por el calor.

La exposición de un material a temperaturas elevadas tiene varios efectos, los cuales en conjunto son responsables o influyen en la termofluencia. Los principales efectos de la exposición de los metales a temperaturas elevadas son:

- 1) Disminución del esfuerzo de cedencia y la resistencia a la tracción;
- 2) Aumento de la movilidad de las dislocaciones;
- 3) Recuperación y recristalización;
- 4) Incremento en la rapidez de los procesos difusivos;
- 5) Disolución y precipitación de fases;
- 6) Crecimiento de grano y formación de subgranos; y
- 7) Fusión incipiente.

1.4.1. ENSAYO DE TERMOFLUENCIA

Es un procedimiento que permite determinar los efectos de la temperatura y la tracción estática sobre la velocidad de fluencia en un determinado componente. Este ensayo utiliza la norma ASTM E139 con el fin de contar con bases para caracterizar el comportamiento a la termofluencia de los materiales metálicos.

Este procedimiento consiste en ensayar probetas, a la tracción, a temperatura y esfuerzo constante; la atmósfera de prueba debe ser de preferencia inerte para evitar interferencias por oxidación excesiva. El calentamiento es por lo regular obtenido colocando el espécimen de prueba dentro de un horno y la carga es aplicada con sistema donde se aplica una fuerza unidireccional a un espécimen en la prueba de tracción por medio de la cruceta movable tal como se presenta en la Fig. 1.3.

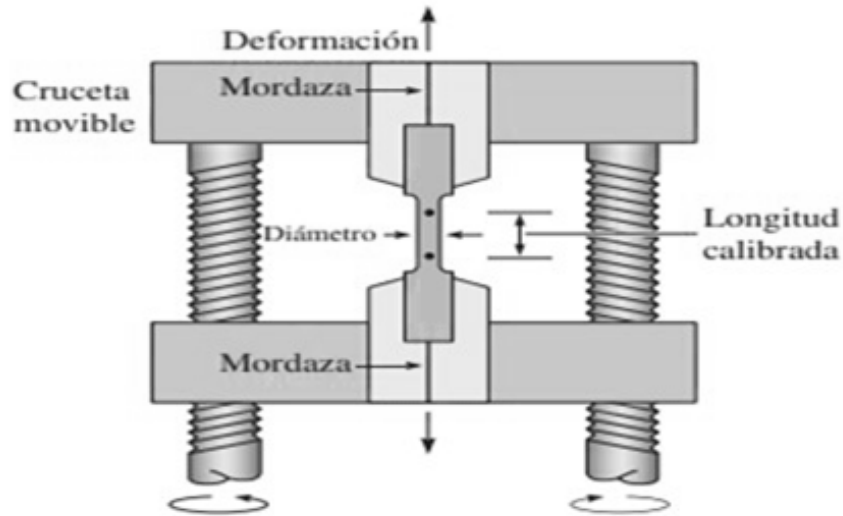


Fig. 1.3. El movimiento de la cruceta se puede llevar a cabo con el uso de tornillos o un mecanismo hidráulicos [1].

Durante la prueba la deformación es registrada continuamente en función del tiempo y la prueba culmina con la ruptura del espécimen. El resultado es un registro llamado curva de termofluencia, o también curva de ruptura, usualmente la prueba se realiza a diferentes niveles de esfuerzo constante para un mismo material y se evalúa el tiempo de ruptura en cada caso.

En la Fig. 1.4 se presenta una gráfica donde se puede observar los resultados las pruebas de termofluencia realizadas. Las pruebas se mantuvieron constantes a 600 °C y se variaron los esfuerzos desde 60 a 170 MPa, se observó que la probeta cargada a 60 MPa tardaría mucho tiempo en fracturar alrededor de 3,500 h y por lo tanto sería una prueba muy larga y costosa.

Los ensayos de termofluencia producen usualmente curvas que contienen tres etapas básicas, tal como se presenta en la Fig. 1.5.

Curva de termofluencia común que presenta la deformación producida como una función del tiempo a carga y temperatura constante [1].

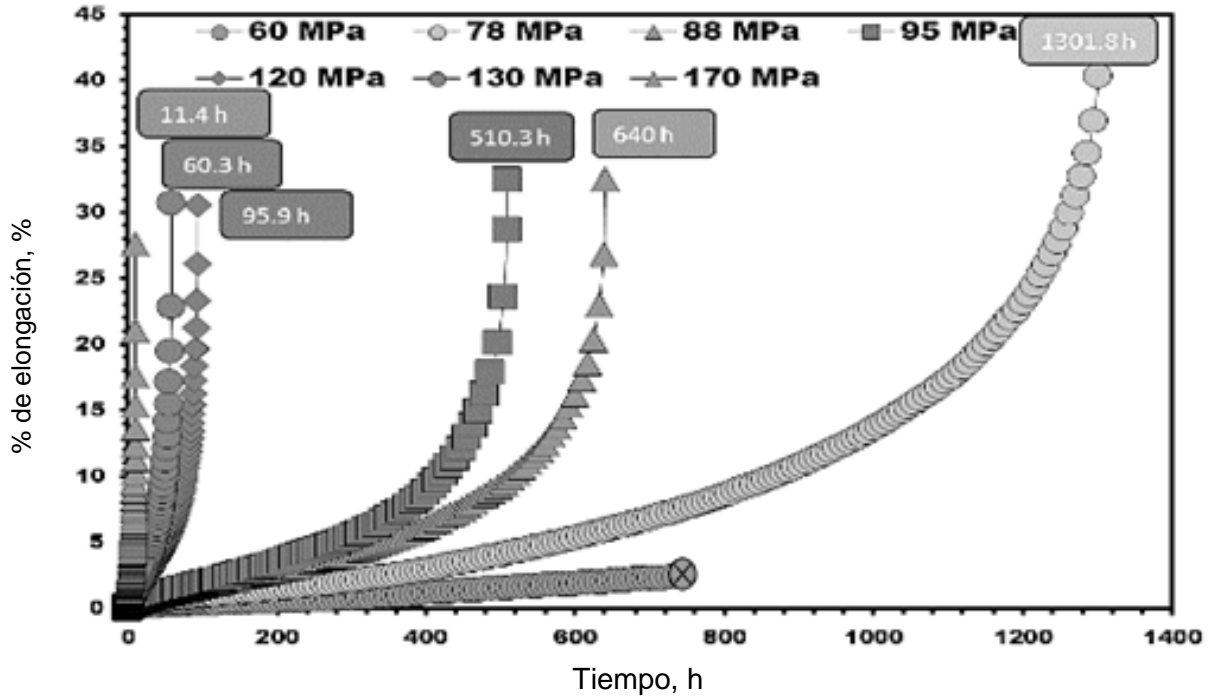


Fig. 1.4. Curvas de termofluencia para las pruebas realizadas en el acero A387 Gr.5 C2 [4].

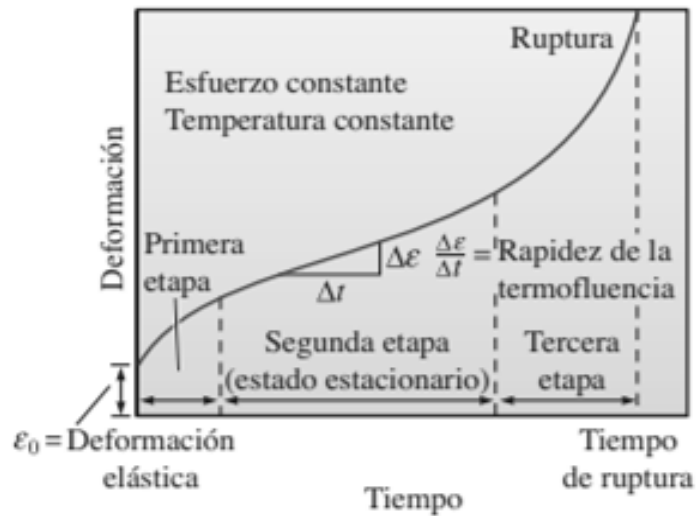


Fig. 1.5. Curva de deformación de fluencia versus tiempo [1].

1.4.2. TIEMPOS DE VELOCIDAD DE TERMOFLUENCIA LENTA Y DE RUPTURA

Durante la prueba de termofluencia la deformación o elongación se mide como una función del tiempo y se grafica para obtener la curva de termofluencia (ver Fig. 1.4). En

la primera etapa de la termofluencia de los metales, muchas dislocaciones ascienden; es decir, se alejan de los obstáculos, se deslizan y contribuyen a la deformación. Con el tiempo, la velocidad a la que las dislocaciones ascienden alejándose de los obstáculos es igual a la velocidad a la que las dislocaciones son bloqueadas por otras imperfecciones. Este proceso conduce a una segunda etapa, o estado estacionario de termofluencia. La pendiente de la parte del estado estacionario (ver Ec. 1.1) de la curva de termofluencia es la velocidad de termofluencia [1].

$$\text{Velocidad de termofluencia} = \frac{\Delta \text{deformación}}{\Delta \text{tiempo}} \quad (1.1)$$

Finalmente, durante la tercera etapa de la termofluencia, el proceso de fluencia se acelera debido a la estricción de la probeta y también a la formación de huecos, particularmente a lo largo de los límites de grano aumenta el esfuerzo y el espécimen se deforma a una rapidez acelerada hasta que ocurre la falla. El tiempo que se requiere para que ocurra la falla es el tiempo de ruptura. Un esfuerzo mayor o una temperatura mayor reducen el tiempo de ruptura y aumenta la velocidad de termofluencia (ver Fig. 1.6) [1 y 3].

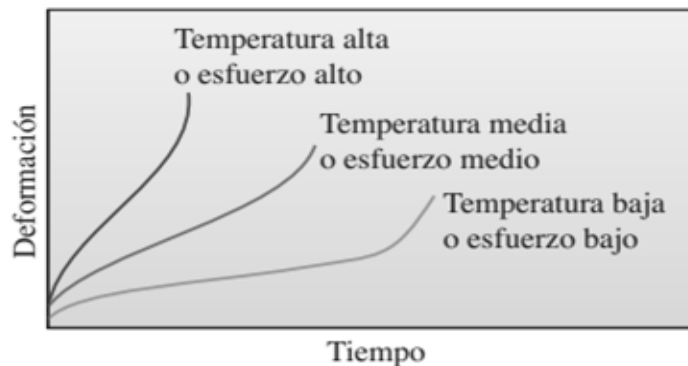


Fig. 1.6. Efecto de la temperatura o del esfuerzo aplicado sobre la curva de termofluencia [1].

A continuación, se presenta una breve descripción de cada etapa de termofluencia:

- ✓ Etapa I. Termofluencia primaria o transitoria: Se caracteriza por una velocidad de fluencia decreciente; es decir, la pendiente de la curva disminuye con el tiempo. Esto sugiere que el material está experimentando un aumento en su resistencia a la

fluencia, o sea, endurecimiento por deformación ya que la deformación se hace más difícil a medida que el material se deforma.

- ✓ Etapa II.- Termofluencia secundaria o estacionaria.- Es un periodo de velocidad de deformación constante, o sea, la gráfica se hace lineal. Los mecanismos de endurecimiento equilibran su acción con los de restauración, por este último el material se hace más blando y retiene su capacidad para experimentar deformación. El valor medio de la velocidad de deformación en esta etapa se conoce como velocidad mínima de termofluencia. Es el dato de proyecto más útil, pues permite determinar los esfuerzos a que puede trabajar satisfactoriamente una pieza mantenida a determinada temperatura.
- ✓ Etapa III.- Termofluencia terciaria o de fractura.- Se produce una aceleración de la velocidad de fluencia y la rotura final. Este tipo de rotura se denomina frecuentemente ruptura y se produce debido a cambios microestructurales y/o cambios metalúrgicos, por ejemplo, la separación de los bordes de grano, la formación de fisuras internas, cavidades, y huecos. También, en el caso de fuerzas de tracción se pueden formar estricción en algún punto de la zona de deformación. Todo ello resulta en una reducción del área de la sección transversal y en un aumento de la velocidad de deformación. En esta etapa pueden aparecer dos tipos de rotura: las fracturas transcristalinas que son favorecidas por ensayos de corta duración (gran velocidad de deformación), se caracterizan por la estricción de la probeta y gran ductilidad (ver Fig. 1.7); y las fracturas intercristalinas que son promovidas por ensayos de larga duración (baja velocidad de deformación), presenta poca estricción y con frecuencia fallan con poco alargamiento total.

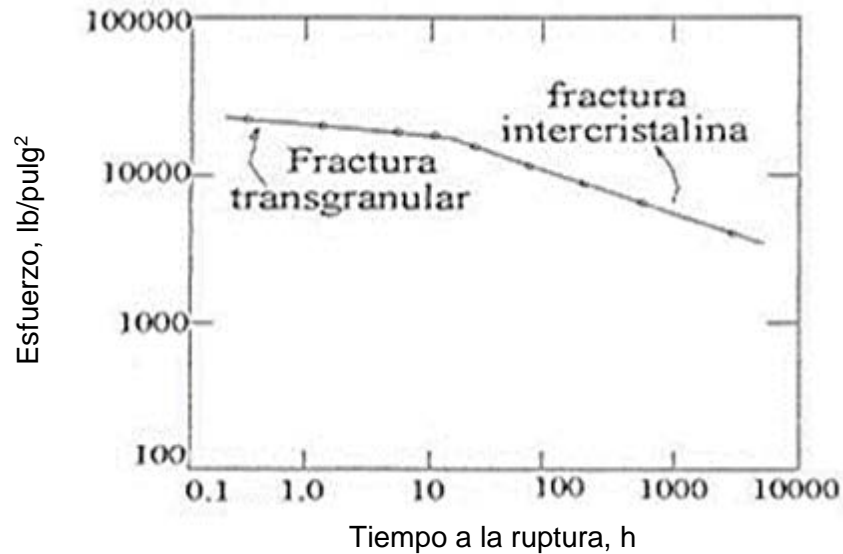


Fig. 1.7. Diagrama típico de esfuerzo-ruptura mostrando los datos de una serie de probetas ensayadas a la misma temperatura bajo Cargas diferentes [1].

1.5. TIPOS DE HORNOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA

Los hornos industriales son dispositivos o equipos que se utilizan para calentar o fundir piezas a distintas temperaturas, cuando están en su interior a temperaturas por encima de la ambiente; también se puede tratar térmicamente un material para proporcionar ciertas propiedades, ablandar los materiales para una operación de conformado posterior, recubrir las piezas con otros materiales, o incluso para realizar algunos ensayos con los que se determinan algunas propiedades cuando el material se encuentra a elevada temperatura.

Este calentamiento se puede realizar de forma directa sobre las piezas a tratar o de forma indirecta por transmisión de calor desde otros elementos por mecanismos de transferencia de calor como conducción, convección y radiación.

Los hornos utilizados en el ensayo de tracción a altas temperaturas se diferencian de los demás hornos porque se requiere que el grosor de sus paredes refractarias sean lo más delgadas posible para reducir su tamaño y por lo que se debe utilizar un material refractante que tenga alta resistencia térmica. Por lo demás son como cualquier otro

horno que se utiliza en otros tipos de ensayos o tratamientos aplicados a los materiales metálicos [7].

1.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS

Partiendo de las diferentes formas de calentamiento que puede tener un horno y además la atmósfera del horno, se presenta una clasificación general de los tipos de hornos en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Clasificación de hornos [7].

Tipo de horno		
Calentamiento	Eléctrico	Por resistencia
		Por inducción
A gas		
Según la atmósfera del horno	Vacío	
	Neutra	Argón
		Helio
		Nitrógeno
	Reductor	Exogás
		Endogás
		Amoníaco disociado
		hidrógeno
		Atmósfera sintética

1.5.2. HORNOS SEGÚN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

En esta clase de hornos el sistema de calentamiento que se acopla al horno depende de la temperatura que se busca obtener y esta es función del material con el que se está trabajando, la función del horno es aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarlos al estado necesario para posteriores procesos, a continuación, se describe la clasificación para hornos de tratamientos térmicos los cuales son:

- ✓ Calentamiento por resistencia eléctrica y hornos de inducción. El calentamiento por resistencia eléctrica es el más usado para los hornos de tratamiento térmico que

aprovecha el calor generado según la ley de Joule y ceden calor a la carga por los diferentes medios o formas de transferencia de calor. La disposición de la resistencia da nombre a los hornos, que son de tipo mufla o caja, la resistencia está instalada a lo largo de las paredes interiores y por lo tanto en contacto con las paredes del horno. El material de la resistencia suele ser Nicromo (Níquel 70%, Cromo 30%), que alcanza temperaturas de 1,100 °C y de aleación de carburo de silicio que alcanza temperaturas de 1,300 °C. Para lograr temperaturas superiores se utilizan resistencias de molibdeno (1,800 °C), de tungsteno (2,500 °C), y de grafito (2,700 °C). Para temperaturas aún mayores, se utilizan los hornos de inducción con los que se pueden alcanzar temperaturas que pueden llegar a los (3,000 °C).

- ✓ Horno calentado por gas o combustible: El calentamiento por gas tiene la ventaja que es de bajo costo y su gran desventaja es que la temperatura alcanzada no supera en la mayoría de casos los 1,100 °C, adicional el control de atmósfera y control de temperatura se hace difícil por lo cual este sistema de calentamiento se emplea solo para tratamientos térmicos.

1.5.3. HORNOS SEGÚN LA ATMÓSFERA PRINCIPAL

En los hornos se entiende por atmósfera la masa gaseosa encerrada dentro de mismo, y que está en contacto con las piezas de trabajo. Las atmósferas pueden tener carácter neutro, oxidante o reductor. El papel desempeñado por la atmósfera controlada evita que se produzcan reacciones perjudiciales, como son la oxidación y la descarburación de las piezas que se están tratando. También, permite realizar las reacciones previstas, como la reducción de óxidos superficiales y la eliminación de gases adsorbidos. Las atmósferas usadas en los hornos se describen a continuación:

- ✓ En vacío: Se utiliza para sinterizar carburos cementados y para el tratamiento térmico especial de aceros aleados, se puede conseguir mediante bombas mecánicas y de difusión de aceite o mercurio [7].
- ✓ Atmósferas neutras: Se emplea de gas argón, helio o nitrógeno se usan menos, debido al precio de estos gases y si hay trazas de oxígeno que podrían contener. Sin

embargo, como el objetivo que se busca con la atmósfera controlada en el caso del ensayo de tracción a altas temperatura es evitar que la probeta ensayada se manche de óxido al estar en contacto con el oxígeno. Como la opción más fuerte que se espera utilizar para evitar el problema de la oxidación es el gas Argón (Ar), es un gas inerte y no forma compuestos químicos, es incoloro, inodoro, insípido, no corrosivo. Es un 30% más denso que el aire y tiene uso en neutralización de reacciones para crear una atmósfera inerte en procesos de soldadura y tratamientos térmicos. El argón no tiene efectos ambientales, no daña la capa de ozono, se produce naturalmente en el medio ambiente y se disipa en áreas bastante ventiladas, no es aconsejable manipular en recintos cerrados, puesto que en grandes cantidades puede causar asfixia, mareo, vomito, confusión y hasta pérdida de la conciencia [7].

- ✓ **Atmósferas carburantes o descarburantes:** Obtenidas por combustión o disociación de mezclas de hidrocarburos (metano, propano, butano, gas natural), con aire estas suelen contener N_2 , CO, H_2 , CO_2 , y pequeñas cantidades de vapor de agua.
- ✓ **Hornos de atmósfera del tipo exotérmico y endotérmico:** En el generador exotérmico se introducen hidrocarburos y aire secos limpios convenientemente dosificados se queman total o parcialmente en la cámara de combustión se filtran y se separan en del agua. El gas seco resultante se introduce al horno de tratamiento térmico. En el generador endotérmico, la mezcla que se introduce es parecida a la inyectada en el exotérmico, es obtenida por medio de la combustión parcial de hidrocarburos a $\sim 1,040$ °C y con mayores contenidos de CO y H_2 que las exotérmicas, aunque el generador endotérmico de estos hornos no tiene quemador, sino que los gases reaccionan entre sí en un catalizador calentado exageradamente. Se emplean en los tratamientos térmicos de aceros con medios y altos en carbono. Enriquecidas con cantidades dosificadas de gas primario (natural, propano, entre otros), se utilizan para temple, cementaciones, sinterizados, etc. Si se aporta, además amoníaco gaseoso, se obtienen atmósferas para carbonitruración [8 y 9].

1.6. COMPONENTES DE LOS HORNOS

Los hornos se dividen de acuerdo con los fines con que fueron ideados y, por lo cual, tienen características específicas o apropiadas para cada caso; sin embargo, tienen toda una serie de elementos constructivos comunes, aunque diseños distintos.

A continuación, se describen las partes básicas de un horno eléctrico que son los que actualmente se utilizan más con respecto a los hornos que necesitan de una fuente fósil de combustible, también se describen las partes principales de hornos al vacío y de hornos de atmósfera de tipo generadora exotérmico o endotérmico.

1.6.1. PARTES PRINCIPALES DE UN HORNO AL VACÍO

Los hornos de vacío son siempre hechos a medida, ya que factores como la forma, el tamaño de las piezas y los tipos de gases a evacuar suelen ser diferentes de un caso a otro. Sin embargo, hay una serie de partes comunes que pueden estar presentes en diferentes diseños:

- a) Recipiente de vacío
- b) Zona caliente
- c) Sistema de bombeo
- d) Sistema de refrigeración
- e) Sistema de control (de temperatura y de vacío)
- f) Sistema de manejo

1.6.2. PARTES PRINCIPALES DE UN HORNO DE ATMÓSFERA DE TIPO GENERADORA EXOTÉRMICO Y ENDOTÉRMICO

El horno de atmósfera exotérmica consta fundamentalmente, de un equipo de dosificación, premezclado y compresión de aire y gas primario, una cámara de combustión con uno o varios quemadores, un hidro refrigerante y un purgador de agua de combustión.

El horno de atmósfera endotérmica consta básicamente un catalizador de la reacción, que se calienta exteriormente por medio de resistencias eléctricas o con quemadores de gas, para lograr una temperatura de reacción, un equipo de dosificación, premezclado y compresión de la mezcla de aire y gas, el horno posee regulación automática de temperatura y tiene un hidro refrigerante de gas [8 y 9].

1.6.3. PARTES PRINCIPALES DE UN HORNO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

El elemento principal de cada horno es la zona de trabajo; es decir, el lugar donde se realiza el proceso de calentamiento, esta zona se separa del ambiente por una cámara aislada, todos ellos fabricados en materiales refractarios y termoaislantes, y con exterior en metálico, a continuación, se describen los componentes básicos para el diseño de un horno por resistencia eléctrica:

- ✓ Cámara de calentamiento: Lugar donde se coloca el objeto que va a ser calentado. Debe estar fabricada de un material capaz de conservar el calor y soportar temperaturas altas.
- ✓ Elementos eléctricos: Son la fuente única de calor del horno, en este caso es una resistencia eléctrica.
- ✓ revestimiento aislante: La función del aislamiento térmico en hornos industriales es extremadamente amplio y lleno de complejidad. Al parecer, su única finalidad es aislar el interior de los hornos, aunque ésta cumple un doble propósito que es reducir pérdidas de calor, y conseguir unas condiciones en el exterior suficientemente aceptables.
- ✓ Carcasa: La capa más externa es la carcasa, que con ayuda de soportes se encarga de sostener y proteger el interior del horno. Suelen ser de materiales rígidos como aceros y capaces de soportar la corrosión, en casos en los que son vulnerables a la corrosión del ambiente se les aplica un recubrimiento, por lo general de pintura.
- ✓ Productos refractarios aislantes: La capa más interna que conforma la cámara de calentamiento está hecha de material refractario, capaz de mantener el calor en su

interior y evitando en lo más que se puedan pérdidas de calor sin presentar deformaciones volumétricas que afecten otras partes.

Las condiciones en la parte interior del horno pueden ser tales que la capa interna debe ser capaz de, soportar el ambiente del horno (humos, aire en circulación, gases reductores, entre otras) y conseguirlo sin reacción química, en términos generales, para metales o no metales.

1.7. ELEMENTOS DE RESISTENCIA

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser de forma directa, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por las diversas formas de transmisión de calor, para el diseño del horno se ha determinado el calentamiento indirecto por resistencias puesto que es de uso más frecuente para estas aplicaciones.

En resumen, se puede deducir la siguiente clasificación de las resistencias de calentamiento indirecto en:

- Barras, varillas, alambres o pletinas, dispuestos en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transmiten calor a la pieza por radiación.
- Paquetes de resistencias de los mismos materiales que transmiten el calor por convección al aire o gases, y también por convección, a las piezas.
- Resistencias blindadas, dispuestas en el interior de fundas metálicas de pequeño diámetro con un material cerámico de llenado de las fundas metálicas. Se adquieren de fabricantes especializados y, normalmente, se aplican a temperaturas inferiores.

1.7.1. RESISTENCIAS METÁLICAS, MATERIALES

Los materiales empleados para la fabricación de resistencias metálicas en hornos industriales se pueden clasificar en dos grandes grupos que son los siguientes:

- Aleaciones de base Ni-Cr (Nikrothal), y

- Aleaciones Fe-Cr-Al (Kanthal).

1.7.2. ALEACIONES DE BASE NÍQUEL-CROMO

Aunque varían ligeramente de unos fabricantes a otros, se consideran como las más representativas las siguientes aleaciones:

- 80 Ni-20 Cr,
- 70 Ni-30 Cr,
- 60 Ni-15 Cr-20 Fe,
- 40 Ni-20 Cr,
- 30 Ni-20 Cr-45 Fe, y
- 20 Ni-25 Cr-50 Fe.

En la Tabla 1.3 se presenta las características principales de las aleaciones Ni-Cr.

Tabla 1.3. Características principales de las aleaciones de base [10].

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada						
Ni%	80	70	60	37	30	20
Cr%	20	30	15	18	20	25
Fe%	<1	<1	20	40	45	50
Densidad, kg/m^3	8,300	8,100	8,200	7,900	7,900	7,800
Temperatura de fusión, °C	1,400	1,380	1,390	1,390	1,390	1,380
Temperatura máxima de utilización, °C	1,200	1,250	1,150	1,100	1,100	1,150
Calor específico a 20 °C, kJ/kgK	0.45	0.45	0.45	0.46	0.50	0.50
Conductividad térmica a 20 °C, W/mK	15	14	13	13	13	13
Coeficiente de dilatación lineal 20-1,000 °C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura: 20 °C N/mm^2	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm^2	100	100	100	120	120	120
Resistencia al Creep: 800 °C N/mm^2	15	15	15	20	20	20
1,000 °C N/mm^2	14	14	14	4	4	4

Nikrothal 80, es la aleación austenítica con mayor contenido de níquel. Por su buena maleabilidad y resistencia a altas temperaturas, se utiliza ampliamente para aplicaciones exigentes en la industria de electrodomésticos [11].

La segunda Nikrothal 70, Normalmente utilizado en aplicaciones de hornos por su mayor resistencia a las atmósferas reductoras es decir con poca cantidad de oxígeno y otros gases oxidantes evitando de este modo la oxidación [10].

La aleación Nikrothal 60, tiene buena resistencia a la corrosión, buenas propiedades contra la oxidación su estabilidad a la corrosión es muy buena excepto en atmósferas que contienen azufre, las aplicaciones típicas están en los elementos calefactores tubulares y como bobinas suspendidas [11].

La última aleación, 20 Ni-25 Cr, se utiliza muy frecuentemente en la fabricación de elementos mecánicos en el interior de los hornos, tanto a base de materiales laminados como de piezas fundidas [10].

Una característica más importante de una aleación es la resistividad eléctrica que varía sensiblemente con la temperatura, como se presenta en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Resistividad eléctrica de aleaciones Ni-Cr a diferentes temperaturas [10].

Temperatura, °C	Resistividad eléctrica, $\mu\Omega \cdot cm$					
	80%Ni - 20%Cr	70%Ni - 30%Cr	60%Ni-15%Cr	40%Ni-20%Cr	30%Ni-20%Cr	20%Ni-25%Cr
20	112	119	113	105	104	95
100	113	120	114	108	107	99
200	113	122	116	111	111	103
300	114	123	118	114	114	107
400	115	124	120	117	117	111
500	116	125	122	120	120	115
600	115	124	121	122	122	118
700	114	124	121	124	124	120
800	114	124	122	126	126	122
900	114	124	123	128	128	124
1,000	115	124	124	130	130	126
1,100	116	125	125	132	132	126
1,200	117	126				

Es útil el coeficiente de resistividad (factor multiplicador de la resistividad a 20 °C para obtener la resistividad a diferentes temperaturas). En la Tabla 1.5 se presenta este valor para las aleaciones que ya se han mencionado, y para una variedad de temperaturas.

Tabla 1.5. Coeficiente de resistividad para aleaciones níquel-cromo a diferentes temperaturas [10].

Aleación, %Ni - %Cr	80 - 20	70 - 30	60 - 15	40 - 20	30 - 20	20 - 25
Coeficiente de resistividad	(Factor multiplicador de la resistividad eléctrica a 20 °C para obtener la resistividad a diferentes temperaturas)					
20 °C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
100 °C	1.01	1.01	1.01	1.03	1.03	1.04
200 °C	1.01	1.02	1.03	1.057	1.07	1.08
300 °C	1.02	1.03	1.04	1.09	1.10	1.13
400 °C	1.03	1.04	1.06	1.11	1.12	1.17
500 °C	1.04	1.05	1.08	1.14	1.15	1.21
600 °C	1.03	1.04	1.07	1.16	1.17	1.24
700 °C	1.02	1.04	1.07	1.18	1.19	1.26
800 °C	1.02	1.04	1.08	1.20	1.21	1.28
900 °C	1.02	1.04	1.09	1.22	1.23	1.30
1,000 °C	1.03	1.04	1.10	1.24	1.25	1.33
1,100 °C	1.04	1.05	1.11	1.26	1.27	-
1,200 °C	1.04	1.05	-	-	-	-

La característica más importante de una aleación para resistencias se puede concluir y además resulta ser bastante evidentemente, que es la resistividad eléctrica y esta se observa que varía sensiblemente con la temperatura.

1.7.3. ALEACIONES DE BASE Fe-Cr-Al (Kanthal)

Las aleaciones Kanthal tienen elementos químicos que produce envolvente protectora de la resistencia, en este caso el aluminio, formando una densa capa en atmósferas oxidantes. La variación entre los diversos fabricantes es mayor que las aleaciones Ni-Cr las más representativas son:

- 22/25 Cr-6 Al-70 Fe (Kanthal APM/ Kanthal A1),
- 20/22 Cr-5 Al-72 Fe (Kanthal A),
- 20/22 Cr-4.5 Al-73 Fe (Kanthal AF/ Kanthal AE), y
- 14 Cr-4 Al- 80 Fe (Alkrothal 14).

Las resistencias que contienen más de un 20% de aluminio forman una densa capa en atmósferas oxidantes, aunque pierden dicha protección en atmósferas que contienen hidrogeno. Estas aleaciones que contiene un 22% de Cr y de 60-70% de Fe, son quebradizas a la temperatura ambiente y debe dárseles su forma mientras están calientes.

En la Tabla 1.6 se presenta las características principales que se comentaron en relación con las aleaciones Cr-Al

Tabla 1.6. Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al [10].

Aleación con su respectiva designación		22-6 Kanthal APM	22-6 Kanthal A1	22-5 Kanthal A	224 Kanthal AF	14-4 Alkrothal 14
Composición aproximada:	% Cr	22	22	22	22	14
	% Al	5.8	5.8	5.3	4.8	4
	% Fe	70	70	72	73	80
Densidad kg/m^3		7,100	7,100	7,150	7,250	7,300
Temperatura de fusión °C		1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Temperatura máxima de utilización °C		1,400	1,400	1,400	1,300	1,100
Calor específico a 20 °C kJ/kgK		0.46	0.46	0.46	0.46	0.48
Calor específico medio en los intervalos de 0-1,000 °C en kJ/kgK		0.54	0.54	0.54	0.54	0.56
Conductividad térmica a 20 °C W/mK		13	13	13	13	15
Coeficiente de dilatación lineal 20 - 1,000 $10^{-6} °C^{-1}$		15	15	15	15	15
Resistencia a la rotura a 20 °C, N/mm^2		750	800	800	800	700
900 °C, N/mm^2		40	34	37	34	35
Resistencia al Creep a 800 °C, N/mm^2		14	6	8	6	4
1,000 °C, N/mm^2		1.8	1	1.5	1	0.8

Kanthal APM/A-1 Normalmente utilizado en aplicaciones de hornos. Kanthal A Se utiliza para electrodomésticos, donde su alta resistividad y buena resistencia a la oxidación son particularmente importantes.

En la Tabla 1.7 se presenta la resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al. Es notablemente más elevada que las aleaciones Ni-Cr lo que resulta favorable en el cálculo de las resistencias en hornos eléctricos.

Al usar Kanthal en lugar de Ni-Cr se tienen las siguientes ventajas [11]:

- Reducir el peso del alambre entre un 20 y un 30 % la misma dimensión del cable;

- Temperatura más uniforme a lo largo del elemento y reducir la temperatura máxima del cable. Esto significa que el elemento se puede cargar más durante un breve periodo de tiempo, lo que es importante cuando existe riesgo de ebullición en seco;
- Vida más larga con cargas superficiales elevadas. La vida útil del elemento también es más fácil de pronosticar;
- Kanthal es más fácil de fabricar cuando se necesita una alta resistencia por longitud, ya que se puede utilizar un alambre más grueso; y
- Menos sensible a los ataques de corrosión.

Tabla 1.7. Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al [10].

Aleación %Ni-%Cr	22-6 Kanthal APM	22-6 Kanthal A1	22-5 Kantahal A	22-4 Kanthal AF	14-4 Alkrothal 14
Resistividad eléctrica a 20 °C, $\mu\Omega \cdot cm$	145	145	139	135	125
Coeficiente de resistividad a	Factor de la resistividad eléctrica a 20 °C para obtener la resistividad a diferentes temperaturas				
20 °C	1	1	1	1	1
100 °C	1	1	1	1	1.01
200 °C	1	1	1.01	1.01	1.02
300 °C	1	1	1.01	1.01	1.03
400 °C	1	1	1.02	1.02	1.04
500 °C	1.01	1.01	1.03	1.03	1.05
600 °C	1.02	1.02	1.04	1.04	1.07
700 °C	1.02	1.02	1.04	1.05	1.09
800 °C	1.03	1.03	1.05	1.06	1.11
900 °C	1.03	1.03	1.05	1.06	1.13
1,000 °C	1.04	1.04	1.06	1.07	1.14
1,100 °C	1.04	1.04	1.06	1.07	1.15
1,200 °C	1.04	1.04	1.06	1.08	-
1,300 °C	1.04	1.04	1.06	1.08	-
1,400 °C	1.05	1.05	1.07	-	-

1.8. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA

Las resistencias instaladas en un horno se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión V , la intensidad I , la potencia P y la resistencia eléctrica a temperatura RT se deducen de la ley de Ohm, la Fig. 1.8, permite determinar fácilmente todas las relaciones existentes entre dichas magnitudes.

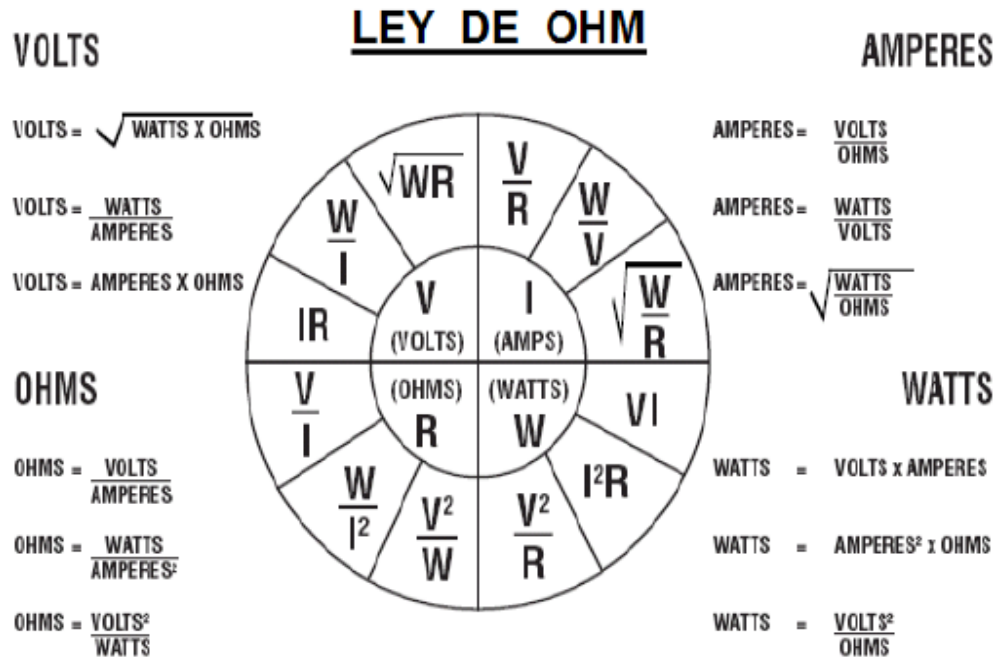


Fig. 1.8. Relación entre magnitudes eléctricas [10].

1.8.1. CALENTAMIENTO DE LA RESISTENCIA POR EFECTO JOULE

En los hornos eléctricos de resistencia, la potencia eléctrica absorbida por los elementos (kW), se disipa en forma de calor (kcal/h) hacia el medio (cámara), esta transformación de energía eléctrica en calor, se basa en el efecto Joule.

Una corriente eléctrica de intensidad (I) (Amperios) que circula por un conductor de resistencia (R) (Ohmios) produce una disipación de calor (Q) (cal/s), tal como se presenta en la Ecs. 1.2 y 1.3:

$$1 \text{ Watt} = 0.24 \text{ cal/seg}$$

$$V = I * R \text{ (V)} \tag{1.2}$$

$$P = I * V \tag{1.3}$$

donde: V es la caída de tensión en V ,

P es la potencia total requerida para calentar el horno en W ,

I es la intensidad de corriente a través del elemento calefactor en A , y

R es la resistencia del elemento calefactor en Ω .

El equivalente térmico de la entrada en kW de los elementos es igual al consumo del calor del horno ($kcal/h$). Para el cálculo de los elementos para hornos industriales, deben conocerse, ante todo, la tensión disponible y la temperatura.

1.8.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

Dentro del cálculo de las resistencias para el horno, intervienen varios factores importantes los cuales se representa en la Fig. 1.9.

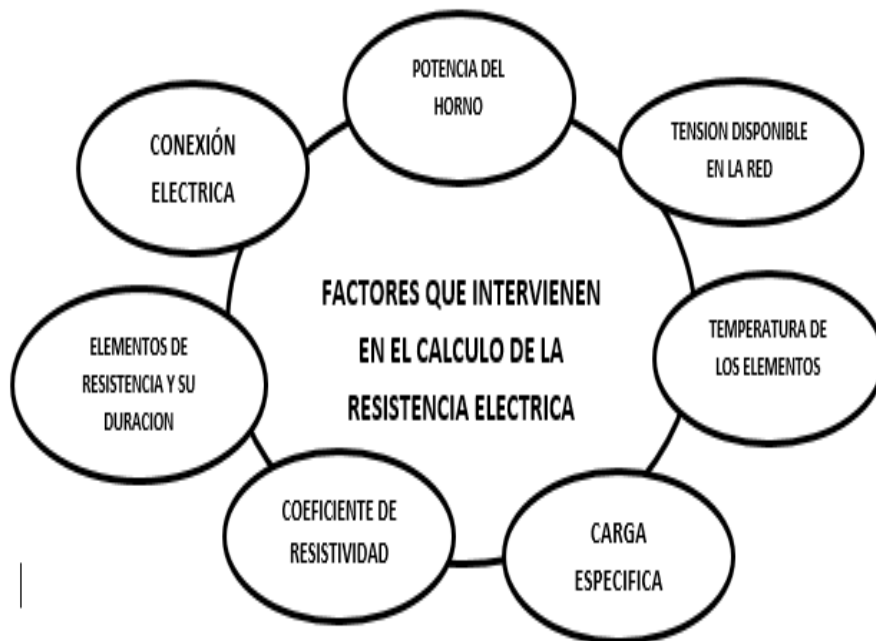


Fig. 1.9. Factores que intervienen para el cálculo de resistencias eléctricas [10].

Las fórmulas generales que permiten calcular el diámetro de una sola resistencia son:

La resistencia de un conductor R_{20} (Resistencia del elemento calefactor a 20 °C) es directamente proporcional a su longitud L e inversamente proporcional a su sección transversal de área (ver Ec. 1.4). La constante proporcional ρ se define como la resistividad del material y es dependiente de la temperatura. La unidad de ρ está en sistema métrico [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]. q , es el área de la sección transversal del alambre y se obtiene en unidades de mm^2 esto se ve en la Ec. 1.5 [11]:

$$R_{20} = \rho \frac{L}{A_a} \quad (1.4)$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (1.5)$$

donde: d es el diámetro del alambre en mm,

q es el área de sección transversal en mm^2 , y

ρ es la resistividad del material $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Como la variación de la resistencia con la temperatura no es lineal se considera el coeficiente de temperatura C_t , que se define como la relación de la resistencia a una cierta temperatura R_t y la resistencia a 20 °C R_{20} y su valor se encuentra en tablas para varias aleaciones. La Ec. 1.6 presenta esta relación [11]:

$$C_t = \frac{R_t}{R_{20}} \quad (1.6)$$

La carga específica p de un conductor calefactor es directamente proporcional a su potencia P e inversamente proporcional a su área superficial A_c , se presenta en la Ec. 1.7, en la Ec. 1.8 se presenta el área superficial radiante del alambre [11].

$$p = \frac{P}{A_c} \quad (1.7)$$

$$A_c = \pi * d * l * 10 \quad (1.8)$$

donde: p es la carga específica en $\frac{W}{cm^2}$,

A_c es el Área superficial radiante en cm^2 ,

d es el diámetro del alambre en cm ,

L es la longitud del alambre en cm , y

P es la potencia total requerida para calentar el horno en W .

Combinando las ecuaciones Ecs. 1.4, 1.5, 1.7 y 1.8 se tiene el diámetro del alambre d como se ve en la Ec. 1.9:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi^2} \frac{\rho * P}{p * R_{20}}}$$

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 * \frac{\rho * C_t}{p}} \quad (1.9)$$

donde: d es el diámetro del hilo en cm ,

P es la potencia de entrada de los elementos en W ,

ρ es la resistividad en $\frac{\Omega mm^2}{m}$,

p es la carga específica $\frac{W}{cm^2}$,

V es la caída de tensión en V , y

c_t es el coeficiente de resistividad en la Ec. 1.9.

La carga específica p es lo primero que se debe tener en consideración en el cálculo de los elementos de resistencia. En una resistencia de determinada forma y dimensión, la temperatura de trabajo varía con los watts absorbidos, ya que el área de la superficie permanece constante.

Dado que las aleaciones Kanthal pueden funcionar a temperaturas más altas que las aleaciones Nikrothal, se puede lograr una carga superficial más alta sin poner en peligro la vida útil [12].

Para determinar la carga específica ($p=W/cm^2$) se hace uso de la gráfica que se presenta en la Fig. 1.10, en la cual se observa la carga en función de la temperatura para resistencias tipo Kanthal A1/AF/APM, además aparecen diferentes disposiciones para resistencias eléctricas para este tipo de hornos lo común es seleccionar la tipo A que es un alambre enrollado en forma espiral con diámetros que varían de 1 a 12 mm siendo posible la selección entre un gran número de diámetros normalizados.

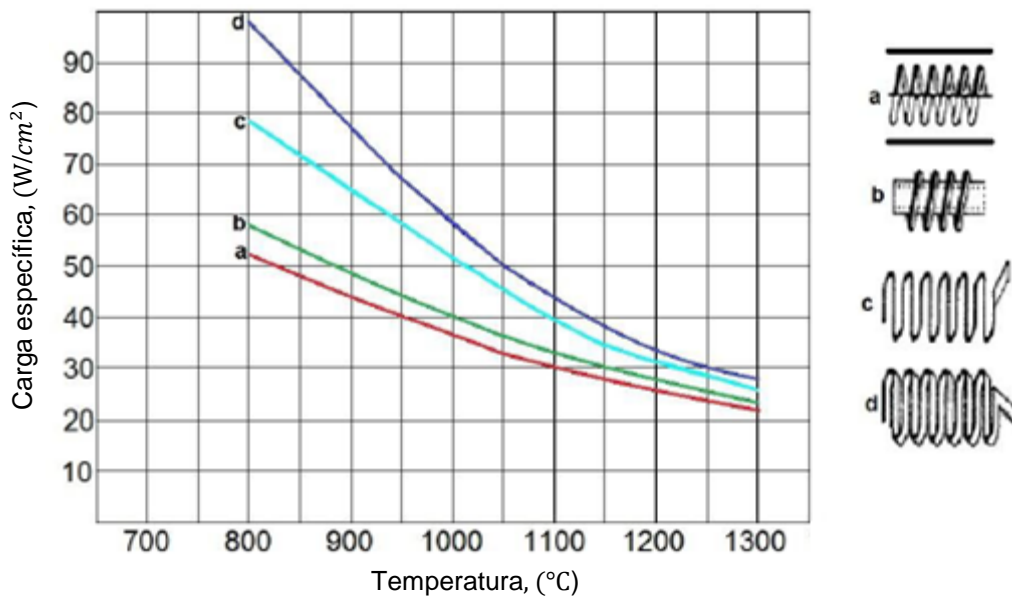


Fig. 1.10. Carga específica máxima de las resistencias Kanthal A1/AF/APM [10].

1.8.3. MÉTODO RÁPIDO PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL HILO

Este método rápido hace uso de tablas del manual Kanthal, se utiliza la relación $Ac/R20$ ($\frac{cm^2}{\Omega}$) de la Ec. 1.10, que se obtiene de la combinación de las ecuaciones Ecs. 1.2, 1.3, 1.6 y 1.7 del apartado anterior y se compara este valor dado en las tablas de los elementos Kanthal [10]:

$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * R_t}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * C_t}{p} = \frac{P^2 * C_t}{V^2 * p} \left(\frac{cm^2}{\Omega} \right) \quad (1.10)$$

1.9. REFRACTARIOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE HORNOS

Se define un refractario como aquellos elaborados con materias primas minerales cuyas propiedades no sufren un cambio en su estructura cuando es sometido a elevadas temperaturas, para el caso del diseño de hornos se busca que además este tipo de materiales sean químicamente inerte, debe tener un bajo coeficiente de conductividad térmica y baja dilatación térmica. Entre los materiales refractarios más importantes se encuentran las alúminas, magnesitas, cromitas, carbonos y las sílices que son los compuestos de las arcillas y los esmaltes [13].

Existe una gran variedad de productos refractarios aplicables en diferentes tipos de industria, por lo que en este espacio solo se esbozarán algunos utilizados en la industria de los materiales.

Según su composición química se pueden clasificar en cuatro grupos:

- ✓ Ácidos.- Caracterizados por su composición principal de sílice y alúmina, cuando el porcentaje de alúmina es superior al 50% se consideran refractarios de alta alúmina y son capaces de soportar temperaturas altas, superiores a los 1,000 °C.
- ✓ Básicos.- Se caracterizan por su contenido de MgO. Tienen buenas propiedades de refractariedad y son más costosos que los ácidos.
- ✓ Neutros.- Su función principal es separar refractarios ácidos de los básicos para que evitar que afecten entre ellos, sus principales elementos son la cromita y la magnesita.
- ✓ Especiales.- Son materiales no metálicos inorgánicos, el grafito pertenece a este grupo y es usado principalmente en atmósferas no oxidante. Entre sus principales componentes está la zircona, zircón y una gran variedad de nitruros, carburos y boruros.

En la Tabla 1.8 se presenta algunas propiedades de los refractarios aislantes en ella no se incluye la fibra cerámica.

Tabla 1.8. Propiedades físicas de materiales aislantes [13].

Tipo	Conductividad térmica a 400 °C, W/m·K	Temperatura Máxima, °C	Resistencia a la compresión en frío, kg/cm	Densidad, kg/m
Diatomita de alta densidad	0.25	1,000	270	1,090
Diatomita porosa	0.14	800	110	540
Arcilla	0.30	1,500	260	560
Alta alúmina	0.28	1,500-1,600	300	910
Sílice	0.40	1,400	400	830

Dependiendo de sus características, los materiales refractarios son producidos y comercializados de diferentes maneras, por su estado físico, de acuerdo con su método de aplicación o de fraguado, por su composición química, por su densidad de volumen o bien por las normas industriales a que están sujetos [14].

La mayoría de los refractarios tienen la forma de ladrillos de dimensiones establecidas por la ASTM y se comercializan de la siguiente manera:

- ✓ **Concretos refractarios:** Son mezclas secas tecnológicamente formuladas a base de materias primas refractarias, cuidadosamente seleccionadas y agentes ligantes de fraguado hidráulico. Se utilizan para la fabricación de piezas especiales o piezas monolíticas y en hornos rotatorios, hornos de tratamiento térmico, tapas de hornos de inducción y calderas.
- ✓ **Morteros refractarios:** Los morteros refractarios son agentes refractarios ligantes, constituidos por una mezcla de compuestos refractarios finamente molidos, con agregados de otras sustancias que pueden no ser refractarias y que en estado húmedo se utilizan para adherir ladrillos o piezas refractarias.
- ✓ **Ladrillos refractarios:** Se utilizan para revestir hornos crematorios, hornos rotatorios, calderas, hornos de fundición y hornos de tratamiento térmico.

1.10. MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Existen 3 mecanismos por los cuales se puede predecir la rapidez de transferencia de energía térmica de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura hasta llegar a un equilibrio térmico los cuales son conducción, convección y radiación,

esto ayuda a definir variables como dimensiones, geometrías, materias y tiempos que son datos que requiere un ingeniero diseñador para construir una máquina térmica o cualquier otro elemento que será sometido a un cambio de temperatura. A continuación, se explican brevemente.

1.10.1. CONDUCCIÓN

Este mecanismo de transferencia de calor se produce cuando dos cuerpos están en contacto directo, aunque no intercambian materia y la transferencia de calor se produce desde un medio hacia otro a través de un material.

Todos los materiales tienen una propiedad física llamada conductividad térmica que es la capacidad que tienen los materiales de conducir calor a través de ellos mediante la vibración de los átomos o por el intercambio de electrones.

Para determinar la razón de transferencia de calor por unidad de tiempo en determinada dirección, se hace uso de la ecuación de Fourier, nombrada así en honor al físico y matemático Joseph Fourier, la cual se presenta como la Ec. 1.11, así:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.11)$$

donde: q es la razón de transferencia de calor,

K es la conductividad térmica del material,

A es el área perpendicular al flujo de calor en la ecuación,

∂T es la diferencia de temperatura, y

∂x es el espesor del material que va atravesar el flujo de calor.

Con esta ecuación se puede calcular cuánto calor fluye a través de un material de determinado espesor con un área perpendicular al flujo que se encuentra afectado por un gradiente de temperatura [15].

1.10.2. CONVECCIÓN

Este modo de transferencia de calor se produce entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, que al moverse más rápido aumenta la transferencia de calor que la produce moviendo partículas al azar.

La convección se puede forzar si existe algún equipo como una bomba o ventilador que provoque el movimiento del fluido sobre la superficie, aunque también puede ser natural cuando el movimiento del fluido es provocado por la diferencia de densidades del fluido debido al aumento de temperatura.

Este mecanismo puede pasar a ser considerado como conducción cuando la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido no es tan grande y no se logra vencer la resistencia al movimiento del fluido, por lo que el fluido se encontraría casi estático y solo tendría mayor efecto la transferencia de calor por conducción y se aplicaría la Ec. 1.11.

Al igual que en la conducción, existe una ecuación para el cálculo del flujo de calor por convección, la cual se denomina “ley de Newton del enfriamiento” descrita en la Ec. 1.12, así:

$$q = hA_s(T_s - T_f) \quad (1.12)$$

donde: h es el coeficiente de transferencia de calor por convección,

A_s es el área del sólido en contacto con el fluido en movimiento,

T_s es la temperatura de la superficie del sólido, y

T_f es la temperatura del fluido suficientemente distante del sólido.

De esta manera se puede saber que mientras mayor sea el área de contacto mayor será también la transferencia de calor, aunque el área no es algo muy conveniente modificar para un diseño, en tales casos es preferible seleccionar otro material [16].

1.10.3. RADIACIÓN

La radiación es un mecanismo de transferencia de calor por el cual un cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto puede transferir energía térmica hacia el exterior. A estos cuerpos que emiten radiación se les puede denominar radiadores. Un radiador perfecto denominado también cuerpo negro puede emitir cierta cantidad de calor calculada bajo la Ec. 1.13, así [16]:

$$q = \sigma A_1 T_{sc}^4 \quad (1.13)$$

donde: σ es la constante de Stefan-Boltzmann,

A_1 es el área superficial, y

T_{sc} es la temperatura superficial del cuerpo.

Si el cuerpo negro irradia calor sobre un recinto negro, el cálculo de transferencia de calor está dado por la Ec. 1.14:

$$q = \sigma A_1 (T_{sc}^4 - T_{rn}^4) \quad (1.14)$$

donde: T_{rn} es la temperatura del recinto negro.

Esta ecuación se aplica para radiadores perfectos, aunque no es lo que se produce en la práctica. Cuando el cuerpo no es negro se lo denomina cuerpo gris y está afectado por una emisividad que es una constante menor que 1. Entonces la ecuación de transferencia de calor por radiación será como se presenta en la Ec. 1.15:

$$q = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_{sc}^4 - T_{rn}^4) \quad (1.15)$$

donde: ε_1 es la emisividad del cuerpo gris.

Esto se aplica cuando el recinto sea un cuerpo, que es algo que difícilmente se da. En el caso de que ambos cuerpos tengan una relación geométrica, la ecuación se afecta por un factor F_{1-2} así como se presenta en la Ec. 1.16:

$$q = \sigma A_1 F_{1-2} (T_{sc}^4 - T_{rn}^4) \quad (1.16)$$

La radiación casi siempre está combinada con otro mecanismo de transferencia de calor como la convección, con lo que se dificulta un poco la resolución de estos problemas y es necesario utilizar otras metodologías de resolución [15 y 16].

1.11. SISTEMAS DE CONTROL PARA HORNOS ELÉCTRICOS

Cada sistema de control se puede dividir en tres secciones generales: dispositivos de entrada (sensores), controladores, y dispositivos de salida (actuadores). Los dispositivos de entrada sienten lo que está sucediendo en el proceso, el controlador decide qué hacer al respecto, y los dispositivos de salida manipulan el proceso para lograr el resultado deseado. Un controlador lógico programable o PLC es un controlador de uso general, aplicable a muchos diferentes tipos de aplicaciones de control de procesos. A diferencia de los controladores de bucle PID, que son dispositivos de propósito especial destinados para realizar un solo tipo de función de control, un PLC puede ser instruido para hacer casi cualquier cosa con las señales que recibe de los dispositivos de entrada. Los PLC se introdujeron en la industria como reemplazos electrónicos para controles de relevadores electromecánicos. La confiabilidad de un PLC electrónico significaba menos fallas del sistema y más vida útil, la Re programabilidad de un PLC también significaba que se podían implementar cambios en el la estrategia del sistema de control debe ser más fácil que con los circuitos de relevo, donde el recableado era la única forma de alterar la función del sistema. Además, la naturaleza computarizada de un PLC significaba que el proceso con los datos de control se podría comunicar por el PLC a través de redes, permitiendo que las condiciones del proceso sean monitoreadas en lugares distantes, y por múltiples estaciones de operador.

Los sistemas de control automático por medio de un PLC se pueden resumir en un diagrama de bloques en el cual se presenta las relaciones entre los diferentes elementos que componen los circuitos de control y potencia respectivamente. En la Fig. 1.11 se presenta la relación entre la señal de entrada que es ingresada por el operador y que determina la rampa de temperatura para cada proceso.

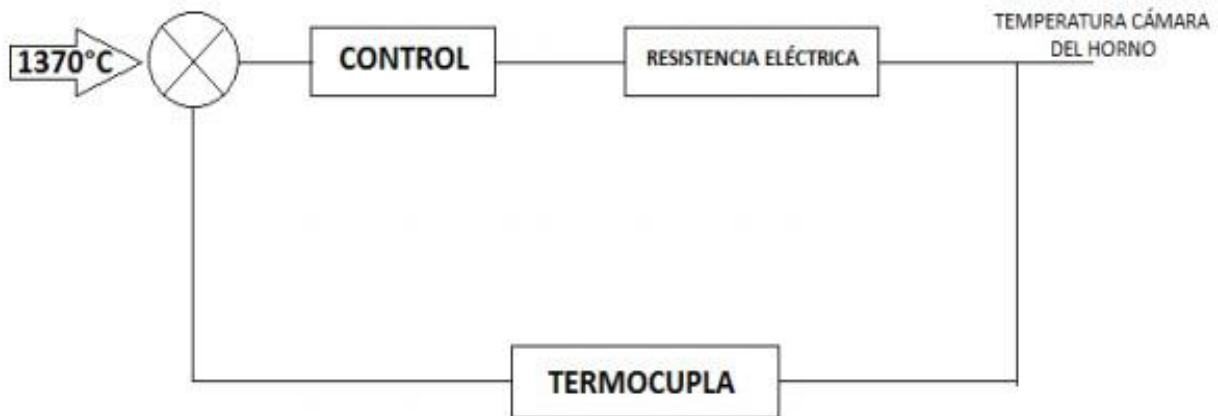


Fig. 1.11. Diagrama de bloques de un control automático de para hornos de resistencia [17].

Generalmente el control de temperatura de un horno es el control PID. Cuando el valor medido de la temperatura es diferente a la temperatura fijada, la orden de entrada para el calentamiento o el enfriamiento es controlado para minimizar el error [17].

1.11.1. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control se pueden clasificar según su estructura en dos tipos:

✓ Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de circuito abierto, también conocido como sistema sin retroalimentación, es un tipo de sistema de control continuo en el que la salida no tiene influencia o efecto sobre la acción de control de la señal de entrada. En otras palabras, en un sistema de control de bucle abierto, la salida no se mide ni se “retroalimenta” para compararla con la entrada. Por lo tanto, se espera que un sistema de circuito abierto siga fielmente su comando de entrada o punto de ajuste independientemente del resultado final. Como se presenta en la Fig. 1.12 [18].

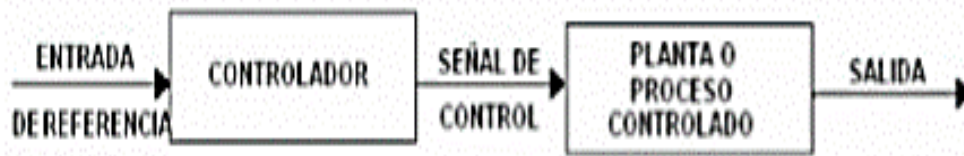


Fig. 1.12. Diagrama de bloques de lazo abierto [18].

✓ Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de circuito cerrado, también conocido como sistema de retroalimentación es el que utiliza el concepto de un sistema de circuito abierto como su ruta directa, aunque tiene uno o más circuitos de retroalimentación (de ahí su nombre) o rutas entre su salida y su entrada. La referencia a "retroalimentación", simplemente significa que una parte de la salida se devuelve "de regreso" a la entrada para formar parte de la excitación del sistema. En la Fig. 1.13 se presenta la relación entre la señal de entrada que es ingresada por el operador y que determina la rampa de temperatura para cada proceso.

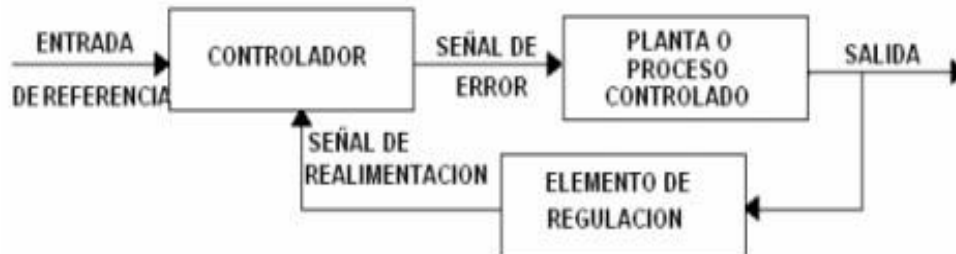


Fig. 1.13. Sistema de lazo cerrado o retroalimentación [18].

Generalmente el control de temperatura de un horno es el control PID. Cuando el valor medido de la temperatura es diferente a la temperatura fijada, la orden de entrada para el calentamiento o el enfriamiento es controlado para minimizar el error [18].

1.11.2. TIPO DE ACCIONES DE CONTROL

Estructura del PID considérese un lazo de control de una entrada y una salida (SISO) de un grado de libertad tal cual se presenta en la Fig. 1.14.

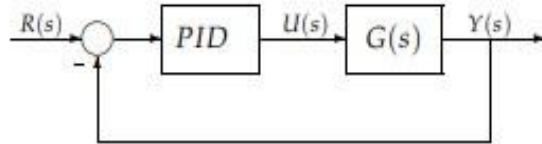


Fig. 1.14. Diagrama de bloques con acción PID [19].

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID [19].

✓ P: acción de control proporcional

Da una salida del controlador que es proporcional al error, Ec. 1.17:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (1.17)$$

La Ec. 1.17 descrita desde su función transferencia queda como se presenta en la Ec. 1.18:

$$C_p(s) = K_p \quad (1.18)$$

donde: K_p es una ganancia proporcional ajustable.

Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, aunque posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set) [19].

✓ I: acción de control integral

Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado como se describe en las ecuaciones (Ec. 1.19 y Ec. 1.20), lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (1.19)$$

$$C_{i(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (1.20)$$

La señal de control $u_{(t)}$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e_{(t)}$ es cero. Por lo que se concluye que, dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero [19].

✓ PI: acción de control proporcional-integral

Se define mediante la Ec. 1.21.

$$u_{(t)} = K_p e_{(t)} + \frac{K_p}{T_I} \int_0^t e_{(\tau)} d\tau \quad (1.21)$$

donde: T_I es el tiempo integral y es quien ajusta la acción integral.

La función de transferencia resulta como se indica en la Ec. 1.22 [19].

$$C_{PI(s)} = \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (1.22)$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinto de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo, siempre dará una acción de control creciente, y si fuera negativo, la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo indica que el error en régimen estable será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que se puede demostrar en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón [19].

✓ PD: acción de control proporcional-derivativa

Se define mediante la Ec. 1.23:

$$u_{(t)} = K_p e_{(t)} + K_p T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (1.23)$$

donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de anticipar el comportamiento de la señal, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios. La función transferencia de un controlador PD resulta como se presenta en la Ec. 1.24:

$$C_{PD(S)} = K_p + sK_p T_d \quad (1.24)$$

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad; es decir, que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error $e_{(t)}$ estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por lo tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable [19].

✓ PID: acción de control proporcional-integral-derivativa

Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. Estas acciones combinadas se obtienen mediante la Ec. 1.25:

$$u_{(t)} = K_p e_{(t)} + \frac{K_p}{T_I} \int_0^t e_{(\tau)} d\tau + K_p T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (1.25)$$

y su función transferencia resulta como se indica en la Ec. 1.26 [19].

$$C_{PID} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right) \quad (1.26)$$

1.11.3. ELEMENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

Los elementos básicos que contiene un sistema de control automático de temperatura se presentan a continuación:

✓ PLC (controlador lógico programable)

Un controlador lógico programable (PLC), también conocido como controlador programable, es el nombre dado a un tipo de ordenador de uso común en el control comercial e industrial. Los PLC se diferencian de las computadoras de oficina en las características de trabajo que hace tanto el hardware y el software que demandan para realizar estas acciones. En tanto que las utilidades determinadas difieren ampliamente, todos los PLC controlan las entradas y otros valores de variables, asumen decisiones establecidas en un programa almacenado, y regulan salidas para automatizar una planta o proceso [20].

✓ Funcionamiento básico de un PLC

Las unidades principales de un PLC comprenden de ingreso, de procesamiento central (CPU), de salida, y un elemento de programación como se presenta en la Fig. 1.15. El tipo de unidad de entrada o de los lugares utilizados por un PLC va depender de los módulos de entrada manejados. Ciertos equipos de entrada responden a las entradas digitales, que son encendidos o apagados. Otros requieren de las señales analógicas. Estas señales analógicas representan las señales de una planta o proceso que se desean controlar los cuales pueden ser señales eléctricas (tensiones o corrientes).

El trabajo importante del medio de entrada de un PLCs es la de cambiar las señales entregadas por diversos interruptores y sensores en señales digitales los cuales admitan ser usados por la unidad central de proceso. La unidad central de proceso (CPU) considera el estado de las entradas, salidas y otras variables, que opera el programa almacenado, después la CPU envía señales para actualizar el estado de las salidas. Los módulos de salida convierten señales de control de la CPU en valores digitales o analógicos que sirven para controlar distintos dispositivos de salida.

El módulo de programación se utiliza para realizar o reemplazar el programa del controlador lógico programable o para regular o variar los programas guardados. Una vez cargado el programa y las variables asociadas se depositan en la unidad central de proceso. Además, también puede admitir un módulo de interfaz de operador para facilitar el monitoreo de la planta o proceso.

Además, también puede admitir un módulo de interfaz de operador para facilitar el monitoreo de la planta o proceso [20].

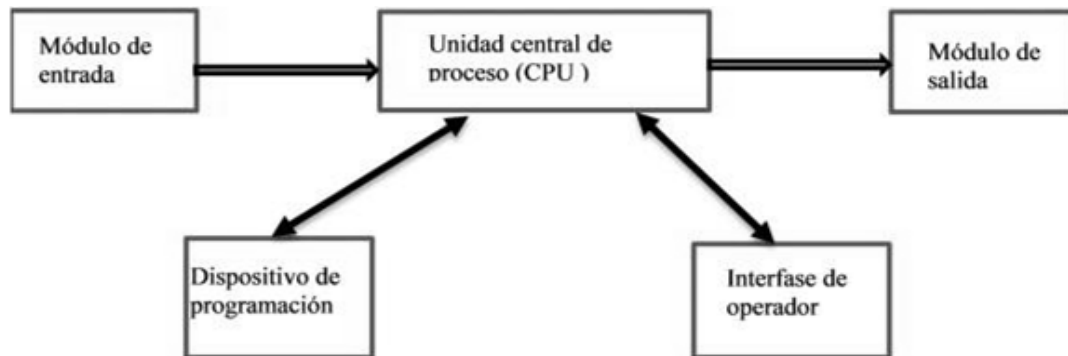


Fig. 1.15. Componentes primordiales de un PLC [20].

✓ Ventajas de PLC

Los PLCs son adecuados para realizar diferentes aplicaciones, en reemplazo del control cableado. Asimismo, el programa de PLC y los medios de relación relevan en gran parte los cables utilizados por el control de lógica cableada. Consecuentemente, el cableado, con los PLCs, es poca. Lo que corregir errores e innovación para cualquier utilización es más sencillo.

Ventajas de los PLC son las siguientes:

- Menor dimensión física en comparación al simple cableado;
- Más fáciles y rápido para hacer cambios;
- Los PLC realizan autodiagnóstico y anulación de funciones;
- Los diagnósticos, son centralizados;
- Las aplicaciones pueden ser inmediatamente documentadas; y
- Las solicitudes se pueden duplicar más rápido y a menor costo [20].

✓ Terminología utilizada con PLC

Para entender los PLC se requiere de conceptos de algunos términos. Los términos comúnmente utilizados con los PLCs, son los siguientes:

- **Sensores**

Los sensores son dispositivos que convierten una variable física en una señal eléctrica para ser utilizada por un controlador, como un PLC. Los Sensores están conectados a la entrada de un PLC. Un botón es un ejemplo de un sensor que a menudo está conectado a una entrada del PLC.

- **Actuadores**

Los Actuadores son unidades que convierten una señal eléctrica desde un controlador, como un autómatas, en un estado físico. Los actuadores son conectados a la salida del PLC.

- **Entradas y salidas discretas**

Las Entradas y Salidas Discretas, también se conocen como Entradas y Salidas Digitales. Son encendidos o apagados. Pulsadores, interruptores, 32 interruptores fin de carrera, interruptores de proximidad, y contactos de relé son ejemplos de dispositivos conectados a entradas discretas de un PLC. Solenoides, relés y bobinas de contactores, y el indicador de las luces son ejemplos de dispositivos conectados a salidas discretas de un PLC.

En la condición “on”, una entrada discreta o salida se representa internamente en el PLC como un 1 lógico. En la condición off, una entrada o de salida discreta se representa como un 0 lógico.

- **Entradas y salidas analógicas**

Las Entradas y Salidas Analógicas son señales continuas y variables en magnitud. Típicas señales analógicas varían desde 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA o de 0 a 10 V.

- **Unidad central de proceso (CPU)**

La unidad central de procesamiento (CPU) es un sistema de microprocesador que contiene la memoria del sistema y es la unidad de toma de decisiones del PLC. La CPU controla las entradas, salidas, y otras variables y toma decisiones basándose en las instrucciones mantenidas en su memoria de programa [20].

✓ Sensores de temperatura

Los sensores son instrumentos que detectan cambios en variables físicas como: presión, volumen, nivel, caudal, temperatura entre otros. Para el caso de los sensores de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y la transforma en una señal eléctrica que llegue hasta un sistema electrónico que se encarga de interpretar esta señal y realizar una acción según como esté programado. Estos pueden adoptar distintas formas. En la mayoría de las aplicaciones industriales y comerciales el elemento sensor se encuentra dentro de una funda sellada de acero inoxidable unido a una cabeza ensamblada en forma de tornillo para unir a un cable el señor del aparato a medir. La cabeza del sensor se puede conectar al sistema electrónico en cuestión como se presenta en la Fig. 1.16.



Fig. 1 16. Funda típica montada en sonda RTD [18].

Para algunas aplicaciones es muy útil el uso de sensores sin funda. Esto se aplica principalmente para sensores muy robustos como los termopares. Las ventajas que incluyen son una respuesta más rápida, menor tamaño y costo.

Cuando se está midiendo temperaturas muy altas, por encima de los 600 °C, a menudo el material de la funda empieza a ser crítico. Este se elige por su tolerancia química en el medio que se está midiendo y sus efectos contaminantes sobre el elemento sensor. La difusión atómica es fuertemente acelerada a temperaturas elevadas [18].

✓ Selección de un sensor de temperatura

Existen varios sensores que pueden medir temperatura. La elección se basa en los siguientes factores: la precisión, el intervalo de temperaturas, el acceso al punto de interés, la velocidad de respuesta, el entorno (producto químico, físico, eléctrico) y la rentabilidad. Seleccionar el sensor apropiado no siempre es una tarea fácil. Uno de

los métodos es seguir el ejemplo de otros en el campo (aunque no siempre es el más idóneo). En la Tabla 1.9 se presenta una guía de selección.

Tabla 1.9. Relación de sensores tradicionales según el campo de utilización [18].

Campo	Sensores Tradicionales
Investigación Agrícola	Termistor, Termopar tipo Semiconductor
Automóvil Procesos químicos y de los materiales Criogénicos	Termistor, Pt100, termopar Pt100, termopar Resistencia de óxido de metal
Investigación ambiental	Termistor, termopar tipo T, Pt100, semiconductor
Industrial general Educación, pasatiempos Calefacción, ventilación y aire acondicionado	Pt100 Semiconductor, termistor, termopar tipo Pintura Ni 10000, termistor, Pt100, pintura
En productos de manufacturados	Semiconductor, termistor, Pt100
Metalurgia	Termopar tipo K o N

Un buen punto de partida es definir los siguientes requisitos:

- La precisión y la resolución requerida;
- La necesidad de sustituir y/o reemplazar el sensor;
- El intervalo de temperaturas;
- La capacidad de medida del equipo:
- El costo;
- Si la calibración individual es práctica; y
- Compatibilidad media y otras cuestiones ambientales que pudieran afectar a la fiabilidad y la conservación de los sensores [18].

✓ **Detector de temperatura resistiva (RTD)**

Los detectores de temperatura resistivos (RTDs) dependen de los fenómenos previsibles y repetibles de la resistencia eléctrica de los metales que cambian con la temperatura.

El coeficiente de temperatura para todos los metales puros son los de orden de 0.003 a 0.007 $\Omega/^{\circ}\text{C}$. Los metales más comunes utilizados para la detección de temperatura son platino, níquel, cobre y molibdeno. Mientras que la resistencia, las características de temperatura de cierto semiconductor y de materiales de cerámica

se utilizan para detectar la temperatura, tales sensores no se clasifican generalmente como RTDs [18]:

- Tipos de RTDs

Por lo general casi cualquier tipo de metal se puede utilizar para la fabricación de RTDs, aunque el número utilizado en la práctica es limitado, en la Tabla 1.10 se enlistan los metales más comunes [18].

Tabla 1.10. Tipos de RTDs [18].

Metal	Intervalos de Temperaturas, °C	Coefficiente de Temperatura	Comentarios
Cobre	-200 a 260	0.0047	Bajo costo
Molibdeno	-200 a 200	0.00300	Bajo costo, alternativa para rangos bajos de temperatura
Níquel	-80 a 260	0.00672	Bajo costo, intervalo limitado de temperatura
Níquel-Hierro	-200 a 200	0.00518	Bajo costo
Platino	-240 a 660	0.00385 0.00392 0.00377	Buena precisión, intervalo amplio de temperatura disponible hasta 1,000 °C

- Tipo de Termocuplas

Este tipo de sensores está constituido por dos materiales diferentes principalmente, que son unidos en un punto por soldadura, generalmente con estaño o soldadura por arco eléctrico.

- Termopar tipo E: Este tipo de termocuplas están construidas de Cromel-Constantán, se pueden usar en vacío o en atmósfera inerte ³² o mediante oxidante o reductora. Este termopar posee la fem más alta por variación de temperatura, y se puede usar para las temperaturas entre -200 y +900 °C.
- Termopar tipo T: Este tipo de termocuplas están construidas de Cobre-Constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y se puede utilizar en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200 a + 260 °C.
- Termopar tipo J: El termopar tipo “J” fabricado de Hierro Constantán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta

rápidamente por encima de 550 °C, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750 °C.

- Termopares tipo R, S, B: Este tipo de termocuplas son enchufadas en una lanza, el operario sumerge ésta en acero y aunque el cartucho se funde en unos segundos, da tiempo para que un circuito especial fije la máxima temperatura alcanzada. Por eso son muy utilizadas en la industria siderúrgica.

El principio de funcionamiento de este tipo de instrumentos se basa en el efecto Seebeck, donde al estar expuestos en dos puntos a diferentes temperaturas; provocando la aparición de una fuente electromotriz, por lo que genera una diferencia de tensión muy pequeña medida en mili Voltios, según el tipo de Termocupla, existe una escala de temperaturas en función del voltaje.

La circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados que son:

- El efecto Peltier. Que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión.
- El efecto Thomson. Que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

La combinación de los dos efectos, de Peltier y de Thomson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar.

- Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no se puede sostener la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
- Ley de las temperaturas sucesivas. – La fem. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_{u1} y T_{u3} es la suma algebraica de la fem. del termopar con sus uniones a T_{u1} y T_{u2} y de la fem del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_{u2} y T_{u3} [5 y 21].

La combinación de los materiales que conforman estos elementos para censar temperatura depende de la aplicación y el entorno en que vayan a funcionar, en ocasiones debido al medio de trabajo se las coloca dentro de fundas especiales. En fin, para una correcta selección en la Tabla 1.11 se indica las termocuplas que pueden ser utilizadas [18].

Tabla 1.11. Materiales, intervalos de temperatura, tensión y letra con que se designa a diferentes termocuplas [18].

Aleación de unión	Temperatura de utilización, °C	Intervalo de tensión, mV	Tipo
Pt 6% Rh - Pt 3% Rh	38 a 1800	13.6	B
W 5% Re - W 26% Re	0 a 2300	37	C
Cromel - Constantán	0 a 982	75	E
Fe - Constantán	-184 a 760	50	J
Cromel - Alumel	-184 a 1260	56	K
Pt - Pt 13% Rh	0 a 1593	18.7	R
Pt - Pt 10% Rh	0 a 1538	16	S
Cu - Constantán	-184 a 400	26	T

A continuación, se presenta las curvas características de los diferentes tipos de termocuplas, tal como se presenta en la Fig. 1.17

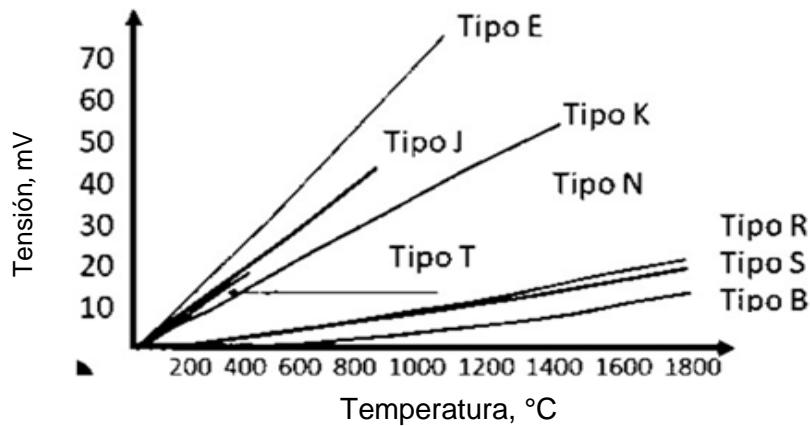


Fig. 1.17. Curvas características fem/temperatura de los termopares [21].

- Relé

Un relé es un interruptor el cual es accionado por un electroimán. Está formado por una barra de hierro llamada núcleo, rodeada por hilo de cobre, al pasar corriente por el hilo de cobre el hierro se magnetiza generando un campo magnético convirtiéndose en un imán. A mayor cantidad de vueltas de hilo de cobre y mayor intensidad de corriente más potente es el campo magnético [17 y 18].

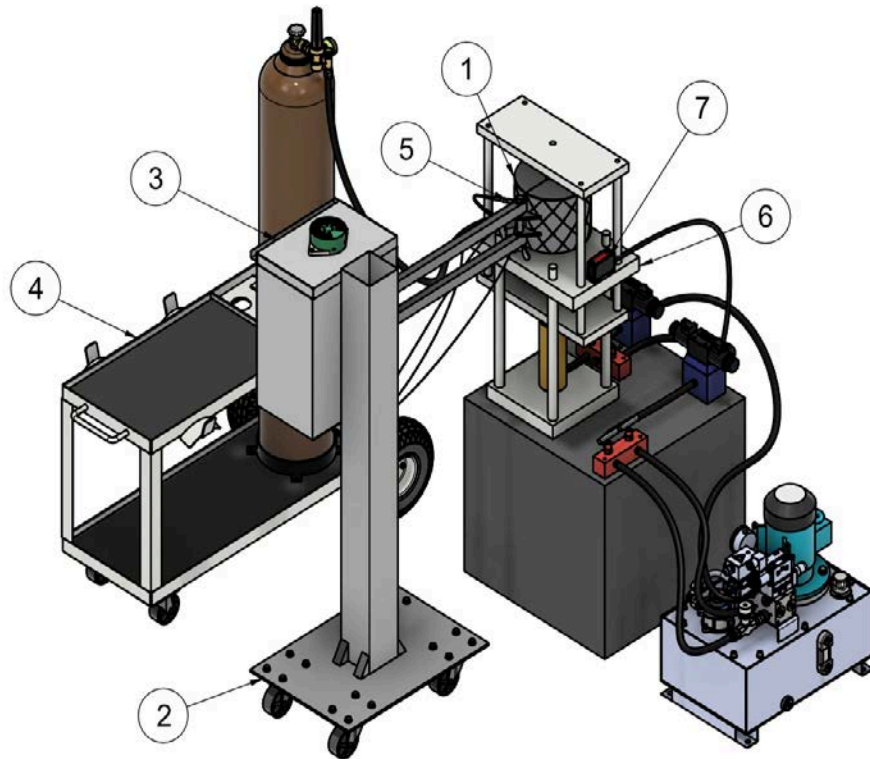
2. PROPUESTA DE DISEÑO DEL HORNO

En este Capítulo se tomaron en consideración los parámetros básicos para el diseño del horno de tratamiento térmico, como criterios para selección de materiales de construcción, dimensiones del horno, adaptadas y restringidas por la máquina de ensayos de tracción de la Escuela de Ingeniería Mecánica [10], entre otros, para esto es importante establecer las temperaturas de operación al interior y exterior del horno de modo que el diseño final considere el enfoque energético, así se toman en consideración algunas recomendaciones específicas de la norma ASTM E21 para ensayos de materiales metálicos a elevadas temperaturas.

A continuación, se han englobado los principales parámetros para el desarrollo del horno a partir de las necesidades y restricciones del mismo, la norma recomienda que el horno debe ser eléctrico (norma ASTM E21-03) y que posea un control automático para la temperatura, otras especificaciones técnicas son las siguientes:

- Dimensiones externas del horno,
- Temperatura de trabajo,
- Temperatura superficial,
- Material refractario,
- Material aislante,
- Mecanismo de apertura del horno,
- Mecanismo de sujeción de la probeta,
- Energía eléctrica, y
- Fácil mantenimiento.

En la Fig. 2.1 se presenta los componentes que se diseñaran en este capítulo que conforman el sistema del horno de alta temperatura con gas protector argón para evitar oxidación en las muestras que se pretendan ensayar. Mencionar que se han tomado criterios de diseño junto con la máquina de ensayos de tracción instrumentada diseñada antes en otro trabajo de grado, incluido el sensor de distancia óptico BAUMER modelo OM70-L0070.HH0048 [22].



- 1) Horno para alta temperatura,
- 2) Estructura metálica que soporta el horno y el panel de control,
- 3) Panel de control,
- 4) Sistema de atmósfera inerte,
- 5) Termocupla,
- 6) Máquina de ensayos de tracción con sistema de instrumentación, y
- 7) Sensor de distancia óptico.

Fig. 2.1. Modelo de horno para altas temperaturas con atmósfera inerte de argón accesorio de la máquina de ensayos de tracción instrumentada.

2.1. DIMENSIONES EXTERNAS DEL HORNO

En el diseño de horno, las dimensiones externas se han estimado en un principio en función del espacio disponible en la máquina de tracción donde se pretende instalar este accesorio, el mecanismo de apertura debe ser tal que se extraiga y coloque la muestra de manera fácil, por lo tanto, se ha considerado una geometría cilíndrica acorde al espacio entre las placas móviles de la máquina de ensayos, se presenta detalladas en la Fig. 2.2 las dimensiones de dicha placa, las cuales son 2 con iguales características geométricas. Además, se deben considerar que existen 4 barras deslizantes con diámetro de 20 mm cada una en los extremos de la placa móvil, las cuales restringen aún más el espacio disponible.

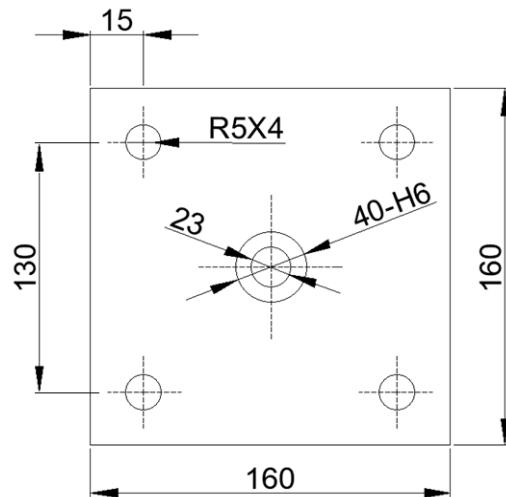


Fig. 2.2. Dimensiones en mm de la placa superior móvil con la que cuenta la máquina de ensayos de tracción [23].

Considerando la longitud de 160 mm de largo y ancho para la placa, menos el espacio reducido por cada barra de 20 mm de diámetro se tiene una longitud disponible de 110 mm de largo y ancho, dejando una holgura de 20 mm entre el horno y las barras el ancho máximo sería de 90 mm. En cuanto a la altura, considerándose que las barras deslizantes tienen una longitud de 315 mm. De esta longitud se debe restar la altura de la porta mordazas y las mordazas que alcanzan alrededor de 150 mm además por la disposición de estas en la máquina de ensayos se considerara que se tiene una altura disponible máxima de 130 mm, una disposición de referencia para estos hornos es como se presenta en la Fig. 2.3.



Fig. 2.3. Horno tubular vertical de alta [23].

En la configuración tipo libro que se presenta en la Fig. 2.3, se considera inicialmente que los materiales a utilizar son tales como refractarios aislantes, manta cerámica aislante de alta temperatura, lámina de acero inoxidable, entre otros.

2.2. DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO

Este tipo de ensayos de tracción requiere una elevada temperatura en el interior del horno en un tiempo determinado y que logre calentar la probeta de la manera más efectiva posible, para el caso de este trabajo se ha estimado que alcance 800 °C, no es el caso para el exterior, en la superficie exterior del horno se requiere una menor temperatura superficial entre 60 y 70 °C esto por cuestiones de seguridad para los usuarios y para evitar las pérdidas elevadas de calor que salen del sistema, aquí es donde se denota la importancia del uso de materiales aislantes refractarios de gran eficiencia ya que se busca tener el mínimo diámetro posible para el horno.

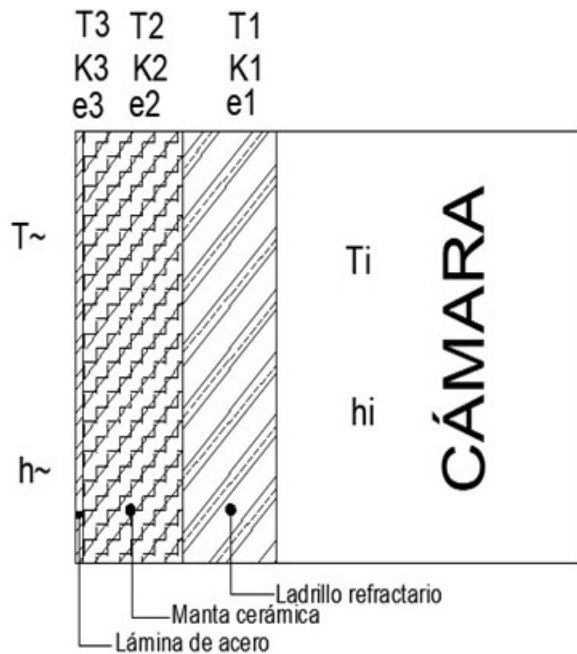
Según la ubicación geográfica en donde se encuentra la máquina se ha tomado en consideración una temperatura ambiente promedio de 27 °C.

2.2.1. DISPOSICIONES DE LAS CAPAS DE EL HORNO

Se deben tomar ciertas consideraciones para elegir la disposición de los materiales en las capas de revestimiento del horno, las cuales son las siguientes:

- Se requiere lograr una radiación uniforme, por lo cual la disposición de los materiales se determina por las siguientes propiedades: temperatura máxima de operación, conductividad térmica y densidad decreciente, ya que el aislamiento se toma desde la cara caliente en el interior del horno, hasta la cara fría en el exterior del mismo [10].
- Los materiales de cada capa deberán soportar la temperatura máxima de operación correspondiente a su ubicación formando la pared del horno.

A continuación, en la Fig. 2.4 se presenta la disposición de los materiales de revestimiento.



- T_i temperatura al interior de la cámara del horno,
- T_∞ temperatura al exterior del horno,
- T_1 temperatura en la pared interior del refractario,
- T_2 temperatura en la cara caliente de la pared de la manta cerámica aislante de alta temperatura,
- T_3 temperatura en la cara caliente de la cubierta,
- T_4 temperatura en la pared exterior del horno,
- k_1 coeficiente conductivo del refractario,
- k_2 coeficiente conductivo promedio de la manta cerámica,
- k_3 coeficiente conductivo de la cubierta de acero,
- h_i coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación al interior del horno,
- h_∞ coeficiente de transferencia de calor por convección al exterior del horno,
- e_1 espesor del refractario aislante en m,
- e_2 espesor de la manta cerámica, y
- e_3 espesor de la cubierta de acero en m.

Fig. 2.4. Disposición de las capas del horno.

De la Fig. 2.4 la temperatura máxima con la que se espera realizar los ensayos de tracción T_i es la temperatura al interior de la cámara del horno de ~ 800 °C, sobre este valor se harán los respectivos cálculos de pérdidas de temperatura, donde a medida que disminuyan esta temperatura máxima en el interior del horno se reducen pérdidas. T_∞ es la temperatura al exterior del horno (temperatura ambiente) de 27 °C, la temperatura en la pared interior del refractario T_1 se ha aproximado a la temperatura máxima al interior de la cámara del horno es decir de 800 °C.

La temperatura en la cara caliente de la pared de manta cerámica T_2 se establece a partir de la temperatura máxima que soporta la manta según las características técnicas proporcionados por el proveedor y haciendo una comparativa de las conductibilidades del refractario y la manta cerámica, evaluando hasta que temperatura la manta tiene mejores propiedades de aislamiento térmico. Esta se calcula más adelante en este capítulo.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN LAS CAPAS DEL HORNO

El poder aislante está habitualmente en relación inversa con la temperatura máxima de uso, por esto se utilizan comúnmente construcciones multicapa, permitiendo utilizar materiales de menor conductividad a medida que disminuye la temperatura dentro de la pared del horno. Es así que el horno constará de paredes constará de ladrillos cerámicos refractario, una capa de manta cerámica para alta temperatura y el revestimiento o cubierta de acero. Teniendo en consideración que está sujeto a la disponibilidad y factibilidad final de los materiales descritos, se presenta los que se han seleccionado para su uso como parámetro de diseño, así:

✓ Ladrillos refractarios aislantes JM 23

Los ladrillos JM son fabricados a partir de caolines muy puros, enriquecidos con alúmina. El caolín es un mineral no renovable, es un silicato de aluminio hidratado producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente, el caolín es la arcilla en la que predomina la mineral caolinita.

En las versiones de los ladrillos refractarios cuyas temperaturas de clasificación son más elevadas. Una carga orgánica de granulometría precisa, que se elimina durante la cocción de los ladrillos, crea una estructura porosa uniforme y controlada.

Debido a su baja densidad y a su conductividad térmica muy baja, la acumulación de calor es mínima, permitiendo reducir significativamente el consumo energético del horno.

La conductividad térmica K para este material es de $0.17 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ este valor es obtenido de la Tabla 2.1 para el refractario JM 23 para una temperatura de $800 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ver anexo A.21), es el más adecuado por ello es el seleccionado. Será útil para calcular la pérdida de calor por conducción a través del espesor del refractario aislante.

✓ Manta cerámica aislante de alta temperatura

Las mantas Superwool® Plus y Superwool® HT ofrecen las mismas ventajas que otros miembros de la familia de fibras Superwool, aunque con resistencia a la manipulación y propiedades térmicas mejoradas. Las mantas se fabrican con materias

primas puras. Además de las propiedades térmicas mejoradas, se han eliminado las molestas partículas de polvo haciendo el producto suave al tacto y menos irritante cuando se usa.

Tabla 2.1. Propiedades de refractarias aislantes JM.

Características principales	JM 23	JM 26	JM 28	JM 30	JM 32	Insalcor	
Clasificación ISO 2245	125 0.5L	140 0.8L	150 0.9L	160 1.0L	170 1.2L	180 1.3L	
Clasificación de Temperatura, °C	1,260	1,430	1,540	1,560	1,760	1,790	
Características a temperatura ambiente (23 °C/50% humedad relativa)							
Densidad media (ASTM C-134-84), kg/m ³	480	800	890	1020	1250	1310	
Módulo de rotura (ASTM-93-84), MPa	1.0	1.5	1.8	2.0	2.1	3.1	
Resistencia a la compresión (ASTM C-93-84), MPa	1.2	1.6	2.1	2.1	3.5	6.3	
Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:							
400 °C	W/m·K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49	0.79
600 °C	W/m·K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50	0.81
800 °C	W/m·K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51	0.90
1,000 °C	W/m·K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53	1.03
1,200 °C	W/m·K	----	0.35	0.38	0.42	0.56	1.17
1,400 °C	W/m·K	----	-----	-----	-----	0.60	1.32
Calor específico 1,000 °C		1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

Las mantas presentan extraordinarias propiedades de aislamiento a temperaturas elevadas, como se puede ver en la Tabla 2.2 donde se presenta la conductividad térmica a distintas temperaturas. Tienen una excelente estabilidad térmica y retienen su estructura de suaves fibras original a la temperatura máxima de uso continuo. Las mantas se cosen desde ambos lados y tienen una gran resistencia antes y después de calentarse. No contienen aglutinantes ni lubricantes y no emiten humos ni olores durante el primer encendido. Las mantas son flexibles, se cortan, se les da forma e instalan fácilmente. La temperatura máxima de uso continuo depende de la aplicación. No está afectada por la mayoría de los agentes químicos, excepto álcalis fuertes, ácido fosfórico y molibdeno.

La selección de la manta cerámica aislante Superwool se eligió porque presenta las características necesarias para la construcción del horno ver Fig. 2.5 y Anexo A.22.

También en la Tabla 2.3 se presentan los espesores comerciales que se pueden obtener, por lo que al hacer la selección se tendrá en consideración dicha tabla como referencia.

Algunas de las ventajas que se tienen usando este material son:

- Excepcional rendimiento del aislamiento térmico en comparación con el estándar del sector;
- Sin aglutinantes ni lubricantes;
- Estabilidad térmica;
- Bajo almacenamiento de calor;
- Buena resistencia al desgarro;
- Flexible y resistente; y
- Inmune al choque térmico.

Tabla 2.2. Conductividad térmica de las mantas Superwool® Plus.

Conductividad térmica, W/m·K (ASTM -201)	Superwool Plus Blanket			
Densidad, kg/m ³ (lb/pie ³ , PCF)	64(4)	96(6)	128(8)	160(10)
200 °C	0.06	0.05	0.05	0.04
400 °C	0.11	0.09	0.08	0.07
600 °C	0.15	0.14	0.12	0.11
800 °C	0.24	0.21	0.18	0.16
1,000 °C	0.36	0.29	0.25	0.23

Tabla 2.3. Espesores disponibles de las mantas Superwool® Plus.

Espesor mm	64 kg/m ³	80 kg/m ³	96 kg/m ³	128 kg/m ³	160 kg/m ³	Longitud, mm	Ancho, mm	m ² /caja
6				X		4x5500	610	13.42
10			X	X		18500	610	11.28
13		X	X	X	X	14640	610	8.93
19	X	X	X	X	X	9760	610	5.95
25	X	X	X	X	X	7320	610	4.46
38	X	X	X	X		4880	610	2.98
50	x	x	X	X		3660	610	2.23

Es evidente que entre las opciones se debe elegir la manta de 160 kg/m³ que tiene mejores propiedades aislante. Además, haciendo una comparativa, es evidente que entre el ladrillo refractario seleccionado como la mejor opción y la manta cerámica seleccionada, a partir de los 500 °C (con interpolación), la manta cerámica tiene menor conductividad térmica que el refractario. Es a partir de esta temperatura que se empleará entonces la manta cerámica, además como se puede observar el valor de la

conductividad térmica de la misma varía demasiado, por lo que será necesario más adelante calcular un valor de conductividad térmica promedio entre el intervalo empleado de temperatura.



Fig. 2.5. Manta aislante de alta temperatura.

2.2.3. ANÁLISIS TÉRMICO

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Como se estableció en el capítulo 1 a mayor detalle los primeros dos modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja, por otro lado, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío, la radiación térmica, es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura [16].

Para el diseño del horno es necesario considerar los tres mecanismos combinación de radiación y convección en la parte externa e interna, y conducción a través de las paredes del horno.

2.2.4. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Se determina el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección en base a las ecuaciones adecuadas y conforme a la forma geométrica que se ha elegido para el horno:

✓ Número de Nusselt

El valor de h_{∞} Se puede calcular en base a la Ec. 2.1 para el número Nusselt:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^c = CRa_L^2 \quad (2.1)$$

donde: Nu es el número de Nusselt,

Gr_L es el número de Grashof,

Pr es el número de Prandtl,

Ra es el número de Rayleigh, y

C es una constante que depende de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo el cual se caracteriza por el valor del número de Rayleigh.

Para un cilindro vertical se puede tratar como una placa vertical cuando se cumple la Ec. 2.2 [16].

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{\frac{1}{4}}} \quad (2.2)$$

De no cumplirse se deben utilizar otras ecuaciones adecuadas para la configuración geométrica de un cilindro vertical.

✓ Número de Rayleigh

El número de Rayleigh por sí mismo se puede considerar como la razón de las fuerzas de flotabilidad y los productos de las difusividades térmicas y de cantidad de movimiento, se tiene entonces la Ec. 2.3 [16].

$$Ra = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c}{\nu^2} Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{\nu\alpha} \quad (2.3)$$

Donde g es la aceleración de la gravedad y tiene un valor de $9.81 \frac{m}{s^2}$,

β es el coeficiente de expansión volumétrica, $1/k$ ($\beta = \frac{1}{T}$ para los gases ideales, para aire $1/(48.5+273.15)$).

ν es la viscosidad cinemática del fluido de $\frac{1.798 \times 10^{-5} m^2}{s}$.

L_c es la longitud característica de la configuración geométrica de 0.13 m, y

α es la difusividad térmica en $\frac{m^2}{s^2}$.

Para el aire, de Tablas:

$$Pr = 0.7228$$

Todas las propiedades del fluido en la Ec 2.3 han sido obtenidas a la temperatura de película con la Ec 2.4 [16]:

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_\infty) \quad (2.4)$$

Para comprobar que se cumple la relación de la Ec. 2.2 y el cilindro vertical se puede tratar como una placa vertical, se procede al cálculo del número de Grashof que se presenta en la Ec. 2.3. Así, como resultado se obtiene:

$$Gr_L = 527372991.9$$

Luego, evaluando la Ec. 2.2 queda:

$$D \geq \frac{35(0.165)}{(527372991.9)^{\frac{1}{4}}}$$

$$D \geq 0.038$$

$$0.09 \geq 0.038$$

Dado que D es igual a 0.09 m, la relación de la Ec. 2.2 se cumple, por lo que se puede tratar la superficie del horno como si se tratara de una placa vertical, se debe tener en consideración que el diámetro final puede ser mayor al determinar los espesores de los materiales que conforman el horno.

- ✓ Número de Nusselt para la convección natural sobre superficie considerada como placa vertical

Se tiene la Ec. 2.5 [16]:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (2.5)$$

Evalutando la Ec. 2.5.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(527372991.9 * 0.7228)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7228} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 91.6296$$

Cálculo del coeficiente de convección natural para el horno usando la Ec. 2.1, despejando de ella h_{∞} se obtiene la Ec. 2.6

$$h_{\infty} = \frac{Nuk}{L_c} \quad (2.6)$$

De tablas para el aire a la temperatura de capa limite 48.5 °C, $k = 0.02735 \frac{W}{m \cdot K}$ [16]

$$h_{\infty} = \frac{(91.6296)(0.02735)}{0.13}$$

$$h_{\infty} = 19.28 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

2.2.5. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se puede obtener con la Ec. 2.7 [16]

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_{\infty}^2) (T_s + T_{\infty}) \quad (2.7)$$

La emisividad del acero considerando como si fuera ligeramente oxidado. De tablas se encuentra que a la temperatura aproximada a la que operará, será $\varepsilon_{acero} = 0.30$. Valor que también es similar al del latón.

$$h_{rad} = (0.30)(5.67 \times 10^{-8})((333.15)^2 + (300.15)^2)(333.15 + 300.15)$$

$$h_{rad} = 2.17 \frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ K$$

2.2.6. COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR COMBINADO

Ahora se puede determinar el $h_{combinado}$ de la Ec. 2.8, así:

$$h_{combinado} = h_{\infty} + h_{rad} \quad (2.8)$$

$$h_{combinado} = 19.28 + 2.17$$

$$h_{combinado} = 21.45 \frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ C$$

2.2.7. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS QUE CONFORMAN EL HORNO

Para realizar el cálculo de los espesores de las capas del horno, lo primero que se determina es el flujo de calor por convección y radiación en la parte exterior del horno, considerando dimensiones adecuadas, se trata con las dimensiones iniciales establecidas en el apartado 2.1, sin embargo se trata de un proceso iterativo en el cual en base al flujo de calor combinado en la parte externa, se determinan los espesores de los distintos materiales y se deben obtener al final valores que no excedan en el espesor combinado o total, al que se establezca al inicio de los cálculos. El ambiente convectivo exterior se analiza cuando ya se ha obtenido el coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación combinados. Se obtiene la pérdida de calor en base al radio exterior establecido inicialmente, porque es proporcional al área superficial y se realizarán los cálculos.

Sobre la base de la Fig. 2.3 referente a la disposición de las capas de los materiales que componen el horno.

2.2.8. CÁLCULOS DE PÉRDIDA DE CALOR AL EXTERIOR DEL HORNO

Este cálculo se estima la transferencia de calor del horno hacia el ambiente desde la pared externa del horno; la pérdida de calor se calculó partiendo del principio de la transferencia de calor por convección y radiación, y solo se considera la transferencia de calor en la pared cilíndrica alrededor de la probeta, sin considerar las caras superior e inferior del horno, esto facilitará los cálculos y es una aproximación con la que se determinarán con mayor exactitud los espesores adecuados para cada capa, considerando que la transferencia de calor real hacia el exterior será algo mayor. Utilizando la Ec. 2.9 se calcula la pérdida de calor.

$$\dot{Q}_{cr} = h_{combinado} * A_{cubierta\ de\ acero} (T_4 - T_{\infty}) \quad (2.9)$$

donde: \dot{Q}_{cr} es el flujo de calor por convección y radiación,

$A_{cubierta\ de\ acero}$ es el área de cubierta de acero en contacto con el aire exterior que se está considerando para el cálculo, y $h_{combinado}$ es el coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación.

Se calcula área superficial considerada con la Ec. 2.10.

$$A_{cubierta\ de\ acero} = 2\pi r_s l \quad (2.10)$$

Reemplazando valores en esta expresión se tiene:

$$A_{cubierta\ de\ acero} = 2\pi(0.07)(0.13)$$

$$A_{cubierta\ de\ acero} = 0.05718\ m^2$$

Evaluando la pérdida de calor por convección y radiación con la Ec. 2.9.

$$\dot{Q}_{cr} = h_{combinado} * A_{cubierta\ de\ acero} (T_4 - T_{\infty})$$

$$\dot{Q}_{cr} = (21.45)(0.05718)(60 - 27)$$

$$\dot{Q}_{cr} = 40.47\ W$$

2.2.9. CÁLCULO DEL ESPESOR e_1

Para encontrar los espesores de los componentes de la pared del horno se procede a realizar el análisis del flujo de calor por partes; es decir, los límites de frontera difieren de pared a pared, aunque se mantiene el criterio de que el flujo de calor será constante a lo largo del espesor de las paredes, puesto que están en serie.

El material de la pared interna es el ladrillo refractario y sus límites de frontera son T_1 y T_2

La transferencia de calor por conducción está dada por la Ec. 2.11:

$$\dot{Q} = 2\pi L_c k \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (2.11)$$

El espesor e_1 se calculará en conociendo cuál es la transferencia de calor debido a las pérdidas desde el interior del horno, pues esta deberá ser igual al calor perdido por convección en el exterior del horno.

Datos conocidos.

$$k_1 = 0.17 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$T_1 = 800 \text{ }^{\circ}C$$

$$T_2 = 500 \text{ }^{\circ}C$$

$$L_c = 0.13 \text{ m}$$

$$r_1 = 0.02 \text{ m}$$

Al despejar la Ec. 2.11 para determinar r_2 se obtiene la Ec. 2.12

$$r_2 = r_1 * e^{\frac{2\pi L_c k_1 (T_1 - T_2)}{\dot{Q}}} \quad (2.12)$$

Se evalúa la Ec. 2.12 y se obtiene el radio externo de la pared del refractario.

$$r_2 = 0.02 * e^{\frac{2\pi(0.13)(0.17)(800 - 500)}{40.47}}$$

$$r_2 = 0.05598$$

Ahora se determina el espesor con la Ec. 2.13

$$e_1 = r_2 - r_1 \quad (2.13)$$

$$e_1 = 0.05598 - 0.02$$

$$e_1 = 0.036 \text{ m}$$

2.2.10. CÁLCULO DEL ESPESOR e_2 Y SELECCIÓN DEL ESPESOR e_3 PARA EL ACERO DE LA CUBIERTA

El espesor e_2 corresponde al de la manta cerámica aislante de alta temperatura y sus límites de frontera son T_2 y T_3 , el radio externo se calcula en base a la ecuación de la transferencia de calor y está dado por la Ec. 2.14:

$$r_3 = r_2 * e^{\frac{2\pi L_c k_2 (T_2 - T_3)}{\dot{Q}}} \quad (2.14)$$

Estableciendo que la temperatura exterior es de 60 °C, se considera independientemente del espesor para la lámina de acero que la temperatura T_3 es aproximadamente igual a T_4 esto se puede considerar así porque el acero es un buen conductor del calor, por lo que la variación que existe no es significativa, comparado con la variación de temperatura desde el interior del horno. De forma que el cálculo se hace considerando que $T_3 = T_4$

Otro dato importante a tomar en consideración para este cálculo es que, a diferencia del refractario cerámico usado, para el cual su valor de conductividad térmica k_1 no varía demasiado en el intervalo de temperatura de uso, para la manta cerámica aislante, sí lo hace, por lo que es necesario para el cálculo, determinar un valor de k_2 promedio, entre el rango de temperatura de 60 °C en la parte exterior del horno y los 500 °C en la cara exterior de la capa interior del horno que es de ladrillo refractario, y con uso de los datos que se presentan en la Tabla 2.2, un valor promedio de k_2 para la manta cerámica aislante sería $k_2 = 0.055$.

Con la Ec. 2.14 se obtiene el radio externo de la manta cerámica aislante.

$$r_3 = 0.05598 * e^{\frac{2\pi(0.13)(0.055)(500 - 60)}{40.47}}$$

$$r_3 = 0.0912 \text{ m}$$

Ahora se determina el espesor con la Ec. 2.15

$$e_2 = r_3 - r_2 \quad (2.15)$$

$$e_2 = 0.0912 - 0.05598$$

$$e_2 \approx 0.035 \text{ m}$$

Analizando el valor para e_2 de los cálculos y con respecto a los espesores disponibles en los catálogos, se determina que el espesor más adecuado para la manta cerámica aislante de alta temperatura es $3/4$ plg.

$$e_2 = \frac{3}{4} plg = 38 \text{ mm}$$

Conformado por dos capas juntas, pues la mejor opción debido a los espesores comerciales es seleccionar la manta aislante de 19 mm de grosor.

Para la selección del espesor de la lámina de acero y el tipo, ya que se conoce que la temperatura exterior es de 60 °C, se necesita que el tipo de acero seleccionado sea de fácil soldabilidad, que brinde una buena resistencia estructural para la cubierta y que tenga buena resistencia a la corrosión, lo que se considera utilizar una lámina negra comercial de 2.38 mm (3/32 Pulg.) Anexo A.23, y se pintara para proteger de la corrosión.

$$e_3 = 2.38 \text{ mm}$$

Para el acero de la lámina la conductividad térmica, obtenida de tablas se puede considerar de $k_3 = 15.1 \frac{W}{m^{\circ}C}$ [16].

El resultado final del diámetro del horno al calcular los espesores es mayor al establecido al principio, aunque se estima adecuado suponer que no afectará en gran medida a los cálculos de pérdida de calor por convección y radiación que ya se había obtenido con los cálculos iniciales, pues ya se había mencionado que es un proceso iterativo y el diámetro final obtenido no sería igual al establecido en un principio. En este caso el diámetro final del horno es mayor al que se había establecido y esto implica que más adelante en capítulos posteriores se analizaran los cambios necesarios que se deberán hacer a la máquina de ensayo, para que el horno pueda ser usado sin interferencia.

Para las paredes del horno, se presenta la Tabla 2.4, como resumen de los resultados obtenidos para los espesores de las capas del horno.

Tabla 2.4. Espesores finales de las capas del horno y diámetro final.

Datos técnicos	
Designación	Valor
e_1 Espesor de refractaria cerámico	36 mm
e_2 Espesor manta cerámica aislante de alta temperatura (en dos capas de 19 mm)	$\frac{3}{4}$ pulg = 38 mm
e_3 Espesor de la cubierta de acero del horno	2.38 mm
Diámetro interno	40 mm
Diámetro externo obtenido	193 mm

2.2.11. CALOR ACUMULADO TOTAL EN EL HORNO

El calor acumulado total es la suma del calor acumulado en cada material de la pared del horno y además el calor transmitido a la cámara y la carga correspondiente a la probeta a ensayar.

El calor acumulado en cada material se determina con la Ec. 2.16:

$$Q_{cm} = \sum_i \rho_i V_i C_{pi} \left(\frac{T_{cc} + T_{cf}}{2} - T_{\infty} \right) \quad (2.16)$$

donde: Q_{cm} es el calor total acumulado en los materiales de la pared del horno,

V_i es el volumen de cada material,

C_{pi} es el calor específico de cada material,

ρ_i es la densidad de cada material,

T_{cc} es la temperatura en la cara caliente,

T_{cf} es la temperatura en la cara fría, y

T_{∞} es la temperatura del ambiente e inicial del material.

Ahora el calor transmitido a la cámara de calentamiento y a la probeta se calcula mediante la Ec. 2.17:

$$Q_{cc} = \sum_i \rho_i V_i C_{pi} (T_i - T_{\infty}) \quad (2.17)$$

donde: Q_{cc} es el calor total acumulado en la cámara y la probeta en el horno,

V_{cp} es el volumen de cámara y de la probeta,

c_{pi} es el calor específico de gas argón en el interior y de la probeta

ρ_i es la densidad,

T_i es la temperatura en el interior del horno, y

T_{∞} es la temperatura del ambiente e inicial del material.

En la Tabla 2.5 se presenta un resumen con las temperaturas para cada cara de las paredes que conforman el horno.

Tabla 2.5. Resumen de temperaturas para cada cara de las paredes que conforman el horno.

Designación	Ubicación	T, °C
T_1	Superficie interior del horno de ladrillo refractario	800
T_2	Superficie entre el ladrillo refractario y la mata cerámica.	500
T_3	Superficie entre la manta cerámica y la lámina de la cubierta del horno	~60
T_s	Superficie exterior del horno	60

Evaluando la Ec. 2.16, usando valores obtenidos de las fichas técnicas para el refractario cerámico, la manta cerámica aislante de alta temperatura y la cubierta de acero respectivamente, además de los valores promedios entre cada cara.

$$\begin{aligned}
 Q_{cm} &= (480)(1.11649 \times 10^{-3})(1.05 \times 10^3)(650 - 27) \\
 &\quad + (160)(16.285 \times 10^{-3})(1.25 \times 10^3)(280 - 27) \\
 &\quad + (7.9 \times 10^3)(1.3228 \times 10^{-3})(500)(60 - 27) \\
 Q_{cm} &= (350.569 \times 10^3 + 824.021 \times 10^3 + 172.427 \times 10^3) \\
 Q_{cm} &= 1.347017 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Ahora se pasa a determinar el calor acumulado en la cámara de calentamiento del horno con atmósfera de gas argón y la probeta. Considerando que la probeta a ensayar es de acero. Se hace uso de la Ec. 2.17.

$$\begin{aligned}
 Q_{cc} &= (1.784)(1.131 \times 10^{-4})(521.6)(800 - 27) \\
 &\quad + (7.9 \times 10^3)(2.725 \times 10^{-6})(500)(800 - 27) \\
 Q_{cc} &= 8.402 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

El calor acumulado total se determina cuando se suma el calor acumulado en las paredes del horno y el calor en la cámara del horno Ec. 2.18, así:

$$Q_{cta} = Q_{cm} + Q_{cc} \quad (2.18)$$

$$Q_{cta} = 1.347017 \times 10^6 + 8.402 \times 10^3$$
$$Q_{cta} = 1.355419 \text{ MJ}$$

Si se estima que en 50 min se alcanza la cantidad de calor acumulado para la probeta, la cámara y las paredes del horno se realiza el cálculo para determinar la tasa de transferencia de calor necesaria con la Ec. 2.19

$$\dot{Q}_{cta} = \frac{Q_{cta}}{t} \quad (2.19)$$

Evaluando

$$\dot{Q}_{cta} = \frac{1.355419 \times 10^6 \text{ J}}{3,000 \text{ s}}$$
$$\dot{Q}_{cta} = 451.8 \text{ W}$$

2.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA

Dentro del cálculo de las resistencias para el horno, intervienen varios factores importantes que se presentan en la Fig. 1.9 del Capítulo 1, los cuales son los siguientes:

- ✓ Potencia del horno
- ✓ Tensión disponible en la red
- ✓ Temperatura de los elementos
- ✓ Carga específica
- ✓ Coeficiente de resistividad
- ✓ Elementos de resistencia y su duración
- ✓ Conexión eléctrica

En primer lugar, se tiene que la potencia necesaria que se necesita que proporcione la resistencia es igual a la tasa de transferencia de calor total, tanto por el calor acumulado total y el transmitido a través de las paredes del horno Ec. 2.20.

$$\begin{aligned}P &= \dot{Q}_{cr} + \dot{Q}_{cta} && (2.20) \\P &= 40.47 + 451.8 \\P &= 492.27 \text{ W}\end{aligned}$$

La tensión disponible en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica es de 110 V monofásica, por lo que todos los cálculos posteriores para el diseño de la resistencia se han realizado con esta tensión.

Para suministrar una temperatura de trabajo máxima de 800 °C en un tiempo t al interior del horno, se selecciona una resistencia tipo Kanthal de aleación Fe-Cr-Al (22-6) por su fácil obtención en el mercado internacional, cumple con suministrar la potencia necesaria de 0.4923 kW y además garantizar una vida útil prolongada.

La carga específica ($p = W/cm^2$) se obtiene haciendo uso de la gráfica que se presenta en la Fig. 2.6, donde se ve la carga en función de la temperatura para resistencias tipo Kanthal A1 22-6, además se presenta diferentes disposiciones para resistencias eléctricas para este tipo de hornos lo común es seleccionar el tipo A que es un alambre enrollado en forma espiral con diámetros que varían de 1 a 12 mm siendo posible la selección entre un gran número de diámetros normalizados.

Para el diseño se tiene una carga específica de 5 (W/cm^2) puesto que se busca una temperatura de trabajo máxima de 800 °C obtenido de la Fig. 2.6.

El coeficiente de resistividad (C_t) determina la variación de la resistencia (ohmios) del elemento en función de la temperatura. Se tiene un coeficiente de resistividad para 800 °C de 1.03 obtenido de la Tabla 1.7 (resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al).

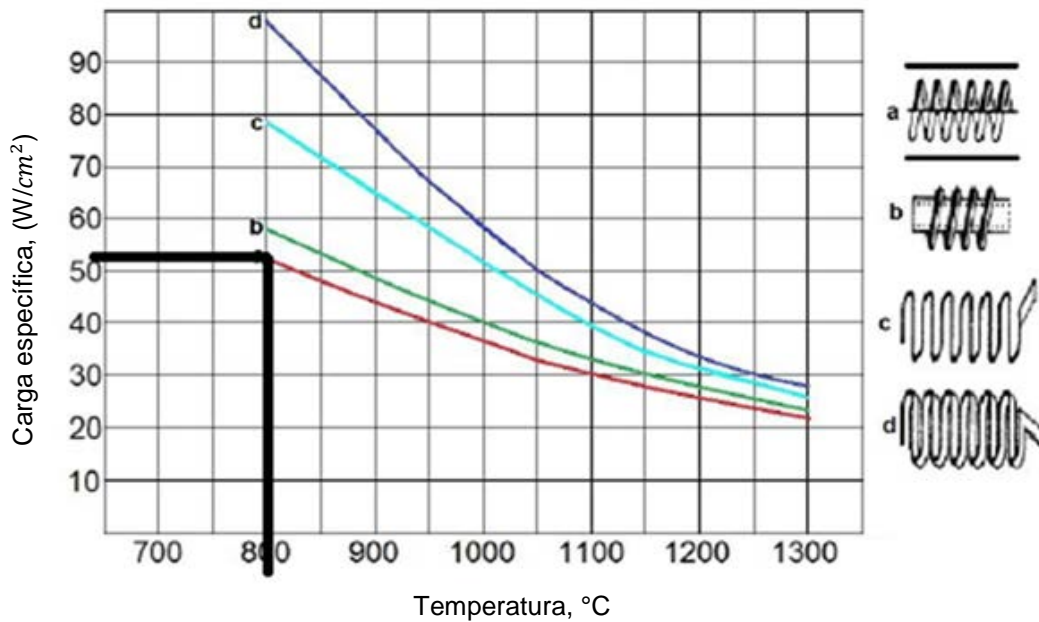


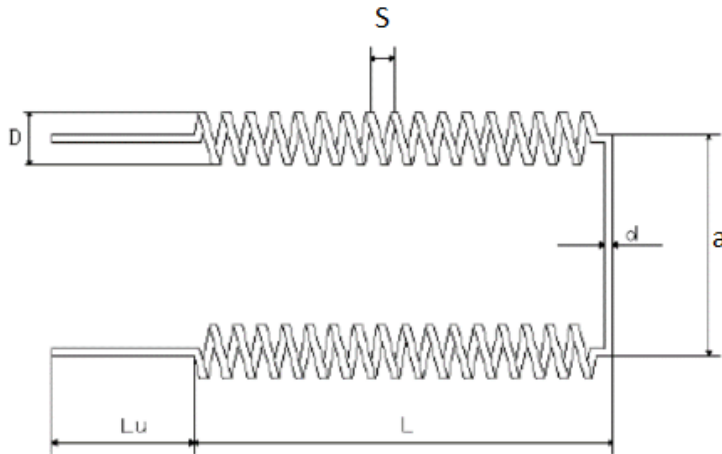
Fig. 2.6. Carga específica máxima de las resistencias kanthal A1 22-6 [10].

Para la conexión eléctrica como se mencionó antes se dispone de un sistema monofásico a 110 V conviene hacer un arreglo en serie, con esto se divide el voltaje de manera uniforme y se distribuye la carga de manera equitativa entre las resistencias para evitar algún sobrecalentamiento. Sin embargo, en este tipo de arreglo la resistencia total es igual a la suma de las resistencias individuales por lo que aumenta la resistencia total del circuito y provoca una reducción en la corriente que lo atraviesa es decir que el calentamiento podría ser más lento afectando el rendimiento del horno.

Conociendo estos factores de diseño en base a lo que se dispone y se necesita se procede hacer los respectivos cálculos en el próximo apartado.

2.3.1. ELEMENTOS DE RESISTENCIA

Como se hizo mención anteriormente se diseñará la resistencia con una disposición de tipo alambre enrollado en espiral, en la Fig. 2.7 se presenta la forma de los elementos que se van a calcular para garantizar que se obtendrá el calor necesario dentro de la cámara del horno.



S : Paso del arrollamiento en mm,
 D : Diámetro de la hélice en mm,
 d : Diámetro del hilo en mm,
 a : Distancia de eje-brazos en mm,
 L : Longitud del elemento en mm,
 y
 L_u : Longitud de los terminales en mm.

Fig. 2.7. Forma del elemento de resistencia [24].

Con lo expuesto anteriormente se calculan los parámetros que determinan los elementos de resistencia.

2.3.2. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL HILO (d)

Para el cálculo del diámetro del hilo de la resistencia se aplica la Ec. 2.21:

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 * \frac{\rho * c_t}{p}} \quad (2.21)$$

donde: d es el diámetro del hilo en cm,

P es la potencia de entrada de los elementos en W,

ρ es la resistividad en $\Omega mm^2/m$,

p es la carga específica en W/cm^2 ,

V es la caída de tensión en V, y

c_t es el coeficiente de resistividad,

Sustituyendo en la Ec. 2.21, los datos de la Tabla 2.6 para determinar el diámetro del hilo de la resistencia.

Tabla 2.6. Datos para el cálculo del diámetro del hilo.

Datos técnicos	
Potencia del horno	451.8 W
Tensión	110 V
Carga específica	5 W/cm ²
Coefficiente de resistividad	1.03
Resistividad	145 μΩ/cm = 1.45x10 ⁻⁴ Ω/cm

$$d = 0.74 \sqrt[3]{(451.8 \text{ W}/110 \text{ V})^2 * \frac{1.45 * 10^{-4} \Omega/\text{cm} * 1.03}{5 \text{ W}/\text{cm}^2}}$$

$$d = 0.74 \sqrt[3]{(4.11)^2 * 2.985 * 10^{-5}}$$

$$d = 0.74 \sqrt[3]{5.04 * 10^{-4}}$$

$$d = 0.74 * 0.0796$$

$$d = 0.0589 \text{ cm}$$

$$d = 0.59 \text{ mm}$$

2.3.3. MÉTODO RÁPIDO PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL HILO DE LA RESISTENCIA

Este método hace uso de la Tabla 2.7, se utiliza la relación A_c/R_{20} (cm²/R₂₀) que se presenta en la Ec. 1.10 del Capítulo 1 y se compara este valor dado en las tablas de los elementos Kanthal [10].

En la Tabla 2.6 se presenta los datos útiles para el cálculo de la relación A_c/R_{20} , sustituyendo en la Ec. 2.22 se tiene el resultado siguiente:

$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P^2 * C_t}{V^2 * p} = \frac{(451.8)^2 * 1.03}{(110 \text{ V})^2 * 5 \text{ W}/\text{cm}^2} = 3.47 \left(\text{cm}^2/\Omega \right) \quad (2.22)$$

Con este valor se obtiene de la Tabla 2.7 para resistencias Kanthal tipo A/AF/AE y se selecciona el valor más cercano a 3.47 cm²/Ω, se observa que corresponde a un valor de 3.83 cm²/Ω y un diámetro d = 0.60 mm (diámetro de hilo), cuya resistencia por unidad de longitud es 4.92. Ω/m Para una resistencia Kanthal tipo A [11].

Tabla 2.7. Relación para resistencias Kanthal A/AF/AE [11].

Aleación		Intervalo de diámetro, mm			Resistividad, $\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$						Densidad, g/cm^3	
Kanthal A		10.0 - 0.05			1.39						7:15	
Kanthal AF		10.0 - 0.1			1.39						7:15	
Kanthal AE		10.0 - 0.02			1.39						7:15	
$^{\circ}\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100	
C_t	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	
A				A	AF							
Diámetro, mm	Resistividad a 20 $^{\circ}\text{C}$, Ω/m	Resistencia a 20 $^{\circ}\text{C}$, cm^2/Ω	Peso, g/m	Diámetro, mm	Diámetro, mm	Resistividad a 20 $^{\circ}\text{C}$, Ω/m	Resistencia a 20 $^{\circ}\text{C}$, cm^2/Ω	Peso, g/m				
10	0.0177	17751	562		2.25	0.350	202	28.4				
	0.0260	9968	382		2.2	0.366	189	27.2				
	0.0277	9089	359		2.0	0.442	142	22.5				
	0.0315	7489	316		1.8	0.546	104	18.2				
	0.0328	7048	303		1.7	0.612	87.2	16.2				
	0.0361	6089	275		1.65	0.650	79.7	15.3				
	0.0414	4965	240		1.6	0.691	72.7	14.4				
	0.0419	4875	237		1.5	0.787	59.9	12.6				
	0.0492	3834	202		1.4	0.903	48.7	11.0				
	0.0521	3517	191		1.3	1.05	39.0	9.49				
	0.0582	2953	170		1.2	1.23	30.7	8.09				
	0.0655	2496	152		1.1	1.46	23.6	6.79				
	0.0708	2219	140		1.0	1.77	17.8	5.62				
	0.0784	1902	127		0.95	1.96	15.2	5.07				
	0.0829	1750	120	0.90	0.90	2.18	12.9	4.55				
	0.0874	1618	114	0.85	0.85	2.45	10.9	4.06				
	0.0980	1363	101	0.80	0.80	2.77	9.09	3.59				
	0.105	1232	94.9	0.75	0.75	3.15	7.49	3.16				
	0.111	1136	89.8	0.70	0.70	3.61	6.09	2.75				
	0.126	936	79.0	0.65	0.65	4.19	4.87	2.37				
	0.133	863	74.8	0.60	0.60	4.92	3.83	2.02				
	0.144	761	68.8	0.55	0.55	5.85	2.95	2.95				

2.3.4. CÁLCULO DE LA LONGITUD RADIANTE DEL HILO (L)

Se hace uso de la Ec. 2.23, para determinar la longitud radiante de la resistencia.

$$L = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot p} \quad (2.23)$$

$$L = \frac{451.8 \text{ W}}{\pi \cdot 0.06 \text{ cm} \cdot 5 \text{ W/cm}^2}$$

$$L = \frac{451.8 \text{ W}}{0.9424 \text{ W/cm}}$$

$$L = 479.31 \text{ cm}$$

$$L = 4.79 \text{ m}$$

2.3.5. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA HÉLICE (D)

Para calcular el diámetro de la espiral, se procede a utilizar la Tabla 2.8, la cual se puede determinar el diámetro para diferente rango de temperaturas del horno.

Tabla 2.8. Diámetro de la espiral (D) y paso del arrollamiento (s) [10].

Disposición	Aleación Ni-Cr		Aleación Fe-Cr-Al	
	En ranuras, mm	En tubos, mm	En ranuras, mm	En tubos, mm
D/d para elementos $\leq 1,000 \text{ }^\circ\text{C}$	6-9	12-14	6-8	12-14
D/d para elementos $> 1,000 \text{ }^\circ\text{C}$	5-8	12-14	5-6	12-14
Paso S/d	2-3	3-6	2-3	3-6

Como la temperatura de trabajo del horno es inferior a $1,000 \text{ }^\circ\text{C}$, para el cálculo del diámetro se escoge la relación:

$$D/d = 6 \text{ mm a } 8 \text{ mm}$$

Se escoge 8 mm y sabiendo que $d = 6 \text{ mm}$, se obtiene lo siguiente Ec. 2.24:

$$D = d * 8 \quad (2.24)$$

$$D = 0.6 * 8$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$$D = 4.8 \text{ mm.}$$

En la Fig. 2.8 se representa el diámetro de la hélice del resorte obtenida a partir de la relación mostrada anteriormente conocida la aleación, la temperatura máxima de operación y la disposición en el refractario.



Fig. 2.8. Diámetro de hélice del resorte.

2.3.6. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESPIRAS (n)

Con la Ec. 2.25, se puede calcular el número de espiras que tendrá la resistencia.

$$n = \frac{(1,000 * L)}{\pi(D - d)} \quad (2.25)$$

Sustituyendo los datos encontrados anteriormente se tiene lo siguiente:

$$n = \frac{(1,000 * 4.79 \text{ m})}{\pi(4.8 \text{ mm} - 0.6 \text{ mm})}$$

$$n = \frac{4790}{13.19}$$

$$n = 347 \text{ espiras}$$

2.3.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA ESPIRA COMPRIMIDA (L_w)

Mediante la Ec. 2.26, se puede encontrar la longitud de la espira comprimida, esta es:

$$L_w = n * d \quad (2.26)$$

$$L_w = 347 * 0.6 \text{ mm}$$

$$L_w = 208 \text{ mm}$$

$$L_w = 20.8 \text{ cm} \sim 21 \text{ cm}$$

En la Fig. 2.9 se presenta la longitud no estirada del resorte conocido el diámetro del alambre y el número de revoluciones que se calcularon.

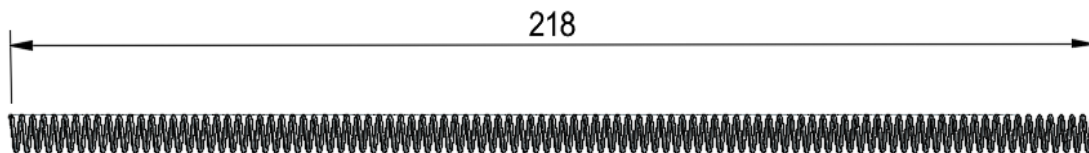


Fig. 2.9. Longitud comprimida del resorte.

2.3.8. CÁLCULO DEL PASO DEL ARROLLAMIENTO (S)

Para calcular el paso del arrollamiento entre las espiras vecinas, se utiliza la Tabla 2.8, mencionada anteriormente, y se escoge la siguiente relación:

$$S/d = 2 \text{ mm a } 3 \text{ mm}$$

Se escoge 3 mm y sabiendo que $d = 0.6 \text{ mm}$, se obtiene lo siguiente Ec. 2.27:

$$S = d * 3 \quad (2.27)$$

$$S = 0.6 \text{ mm} * 3$$

$$S = 1.8 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$$

En la Fig. 2.10 se presenta el paso de arrollamiento del resorte conociendo la aleación que en este caso es Fe-Cr-Al y la disposición al interior del horno tal como se hizo para determinar la hélice.

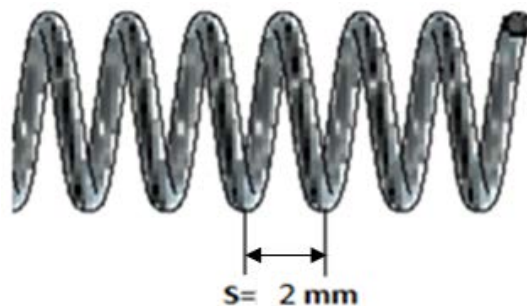


Fig. 2.10. Paso de arrollamiento s del resorte.

2.3.9. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA ESPIRA EXTENDIDA (L_e)

Con la Ec. 2.28, se determina la longitud de la espira extendida:

$$L_e = S * n \tag{2.28}$$

$$L_e = 2 \text{ mm} * 347$$

$$L_e = 694 \text{ mm}$$

$$L_e = 69.4 \text{ cm}$$

$$L_e = 0.69 \text{ m} \sim 0.7 \text{ m}$$

Por lo tanto, se selecciona un elemento en espiral de un solo vástago Kanthal A1 22-6 con las características que se presentan en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Datos de la resistencia eléctrica kanthal A1.

Datos técnicos de la resistencia eléctrica	Valor
Diámetro de hilo (d), mm	0.60
Resistencia por unidad de longitud, Ω/m	4.92
Peso, g/m	2.02
Longitud del hilo (L), m	4.79
Diámetro de la hélice (D), mm	5.00
Numero de espiras (n), espiras	347.00
Longitud de la espira comprimida (Lw), mm	208.00
Paso del arrollamiento (S), mm	2.00
Longitud de la espira extendida (Le), mm	694.00

2.4. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

En el Capítulo 1 se describió los controladores lógicos programables PLC, controladores I, PI, PD y PID y se hizo una descripción de los elementos que conformar un sistema de control de temperatura.

Un PLC es de uso general, aplicable a muchas diferentes aplicaciones de control de procesos a diferencia de los controladores de bucle PID, que son dispositivos de propósito especial destinados para realizar un solo tipo de función de control.

2.4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Se debe tener en consideración los datos de operación, diseño y la aplicación del controlador para su selección en la siguiente lista se nombran algunos datos.

- ✓ Rango mínimo y máximo de temperatura en el que trabajara el honor
- ✓ Se hará la selección del controlador PID el cual se encargará de realizar la acción de controlar la temperatura del horno al ser una acción específica la que realizará este controlador se adapta muy bien a nuestras necesidades.
- ✓ Es más económico utilizar un controlador PID que un controlador lógico programable PLC

- ✓ Es más fácil la implementación de un controlador PID que la implementación de un controlador lógico programable PLC.

En la Fig. 2.11 se presenta en una gráfica el resultado comparativo de los controladores P, PD, PI y PID.

Con lo que se sustenta porque se selecciona el control PID ya que este es el que garantiza que la señal en el tiempo será estable.

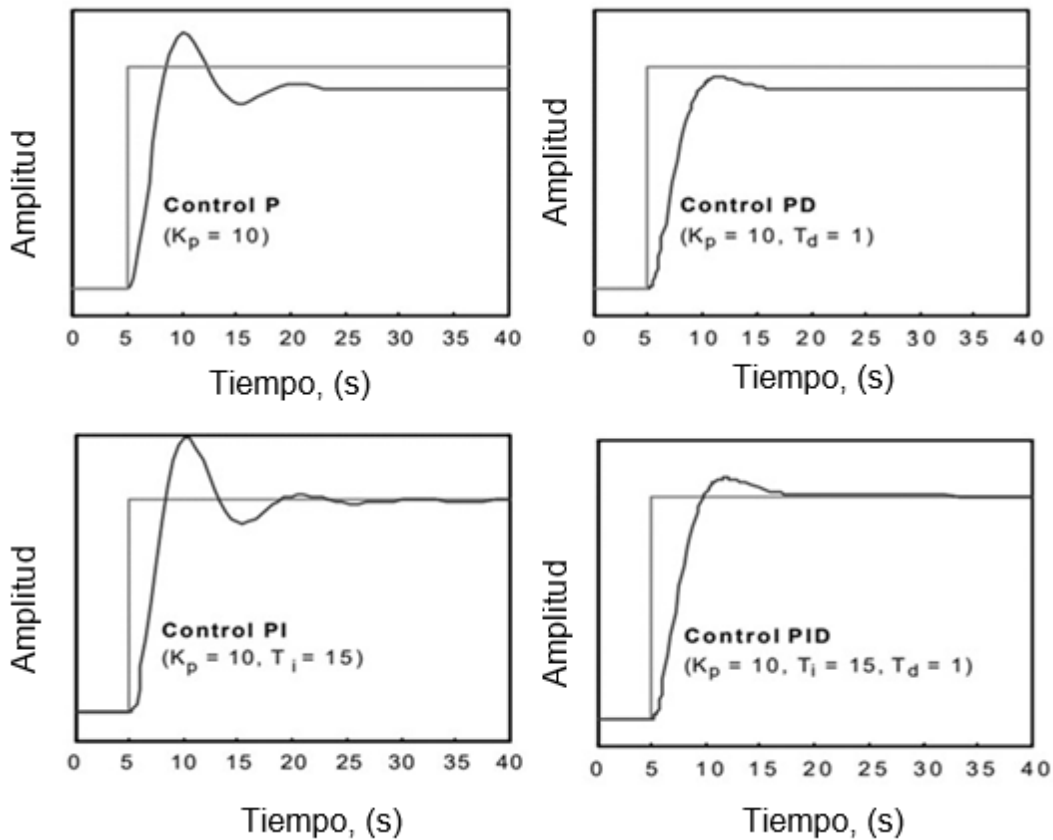


Fig. 2.11. Comparación del comportamiento de los controladores P, PD, PI y PID [21].

2.4.2. CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura en el interior del horno, se utilizará un Controlador de Temperatura digital AX2-1-A 48X96 mm o un Relé de la marca HANYOUNG NUX, tal como se presenta en la Fig. 2.12, cuyas especificaciones se detallan en el Anexo A.1 [25 y 26].

Los detalles de funcionamiento, conexión y configuración se encuentran en el Anexo A.1.



Fig. 2.12. Controlador de temperatura AX2-1-A 48 x 96 mm o un Relé HANYOUNG NUX [25 y 26].

✓ Descripción del AX2-1-A 48X96 mm.

El controlador de temperatura está diseñado para controlar el valor del proceso.

Se pueden utilizar en muchas aplicaciones con su entrada de proceso universal, salidas de control y funciones de alarma seleccionables, esto se representa en la Fig. 2.13.



Fig. 2.13. Especificaciones generales controlador de temperatura AX2-1-A 48X96 mm [25 y 26].

2.4.3. SELECCIÓN DE LA TERMOCUPLA

El dimensionamiento de la termocupla se lo hace mediante recomendaciones técnicas que vienen en hoja técnica del controlador de temperatura, donde recomienda utilizar cualquiera de los tipos de termocupla con las que el controlador es compatible, se utilizara un tipo “K” Fig. 2.14 que cumple con los rangos de lectura de temperatura requeridos, el valor de milivoltios generados por la termocupla está dentro de un intervalo de -6.458 a 54. 886 mV.



Fig. 2.14. Termocupla tipo K [27].

Existe un método teórico para la verificación de este criterio el cual es:

Con los rangos de temperatura de referencia 27 y 800 °C se acude a la Tabla 2.10 y 2.11 ver Anexo A.2 y se verifica si la temperatura que genera en la salida la termocupla está en el intervalo de mV.

Los valores obtenidos de la Tabla 2.10 son los siguientes (1.081 - 33.275 mV) al realizar la resta de las fem se tiene el siguiente resultado.

$$33.275 - 32.194 = 32.2 \text{ mV}$$

Los valores resultantes, efectivamente se encuentra en el intervalo, el tipo de termocupla calculada coincide con la que recomienda el fabricante del controlador AX2-1-A 48X96mm [27].

Tabla 2.10. Características de termocupla tipo K fem en mV (ITS-90) [28].

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
10	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.80
20	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20
460	18.4	18.98	19.2	19.02	19.1	19.15	19.0	19.24	19.28	19.32	19.37
470	19.6	19.40	19.5	19.50	19.4	19.58	19.2	19.66	19.71	19.75	19.79
480	19.9	19.83	19.7	19.92	19.6	20.01	20.9	20.09	20.13	20.18	20.22
490	20.1	20.26	20.0	20.34	20.9	20.43	20.5	20.52	20.56	20.60	20.64
500	20.6	20.68	20.7	20.78	20.8	20.86	20.4	20.94	20.99	21.03	21.07
510	21.0	21.11	21.1	21.20	21.2	21.28	20.9	21.37	21.41	21.45	21.50
520	21.4	21.54	21.5	21.62	21.6	21.71	21.3	21.80	21.84	21.88	21.92
530	21.9	21.10	22.0	22.05	22.0	22.14	21.7	22.22	22.27	22.31	22.35
540	22.3	22.39	22.4	22.48	22.5	22.56	22.1	22.65	22.69	22.73	22.78
550	22.7	22.81	22.8	22.90	22.9	22.99	22.6	23.08	23.12	23.16	23.20
560	23.2	23.24	23.2	23.33	23.3	23.42	23.0	23.05	23.54	23.59	23.63
570	23.6	23.67	23.7	23.76	23.8	23.84	23.4	23.93	23.97	24.01	24.06
580	24.0	24.09	24.1	24.18	24.2	24.27	23.8	24.35	24.40	24.44	24.48
590	24.4	24.52	24.5	24.60	24.6	24.69	24.3	24.78	24.82	24.86	24.91
600	24.9	24.94	24.9	25.03	25.0	25.12	24.7	25.20	25.25	25.29	25.33
610	25.3	25.37	25.4	25.46	25.5	25.54	25.1	25.63	25.67	25.71	25.76
620	25.7	25.8	25.8	25.88	25.9	25.97	25.5	26.05	26.09	26.14	26.18
630	26.1	26.22	26.2	26.31	26.3	26.39	26.0	26.48	26.52	26.56	26.60
640	26.6	26.64	26.6	26.73	26.7	26.81	26.4	26.90	26.94	26.98	27.03
650	27.2	27.06	27.0	27.15	27.9	27.24	26.6	27.32	27.36	27.41	27.45
660	27.4	27.48	27.5	27.57	27.6	27.66	27.2	27.74	27.78	27.83	27.87
670	27.8	27.91	27.9	27.99	28.0	28.08	27.7	28.16	28.21	28.25	28.29
680	28.2	28.33	28.3	28.42	28.4	28.50	28.1	28.58	28.62	28.66	28.71
690	28.7	28.75	28.7	28.84	24.8	28.92	28.5	29.00	29.04	29.08	29.12
700	29.1	29.17	29.2	29.26	29.3	29.34	28.9	29.42	29.46	29.51	29.54
710	29.5	29.59	29.6	29.67	29.7	29.76	29.3	29.84	29.88	29.92	29.96
720	29.9	30.01	30.0	30.09	30.3	30.17	29.8	30.26	30.30	30.34	30.38
730	30.3	30.42	30.4	30.51	30.4	30.59	30.2	30.67	30.72	30.76	30.80
740	30.8	30.84	30.8	30.92	30.9	31.01	30.6	31.50	31.13	31.17	31.21
750	31.1	31.26	31.3	31.34	31.3	31.42	31.0	31.08	31.54	31.58	31.62
760	31.3	31.66	31.1	31.75	31.7	31.83	31.4	31.92	31.96	32.00	32.04
770	32.4	32.08	32.2	32.16	32.1	32.24	31.8	32.33	32.37	32.41	32.45
780	32.5	32.50	32.4	32.58	32.2	32.66	32.8	32.74	32.78	32.82	32.86
790	32.7	32.91	32.4	32.98	33.2	33.07	32.0	33.15	33.19	33.23	33.28
800	33.2	33.32	33.3	33.40	33.4	33.48	33.5	33.56	33.60	33.64	33.68

2.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

La selección de los dispositivos de control se debe realizar en función de las acciones que el proceso necesita realizar. Los dispositivos de control que se seleccionaran son los contactores tendrán el control sobre las resistencias eléctricas del

horno pulsadores, pilotos verdes, rojo. El verde indica el cedido del horno el rojo pagado del horno.

2.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONTROL

El dimensionamiento de los elementos de control del horno se hará en base a la corriente que va a circular.

Esta corriente se obtiene con la potencia del horno y el voltaje de suministro con se presenta en la Ec. 29:

$$I = \frac{P}{V} \quad (2.29)$$

donde: P es la potencia del horno,

I es la corriente que circula por los elementos, y

V es el voltaje de suministro.

Sustituyendo en la Ec. 2.30, se obtiene:

$$I = \frac{492.27}{110V} = 4.4751 \approx 4.48A$$

De acuerdo a la corriente de línea *I* calculado anteriormente, se tomó como base para la selección del calibre del conductor a utilizar tanto para el circuito de control y de fuerza.

2.5.2. SELECCIÓN DEL CONTACTOR

Para la selección del contactor hay que tener en consideración las sobre corrientes por motivos de cortocircuitos, arranques de motores, etc., en el caso de la calefacción

mediante elementos resistivos utilizados en los hornos industriales o para la calefacción de locales (radiadores de infrarrojos o de resistencia, convectores, acumuladores de calor, etc.).

La variación de la resistencia entre el estado frío y el caliente genera un pico de corriente que nunca supera 2 a 3 I_n en el momento inicial de la conexión

Por lo tanto, se seleccionará un contactor cuya corriente de funcionamiento sea de 2 I_n , razón por la cual su costo es considerable y cumple con las características de funcionamiento del horno ver Ec 2.30 [29].

$$I_{\text{contactor}} = 2I_n \quad (2.30)$$

$$I_{\text{contactor}} = 2 \times 4.48 = 8.96 \text{ A}$$

Otras características que se deben tener en consideración en la selección del contactor son; categoría de empleo, clase de servicio, intensidad de empleo, tensión de alimentación y frecuencia, que se detallara en la siguiente Tabla 2.11

Tabla 2.11. Parámetros de selección.

Parámetro	Valor
Categoría de empleo	Educación
Clase de servicio	Monofásico
Intensidad de empleo	Amperios
Tensión de alimentación, V	110
Frecuencia, Hz	60

Tomando en consideración las especificaciones anteriores se escogió un contactor 3RT2035-1AK60 siemens fabricado bajo la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) IEC 60947-4-1/-4-2 Anexo A.3, tal como se presenta en la Tabla 2.12 y la Fig. 2.15.

Tabla 2.12. Características del contactor.

Datos técnicos	
Marca	Siemens
Modelo	3RT2035-1AK60
Cantidad	1
Voltaje de alimentación de la bobina, V AC	110
Intensidad de corriente, A	10
Frecuencia, Hz	50 - 60



Fig. 2.15. Contactor tres polos 110 V, 60 Hz [30].

2.5.3. SELECCIÓN DE RELÉ

La función principal que cumplirá el relé auxiliar es de mantener energizado el circuito de control, a partir de esto consideración se tomara en consideración los siguientes aspectos para su selección ver Anexo A.4:

- ✓ Voltaje
- ✓ Corriente de operación
- ✓ Frecuencia
- ✓ Datos de la bobina del contactor
- ✓ Numero de contactos normalmente abierto NO y normalmente cerrados NC.

En la Fig. 2.16 y la Tabla 2.13 se detallan las características del relé auxiliar.

Tabla 2.13. Características del relé de pines.

Datos técnicos	
Marca	Camsco
Cantidad	1
Voltaje de alimentación	110 V
Contactos NO	2
Contactos NC	2
Frecuencia	60 HZ



Fig. 2.16. Relé auxiliar de 8 pines 120 V AC [31].

2.5.4. SELECCIÓN DEL RELÉ TEMPORIZADOR

Los relés temporizadores RTW multi temporización poseen electrónica digital que proporciona elevada precisión, repetibilidad e inmunidad a ruidos. Los RTW multi temporización fueron proyectados de acuerdo con normas internacionales, fabricados con 22.5 mm de ancho y opción de fijación en riel DIN 35 mm o a través de tornillos (utilizando el accesorio PLMP), en las configuraciones con 1 o 2 salidas NAC y un amplio rango de alimentación de 110 V AC (50/60 Hz), tal como se presenta en la Fig. 2.17 y Anexo A.5.



Fig. 2.17. Relé temporizador de 24 V - 120 V AC [32].

2.5.5. SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

Con el cálculo de la corriente de línea se puede seleccionar el Interruptor termomagnético adecuado para la protección del sistema de fuerza, por lo tanto, la condición para calcular la corriente del interruptor revisar Ec 2.31 [29].

$$I_{termomagnetico} = I_n \cdot 1.5 \quad (2.31)$$

$$I_{termomagnetico} = 4.48 \cdot 1.5 = 6.7A$$

Por lo tanto, el Interruptor termomagnético seleccionado, indica que se debe seleccionar uno de 10 A de la marca siemens de 2 polos, tal como se presenta en la Fig. 2.18 y Anexo A.6.

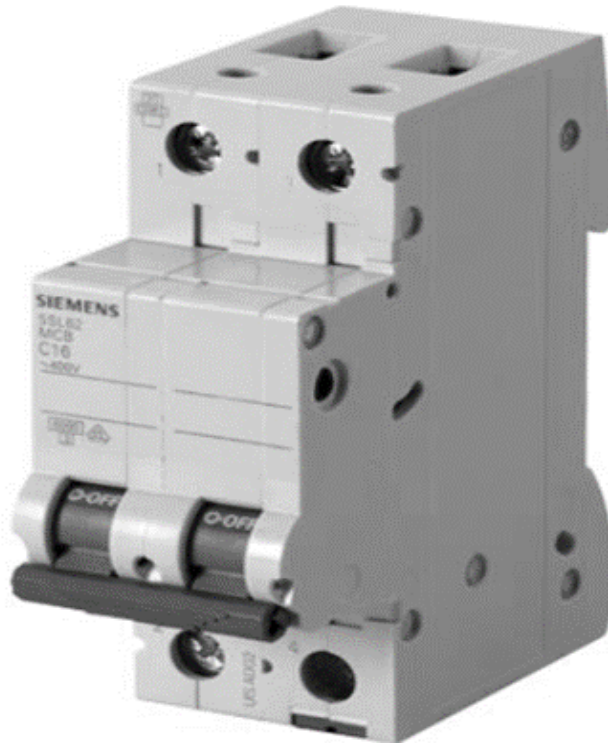


Fig. 2.18 Interruptor termomagnético 2 polos [33].

2.5.6. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Tomando en consideración el servicio que se tiene en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador se realizara la selección de los elementos eléctricos de mando y señalización, estos son:

- ✓ Pulsador de color rojo de contactos normalmente cerrado (1.2) para el apagado del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 110 V.
- ✓ Pulsador de color verde de contactos normalmente abiertos (3,4), para el encendido del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 110 V.

- ✓ Pulsador piloto de 110 V, 10 A, de color rojo, verde, ámbar. La luz verde indica el correcto encendido del horno, la luz ámbar indica fallo en el sistema, la luz roja indica paro del sistema (ver Anexo A.7).

2.5.7. SELECCIÓN DEL CABLE ELÉCTRICO

Esta selección está en función de la máxima cantidad de corriente que el conductor puede soportar.

La alimentación de los elementos que van conectados directamente al circuito de fuerza se hace por medio de cable N° 16 THHN AWG, la máxima corriente que este conductor resiste es de 18 A este sobrado ya que la corriente que circulara es de 4.5 A. Para el circuito de control se utiliza un alambre flexible N° 16 THHN AWG es el conductor de menor calibre según las tablas 310.16 del NEC 2008, la corriente que resiste este conductor es de 18 A ver en el Anexo A8. Se utilizará un Toma macho para extensión 18 A, 110 V se conectará directamente al suministro de energía.

2.5.8. INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control como su nombre lo indica es el que va cada uno de los elementos eléctricos del sistema.

Para este circuito se utilizan una línea fase y neutro de acuerdo al voltaje nominal de los elementos eléctricos a gobernar. Este circuito está encargado de realizar todas las funciones para las cuales fue diseñada la máquina, siempre y cuando se respete el orden cronológico de funcionamiento. Para mejor visualización de este circuito tal como se presenta en las Figs. 2.19 y 2.20 donde están claramente especificado todos los componentes.

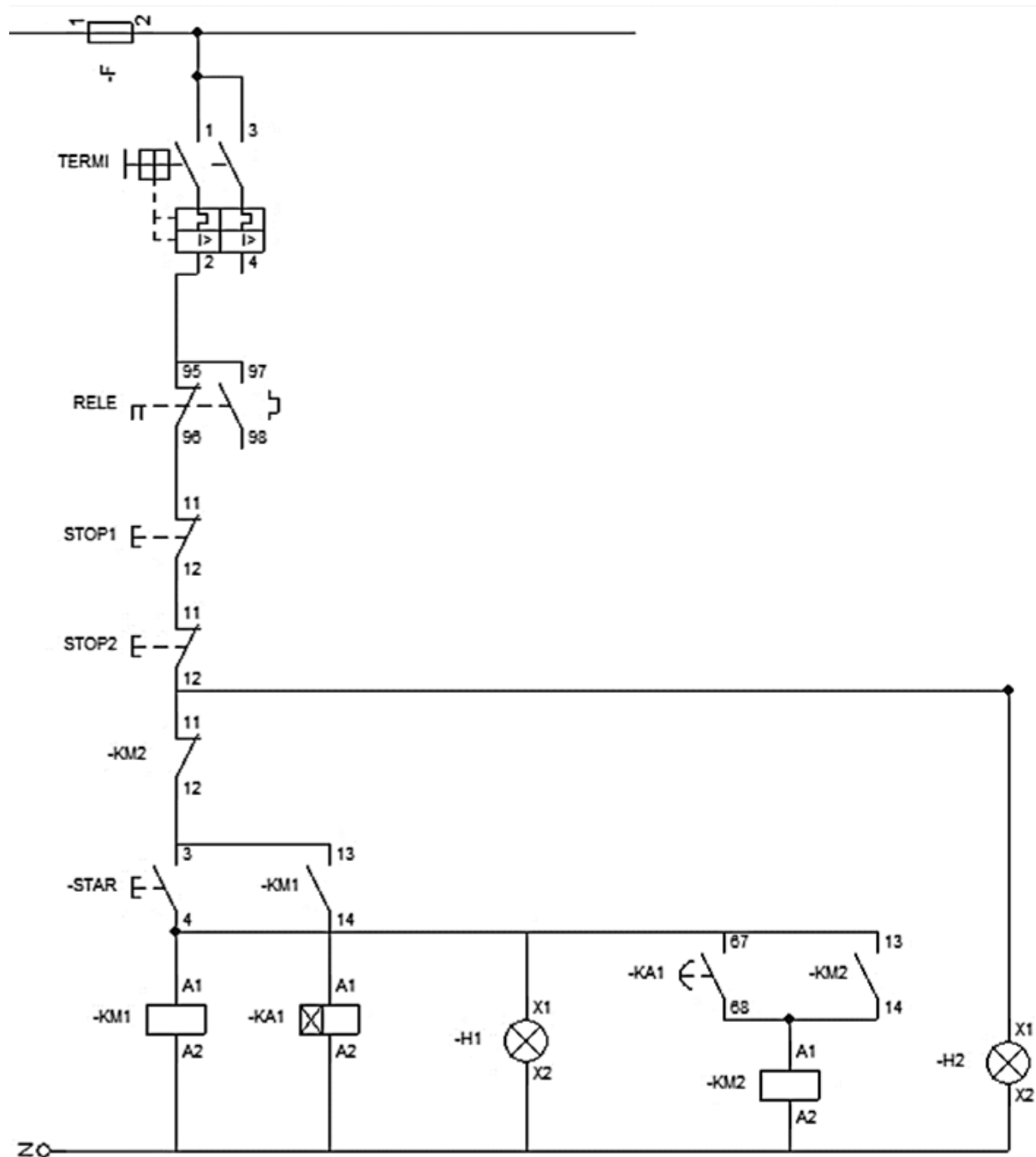


Fig. 2.19. Circuito de control eléctrico.

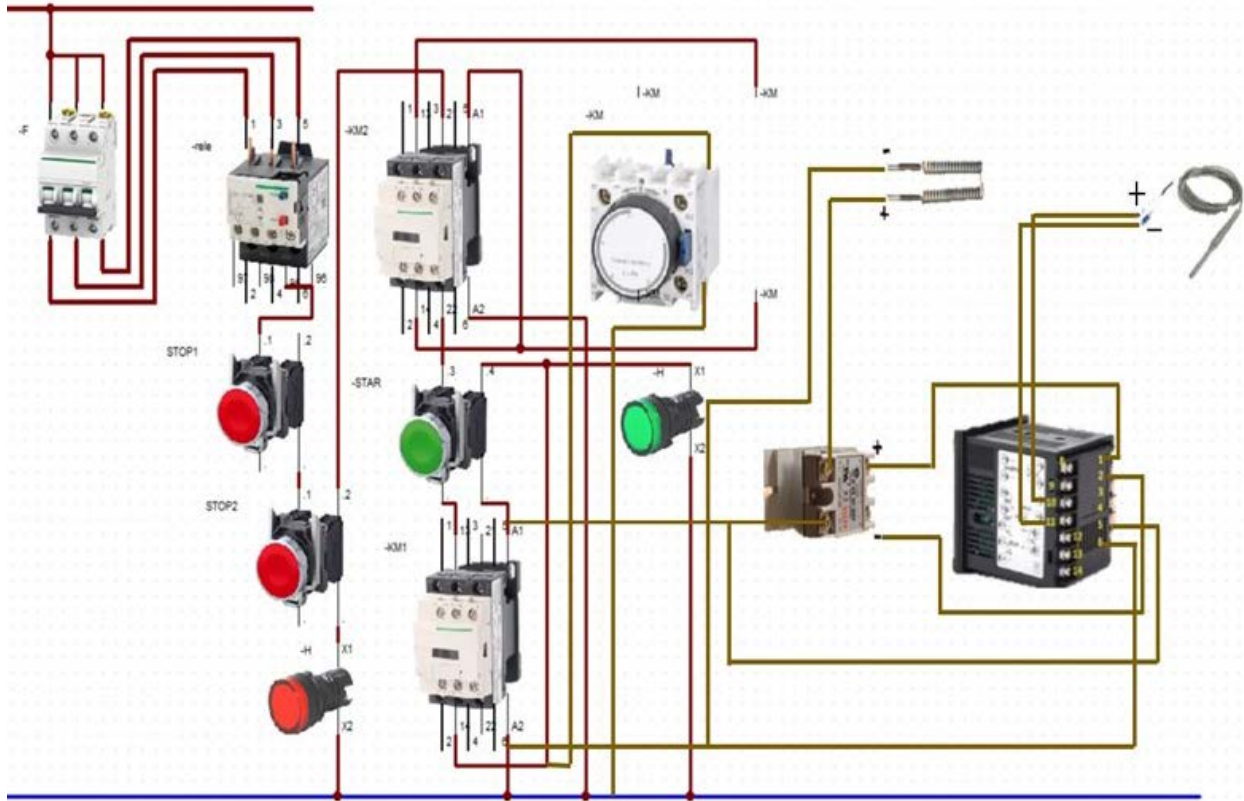


Fig. 2.20. Circuito de control eléctrico.

A continuación, realizar una breve descripción del funcionamiento básico del circuito de control.

El encendido del horno se realizará pulsando el pulsador Start, el cual activará el contactor KM1 automáticamente se activar el temporizador KA1 e inicia la consideración regresiva exterminar se activará el contactor KM2 este desactivar todo el sistema. Para la señalización se utilizó tres luces piloto verdes para encendido, roja para stop y ámbar para representar fallas que se puedan generar en el sistema.

Una vez que está en funcionamiento la resistencia empezará a subir la temperatura interior del horno, este tendrá que llegar hasta los 800 °C, cuando se ha llegado a esta temperatura se procederá a apagar la resistencia, este ciclo tiene que ser repetitivo, esto se logra mediante el controlador de temperatura, el cual tendrá que mantener una temperatura constante dentro del horno.

2.5.9. INSTALACIÓN DE CIRCUITO DE CARGA

El circuito de fuerza es el que alimenta de energía eléctrica a las resistencias también tendrá como objetivo proteger a los elementos contra cualquier anomalía.

Este circuito está alimentado por dos líneas F, N entre cada línea se tiene un voltaje de 110 v, estas líneas van conectadas directamente a los contactos principales del contactor que alimenta al conjunto de resistencias tal como se presenta en la Fig. 2.21.

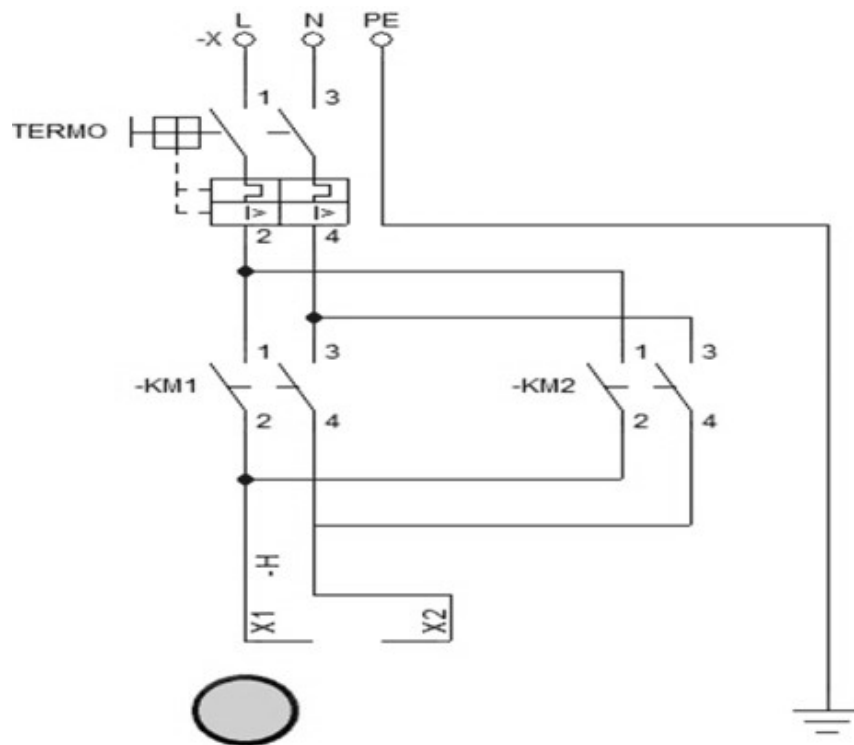


Fig. 2.21. Circuito de Fuerza.

2.6. DISEÑO DE SISTEMA DE ATMÓSFERA INERTE

Se usará 1 válvula en el sistema, la que permitirá el paso del gas (argón) hacia la cámara del horno para realizar la purga, para desplazar la mayor cantidad de aire que pueda haber en el interior del horno y que además servirá para mantener la atmósfera

inerte durante el ensayo de tracción a alta temperatura (ver Fig. 2.22) se presenta el esquema del sistema.

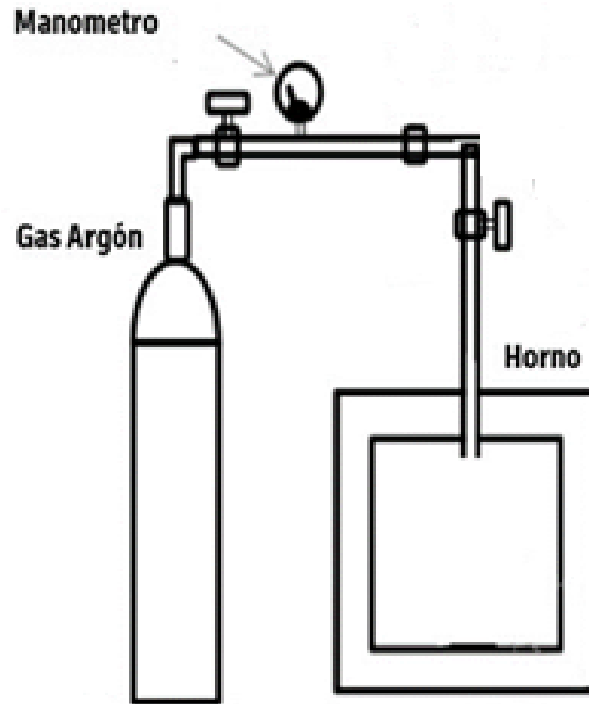


Fig. 2.22. Vista esquemática del sistema de atmósfera controlada [34].

Se realiza la selección de los elementos necesarios para la conformación del sistema de atmósfera inerte

2.6.1. CILINDRO DE GAS ARGÓN

El Argón es el más abundante de los gases raros en el aire (0.9 % en vol.). Es incoloro, sin sabor, no es tóxico, ni inflamable. Es un 30 % más pesado que el aire; además es extremadamente inerte, caracterizado por una perfecta estabilidad física y química, a cualquier temperatura y presión. Es un excelente conductor de la electricidad. A presión atmosférica y temperatura inferior de $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$ es un líquido incoloro, más pesado que el agua ver Fig. 2.23 y Tabla 2.14 (ver Anexo A9).



Fig. 2.23. Cilindro de gas argón [35].

Tabla 2.14. Generalidades del cilindro de gas.

Datos técnicos	
Símbolo	Ar
Color de identificación del cilindro	Café
Capacidad	50 pie ³ (pc)
Válvula	CGA580

2.6.2. VARILLA DE PLATA PLANA AL 5% Y CINTA TEFLÓN

Se utilizará varilla de plata plana para sellar el contorno del orificio donde se empotra el tubo galvanizado esto se realiza con el objetivo de asegurarnos que el tubo estará fijo se realizará un Cordón de soldadura entre el niple y la carcasa del horno con ayuda de equipo oxiacetilénico. Cinta teflón se utiliza como sellador entre los acoples de rosca del niple y el conector de la manguera del cilindro de argón para evitar fugas entre los hilos de las roscas ver Tabla 2.15 (ver Anexo 10).

Tabla 2.15. Materiales selladores [36 y 37].

	<p>El teflón es una especie de cinta adhesiva, que se coloca en las roscas y juntas de unión para evitar fugas de agua en tuberías y llaves de paso.</p>
	<p>Varilla de planta al 5% para soldar diversos metales entre ellos acero, cobre, inoxidable (ver Anexo A10)</p>

2.6.3. REGULADOR Y MANGUERA PARA CILINDRO DE GAS ARGÓN

El regulador de presión convierte el gas a alta presión en gas a baja presión, y mantiene la presión y el caudal de gas de salida estable. Puede reducir, mostrar y estabilizar la presión; cuando la presión de entrada y el flujo de salida cambian, puede garantizar la estabilidad de la presión de salida. Se cotizo el regulador en el país para un cilindro de gas argón de capacidad 50 pc la manguera ya está incluida en el sistema de regulación (ver Fig. 2.24) y la Tabla 2.16 (ver Anexo 11).



Fig. 2.24. Regulador de gas argón [38].

Tabla 2.16. Especificación es Técnicas.

Datos técnicos	
Gas	Argón
Presión máxima, psi	45
Caudal, l/min	0 - 70

2.6.4. HERMETICIDAD DEL HORNO

En el contorno de las tapas del horno tubular se fabricará una ranura de 8 mm de profundidad y 4 mm de ancho ver Fig. 2.25 donde se colocará un empaque fabricado de cinta de cuerda de asbesto como se presenta en la Fig. 2.26, que realizará la función de hermetizar el horno (ver Anexo 12).

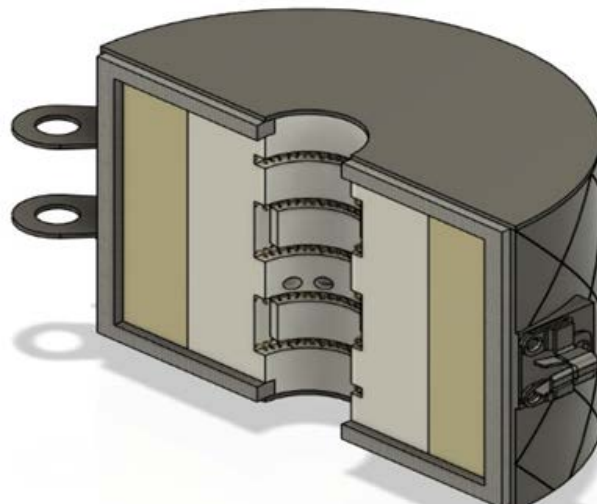


Fig. 2.25 ranuras en el contorno de una tapadera del horno



Fig. 2.26. Empaque de las tapas del horno tubular [39].

2.6.5. TUBO GALVANIZADO

Para no empotrar la válvula directamente a la cara del horno, se elige usar un tubo de 6.35 mm en (1/4 Pulg.) ver Fig. 2.27 teniendo en consideración que la válvula seleccionada es de 6.35 mm será necesario comprar un acople galvanizado con rosca 6.35 mm o se puede fabricar las rocas bajo la norma ¼ Pulg NPT para seleccionar una tarraja se consultará la Tabla 2.17, (ver Anexo 13).



Fig. 2.27. Tubo galvanizado [40].

Tabla 2.17. Fabricación de rosca para tubería [41 y 42].

Diámetro nominal - rosca/hilos por pulgada [NPT]			
Medidas de rosca	A	B	C
	Diámetro mayor, mm (pulg)	Paso, mm (pulg)	Rosca/filetes/hilos por pulg
1/16 pulg-27NPT	7.938 (0.313)	0.947 (0.037)	27
1/8 pulg-27 NPT	7.10287 (0.405)	0.947 (0.037)	27
1/4 pulg-18 NPT	13.716 (0.54)	1.41 (0.056)	18
3/8 pulg-18 NPT	17.145 (0.675)	1.41 (0.056)	18
1/2 pulg-14 NPT	21.336 (0.84)	1.814 (0.071)	14
3/4 pulg-14 NPT	26.67 (1.05)	1.814 (0.071)	14
1 pulg-11 1/2NPT	33.401 (1.315)	2.208 (0.087)	11 1/2
1.25pulg-111/2NPT	42.164 (1.66)	2.208 (0.087)	11 1/2
1.5 pulg-11 1/2NPT	48.26 (1.9)	2.208 (0.087)	11 1/2
2 pulg-11 1/2NPT	60.325 (2.375)	2.208 (0.087)	11 1/2

Esta información se comparó con la tabla Roscas "BRIGGS" americana para tubos de gas, agua y vapor que se encuentra en la página 282 del manual casillas [42].

Para encontrar la medida de la tarraja se debe considerar el diámetro externo del tubo, hilos por pulga y el paso. Se desea fabricar una rosca de un ¼ pulg al consultar la

Tabla 2.17 indica los valores de los parámetros antes mencionados con estos datos ya se puede realizar la selección de la tarraja 1/4x18 NPT.

2.7. DISEÑO DE COMPONENTES Y CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS

Las placas móviles serán rediseñadas para que se adapte al tamaño del horno, con un mayor espacio, con lo que se permita la fácil operación del horno para la prueba de tracción a altas temperaturas. En cuanto a las placas fijas solo se necesita cambiar las dimensiones de la placa fija superior, pues los agujeros por los que deslizaran las barras móviles para dar soporte y guía tendrán una separación mayor, aunque cabe resaltar que no se necesitan mayores cálculos pues no se verán involucradas mayores fuerzas de las que ya soportaría la placa fija superior con la que ya cuenta la máquina de ensayo. Las barras móviles también tendrán cambios pues es necesario aumentar su longitud, las fuerzas que soportan no cambiarán, solamente estarán a una mayor separación entre ellas. Algunos de los cálculos hechos en el trabajo de diseño original no cambiarán y servirán de apoyo para los nuevos resultados que se obtendrán [23].

Además, se debe tener en consideración las propuestas de diseño hechas para la misma máquina en otros trabajos, para poder adaptar la máquina de ensayos a la realización de las pruebas de tracción a alta temperatura con el horno [22].

En las placas móviles incrementa el esfuerzo por flexión, como se presenta por la disposición en la Fig. 2.28. La máxima separación en los extremos extendidos de la placa móvil entre las barras móviles se plantea que será de 33 cm, porque es la separación mínima necesaria para permitir la apertura del horno y que pase a ser colocado sin obstáculo en la máquina de ensayo una vez que ya se ha colocado la probeta y el ancho de las placas será de 16 cm como en el diseño original.

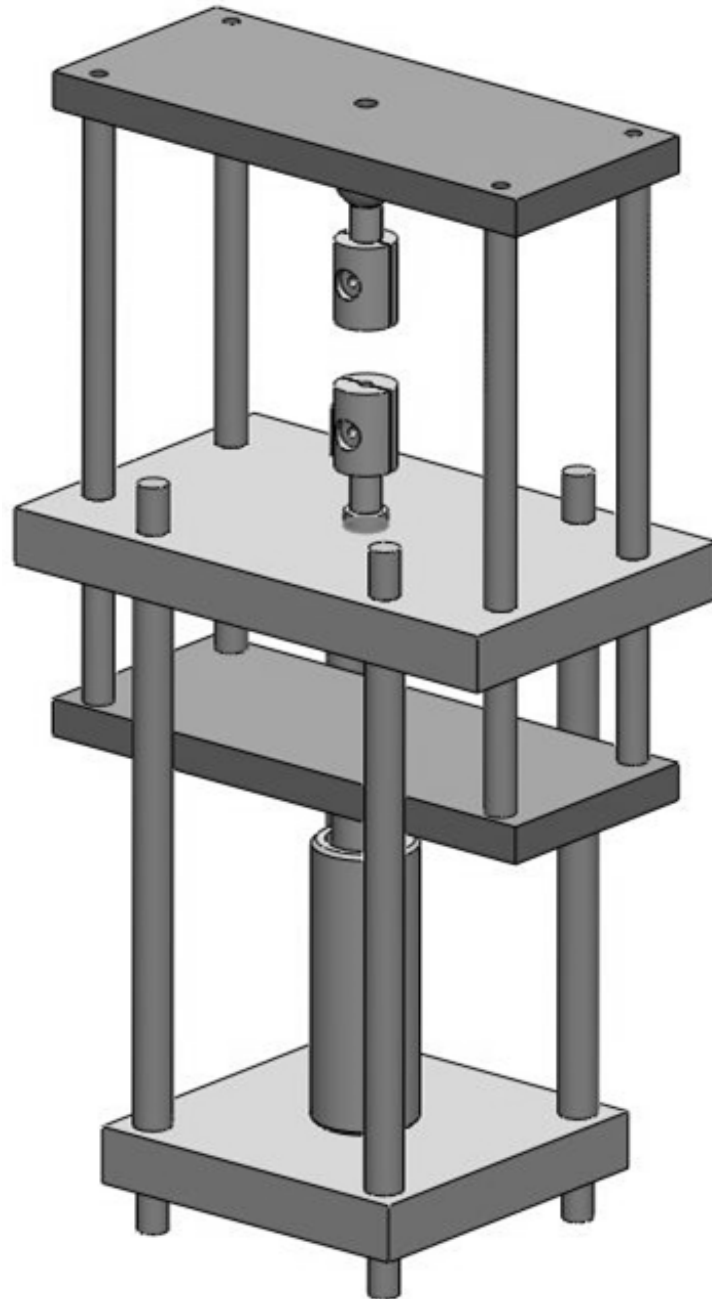


Fig. 2.28. Disposición de las placas móviles y placa fija.

2.7.1. REDISEÑO DE PLACA MÓVIL SUPERIOR

En la placa móvil superior es necesario tener en consideración el concentrador de esfuerzo que tiene en la parte central, también como ya se ha expuesto, el esfuerzo por

flexión es mayor por lo que a manera de representar las fuerzas y momento que actúa en la placa se presenta la Fig. 2.29.

El esfuerzo se calcula mediante la Ec. 2.32 que toma en consideración el factor por concentrador de esfuerzo para un agujero en una placa plana sometida a flexión, obtenido de la gráfica que se presenta en la Fig. 2.28, el diámetro para el agujero central en este caso es de 16 mm, este agujero roscado es para sujetar la celda de carga que se instalara en la máquina de ensayos [22].

$$\sigma_{flexion\ superior} = K_t \left(\frac{6M_{max}}{(w-d)h^2} \right) \quad (2.32)$$

donde: K_t es el factor de esfuerzo por flexión,

$M_{m\acute{a}x}$ es el momento máximo de flexión generado,

w es el ancho de la placa efectivo,

d es el diámetro del concentrador de esfuerzo, y

E_{placa} es el espesor de la placa 2.

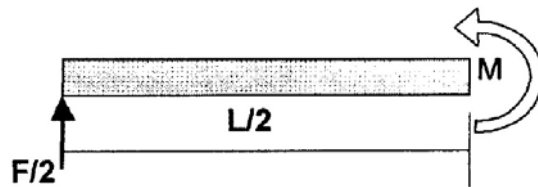


Fig. 2.29. Momento máximo generado en la placa móvil.

El momento máximo se calcula en el centro de la placa con la Ec. 2.33 de la siguiente forma:

$$M_{max} = \left(\frac{F_{max}}{2} \right) \left(\frac{L_{placa}}{2} \right) = \frac{F_{max}L_{placa}}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}L_{placa}}{4} \quad (2.33)$$

donde: $F_{m\acute{a}x}$ es la fuerza generada por la máquina de ensayos, y

L_{placa} es la longitud de brazo de palanca en la placa móvil (0.33 m).

Por lo que el momento máximo generado es:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(49,000)(0.33)}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 4042.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Considerando que no se quiere que se genere un esfuerzo muy alto en el centro de la placa y se alcance el largo necesario de 33 cm para la separación entre barras móviles, considerando que se usara un espesor de 3 cm para las placas móviles, de la Fig. 2.28 que se presenta, se obtienen las siguientes relaciones.

$$d/w = 16 / 160 = 0.1$$

$$d/h = 16 / 25 = 0.53$$

Con las relaciones obtenidas y utilizando la Fig. 2.30 se determina que el factor de concentración de esfuerzo por flexión es:

$$K_t = 2.2$$

Con lo que ahora se calcula el esfuerzo de flexión en la placa con la Ec. 2.32:

$$\sigma_{flexión superior} = 2.2 \left(\frac{6(4042.5)}{(0.16 - 16 \times 10^{-3})(30 \times 10^{-3})^2} \right)$$

$$\sigma_{flexión superior} = 411.74 \text{ MPa}$$

Con el resultado anterior se comprueba que la placa puede ser del mismo material que se había seleccionado en el diseño original, que es acero SAE 3115 normalizado que soporta un esfuerzo máximo de 539 MPa.

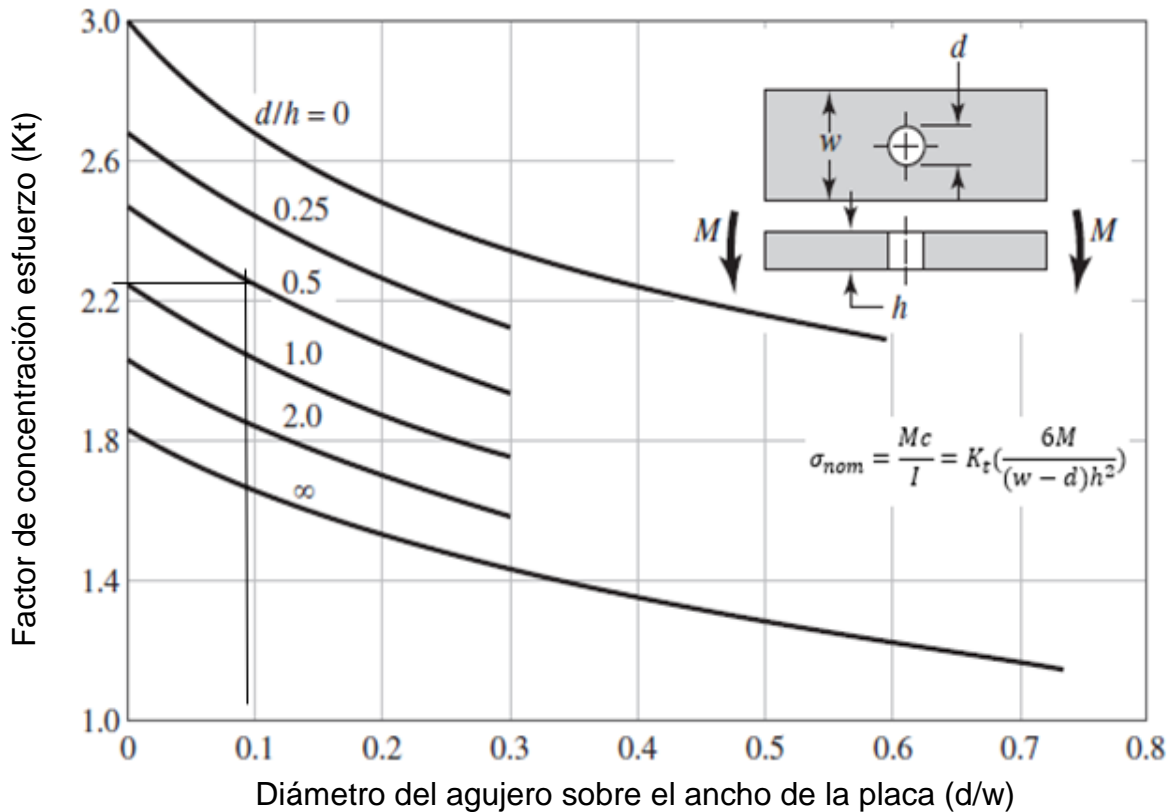


Fig. 2.30. Factor de concentración de esfuerzo para barra rectangular con un agujero transversal en flexión [43].

2.7.2. REDISEÑO DE PLACA MÓVIL INFERIOR

La placa móvil inferior con la que ya cuenta la máquina es igual en dimensiones a la placa móvil superior, solamente que originalmente se seleccionó un acero SAE 1020 (Normalizado), esto porque al no contar con el agujero que es un concentrador de esfuerzo como en la placa superior, el esfuerzo por flexión en la placa es menor. Así, se determinará si se puede seguir utilizando el mismo material debido a que se aumentó el esfuerzo por flexión en la placa.

El momento de flexión máximo es igual que en la placa superior.

$$M_{max} = 4042.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El esfuerzo en la placa se calcula en este caso con la Ec. 2.34:

$$\sigma_{flexion\ inferior} = \frac{6M_{max}}{wh^2} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{flexion\ inferior} = \frac{6(4042.5)}{(0.16)(25 \times 10^{-3})^2}$$

$$\sigma_{flexion\ inferior} = 168.44 \text{ MPa}$$

Con el resultado anterior se comprueba que para la nueva placa se puede usar siempre acero SAE 1020 normalizado, que soporta un esfuerzo máximo de 225.90 MPa.

2.7.3. DISEÑO DE LAS BARRAS MÓVILES

Las barras móviles deberán ser de mayor longitud comparadas con las barras con las que la máquina fue diseñada originalmente, esto para permitir que se pueda hacer uso del horno sin tener problemas con el espacio, ya que, por el diseño y características del horno, la altura del mismo exige la necesidad de aumentar la separación entre placas fija y móvil superior; es decir, las de la sección de máquina en la que se realiza la prueba de tracción. Además de que la celda de carga que se instalara y también el necesario uso de nuevas mordazas de mayor longitud para usarlas con el horno. Son factores que hacen necesario este cambio.

En la Fig. 2.31 se presenta las dimensiones de la barra móvil, el diámetro será el mismo e igualmente el diámetro de las roscas internas y longitud de estas serán iguales a las ya usadas.

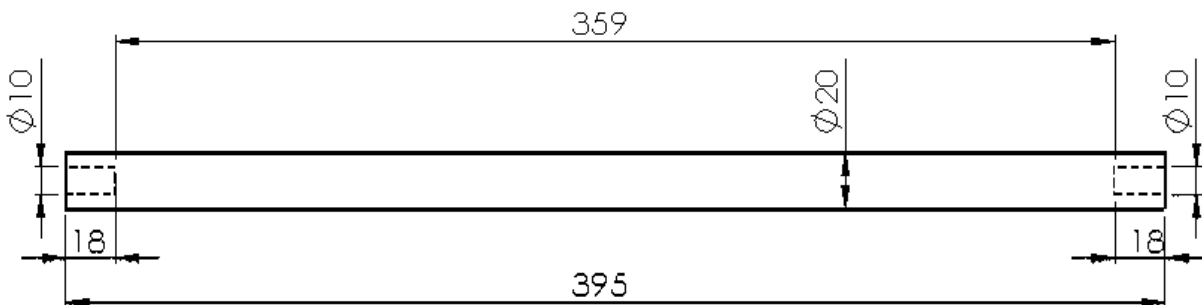


Fig. 2.31. Representación de las dimensiones de las barras móviles de la máquina de ensayos en milímetros.

Algunas consideraciones que se pueden mencionar para estas barras que trabajan a compresión, y que debido a la naturaleza de la prueba (Lenta y discontinua), las barras no se analizaran por fatiga.

El material usado para las barras móviles es acero SAE 1020 con un esfuerzo de fluencia de 225 MPa, tal como en las barras que se reemplazaran, este acero es suficiente para soportar los esfuerzos que ocurren durante el ensayo.

A continuación, solo se realiza el análisis a las barras por pandeo, ya que se aumenta la longitud de las barras, un análisis por compresión estática no es necesario en este caso porque se ha demostrado en el trabajo original que con el diámetro usado no se tiene dificultades.

En la Fig. 2.32 se presenta las diferentes formas de pandeo que pueden ocurrir en una columna en compresión dependiendo de la sujeción en los extremos de ellas.

Para el caso de la máquina de ensayos las barras móviles están sujetadas como se presenta en el caso d (ver Fig. 2.31).

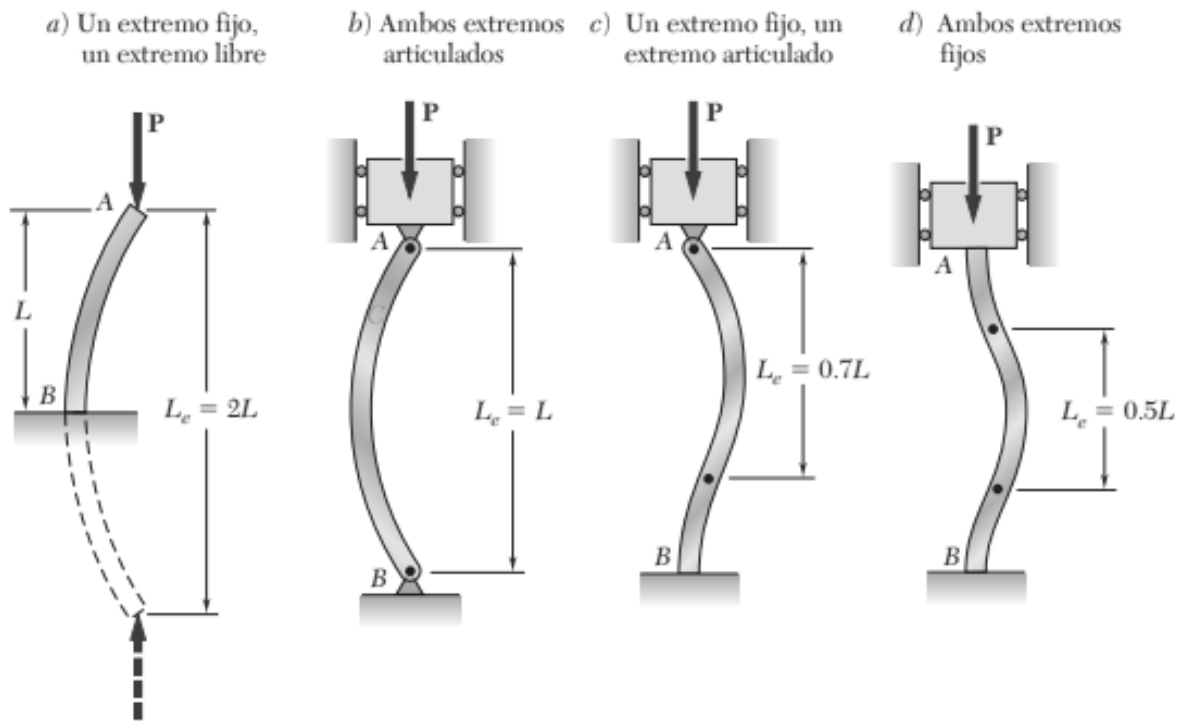


Fig. 2.32. Longitudes efectivas de columnas para varias condiciones de extremo [43].

Así, la fuerza crítica que haría fallar al material está dada por la Ec. 2.35:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EM_I}{L_e^2} \quad (2.35)$$

donde: E es el módulo de elasticidad para el acero en este caso,

M_I es el momento de inercia de la sección transversal de la barra, y

L_e es la longitud efectiva de la barra para las condiciones de extremo en la Ec. 2.35.

Se sabe que para una barra circular hueca el momento de inercia se obtiene con la Ec. 2.36 que se presenta a continuación.

$$M_I = \frac{1}{64} \pi (D_{de\ la\ barra}^4 - d_{rosca\ interna}^4) \quad (2.36)$$

donde: $D_{de\ la\ barra}$ es el diámetro de la barra móvil, y

$d_{rosca\ interna}$ es el diámetro de la rosca interna de la barra.

Así, tal como se presenta en la Fig. 2.32 y por la naturaleza de la sujeción de los extremos, la longitud crítica en la que ocurre el mayor esfuerzo que puede provocar el pandeo está en la parte media de la barra donde la barra móvil es sólida. Aunque para obtener resultados conservadores se considera por la ecuación para el momento de inercia utilizados como si se estuviera utilizando una barra hueca con diámetro interno igual al de la rosca, esto para verificar con mayor certeza que no podría fallar en los extremos. Ahora se evalúa la Ec 2.36.

$$M_I = \frac{1}{64} \pi ((20 \times 10^{-3})^4 - (10 \times 10^{-3})^4)$$
$$M_I = 7.36311 \times 10^{-9} \text{ mm}^4$$

El resultado obtenido es para evaluar junto con los datos necesarios la Ec. 2.35.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(200 \times 10^9)(7.36311 \times 10^{-9})}{(0.5(0.395))^2}$$

$$P_{cr} = 372611.88 \text{ N}$$

El resultado anterior es equivalente a decir que se necesitaran aproximadamente 38 toneladas en cada barra para que fallara por pandeo, cosa que es improbable ya que la máquina de ensayo solo carga como máximo con 1.25 toneladas cada barra móvil de la máquina de ensayos.

2.7.4. TIPO DE ROSCA DE TORNILLOS DE PLACAS MÓVILES

Los tornillos usados en la unión, de las barras deslizantes con las placas móviles superior e inferior son utilizados simplemente para mantener ensamblada la estructura móvil de la máquina, ya que la fuerza que actúa sobre las barras durante el ensayo, es de compresión. El tornillo solamente soporta la precarga aplicada.

Tanto la rosca interna de las barras deslizantes de la máquina como la rosca externa del tornillo deberán tener las siguientes características M10x1.25 (derecha).

La rosca interna deberá de las barras deslizantes debe tener una profundidad de 18 mm (ver Fig. 2.31), y deberán ser dos tornillos por cada barra, ocho en total y con una longitud roscada estándar calculado L_t de 26 mm, y longitud no roscada L_d de 19 mm. En total el tornillo tiene una longitud de 45 mm. El acero usado para los tornillos es acero SAE 1020 como en las barras móviles.

2.7.5. PLACA FIJA SUPERIOR

La placa fija superior se modificará en sus dimensiones, siendo la nueva placa de mayor longitud que la placa original, el cambio se debe precisamente a la mayor separación que habrá entre las barras móviles en los costados de la máquina de ensayos. La placa fija superior, aparte de ser clave para la sección de la máquina dedicada a la realización de las pruebas de compresión, tienes también la función de dar soporte y guía

a las barras móviles, esto con los agujeros por los que atraviesan las barras móviles y en las que deslizan las mismas durante las pruebas.

Cabe destacar que no se realizan cálculos porque no hay mayor carga o esfuerzo que las que ya soporta la placa con la que la máquina ya cuenta, no se necesita nuevas barras móviles, tuercas o nuevas especificaciones, para el montaje de la nueva placa.

En la Fig. 2.28 se observa cómo queda montada la placa fija, esta tiene 23.5 cm de ancho, 38 cm es el largo total de la placa y el espesor es de 38 mm. Las dimensiones a detalle se presentan en los planos de la máquina.

2.7.6. MORDAZAS PARA PRUEBA DE TRACCIÓN

Son dos mordazas nuevas las que se utilizan en la máquina de ensayos, estas se utilizan para la sujeción de la probeta con el porta mordazas, está conformada por tres elementos que son dos semicilindros maquinados en su interior y un elemento roscado que sirve para la unión de las dos piezas tal como se presenta en la Fig. 2.33, que forman un cilindro de 40 mm de diámetro cuando se colocan juntas y una altura de 55 mm de altura, el elemento roscado (perno y tuerca), deberán quedar colocados de forma que no sobresalgan del cilindro, pues las mordazas quedan al interior del horno durante la prueba de ensayo de tracción a alta temperatura y solo la superficie cilíndrica de las mordazas debe rozar con la pared cilíndrica interior del horno, sin que interfieran los elementos de sujeción de las mordazas.

Por otra parte, se debe conocer que el área crítica de las mordazas en la que recae toda la carga aplicada por la máquina es el asiento de la porta mordaza y en el asiento de la probeta, siendo este último la que mayor esfuerzo soporta al compararlos, pues llega a sobrepasar los 500 MPa, estos según los cálculos realizados en el diseño de las mordazas con las que ya se cuenta. Por lo que el material que se utilizará para las nuevas mordazas será del mismo. Acero SAE 3115 recocido con un esfuerzo de fluencia de 539 MPa.

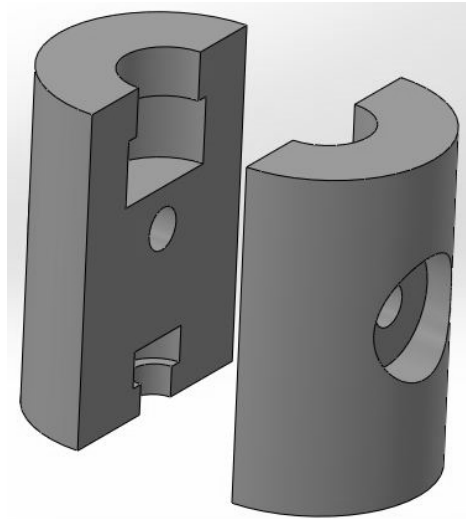


Fig. 2.33. Mordaza para sujeción de la probeta con la porta mordaza.

Como se especificó antes, el perno y tuerca que se usan para la unión de las dos partes de la mordaza, no deben de sobresalir del contorno de la superficie cilíndrica de las mismas, ya que para ello tiene un avellanado que permite que un perno de cabeza hexagonal con su tuerca sea fácilmente colocado, para unir las dos partes. El esfuerzo generado en esta parte de las mordazas no es mayor que el esfuerzo máximo, que es generado en el asiento de la probeta, pues aun cuando el agujero sea un concentrador de esfuerzo el área en la que se distribuye el esfuerzo es mucho mayor.

Se debe utilizar un perno de $\frac{1}{4}$ de diámetro nominal por 1 $\frac{1}{4}$ pulg de largo, con su respectiva tuerca.

2.8. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA QUE SOPORTARA EL HORNO

En este apartado se analiza la estructura para prevenir fallas en las uniones por soldadura entre el brazo que sujeta al horno y la columna de sección transversal hueca, así como también entre la base metálica y el tubo de perfil cuadrado. Se pretende fabricar un pasador entre las bisagras y el brazo de acero estructural. En la Fig. 2.34 se presenta la configuración de la estructura con el horno.

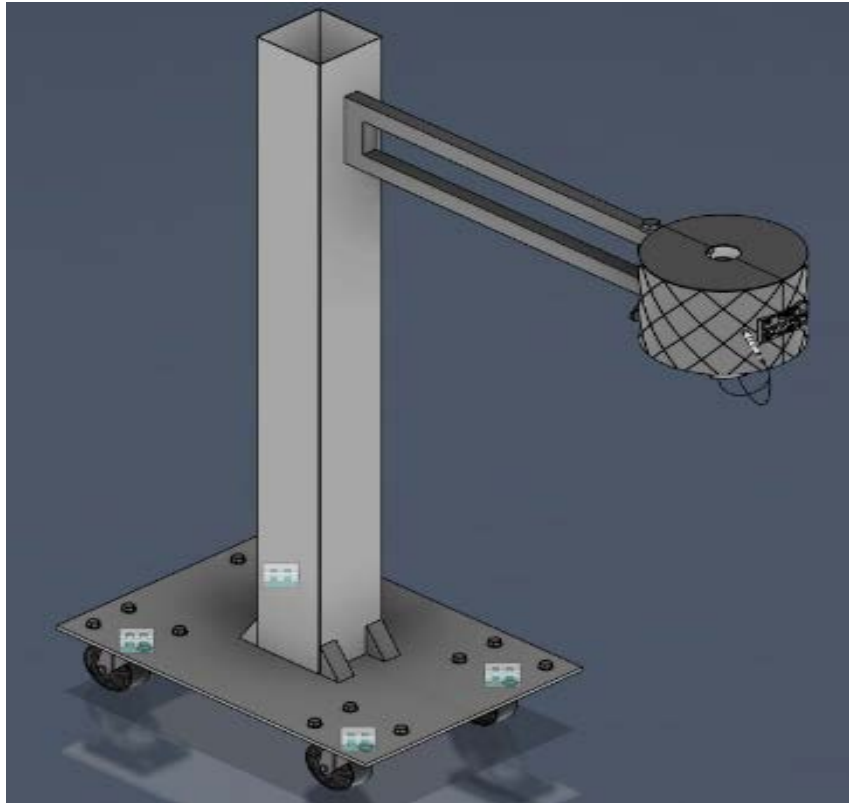


Fig. 2.34. Disposición del horno para calentamiento de probetas en ensayos de tracción.

2.8.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Se procede entonces como primer paso, calcular los pesos individuales de las capas que conforman el horno y así conocer el peso total para realizar el análisis respectivo de las cargas.

Para el cálculo del peso del refractario, se debe calcular el volumen total que va a ocupar este material según el espacio disponible que se tiene a disposición, lo mismo para la manta y la carcasa metálica, así como también se debe conocer la densidad individual de estos materiales.

En la Tabla 2.18 se presenta los radios y espesores de cada una de las capas que componen al horno y en la Tabla 2.19, resume algunas de las propiedades de las capas que componen el horno.

Tabla 2.18. Radios y espesores de las capas que componen al horno.

	R, m	r, m	e, m
Refractario	0.056	0.02	0.036
Manta	0.094	0.056	0.038
Carcasa	0.09628	0.094	0.00228

Conociendo el peso que soportara la estructura, especificado en la Tabla 2.19, se procede a realizar el respectivo análisis de soldadura y esfuerzo a cortante al pin que conecta las bisagras de la carcasa con el brazo de la estructura, si se traslada la carga del horno multiplicado por su diámetro se genera un momento en el centro de la barra el cual generara esfuerzos cortantes de igual magnitud, aunque sentido opuesto en los extremos donde hace contacto con el brazo de la estructura.

Tabla 2.19. Propiedades de las capas que componen al horno.

Material	Volumen, m ³	Densidad, kg/m ³	Masa, kg	Peso, N
Refractario	0.00112	480	0.54	5.26
Manta	0.00233	64	0.15	1.46
Carcasa	0.00018	8,000	1.42	13.91
Peso total =				20.63

En la Fig. 2.35 se presenta como la carga afecta al pin que soportan la barra donde van las bisagras del horno con este análisis se pretende calcular su diámetro efectivo d .

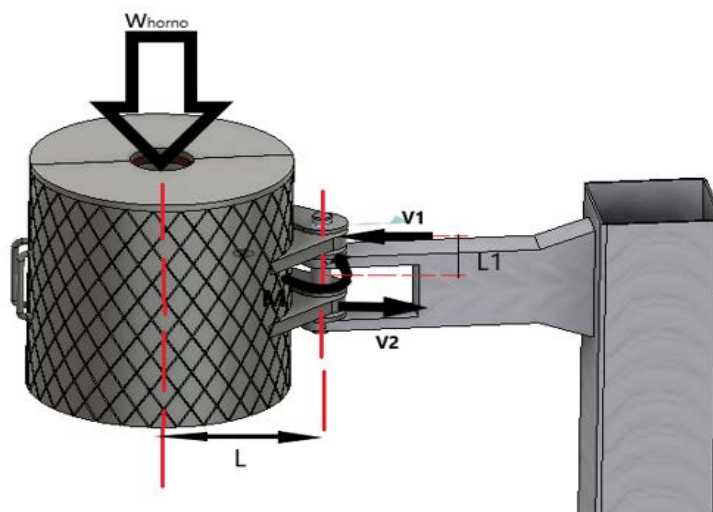


Fig. 2.35. Peso concentrado del horno actuando sobre el pin central que pasa sobre las bisagras de la carcasa metálica.

Puesto que el pin está sometido a cortante simple se ocupa la Ec 2.37 correspondiente para el análisis de los puntos donde actúan el cortante V_1 y V_2 respectivamente ya que es simétrico el punto donde actúa este momento flector basta con analizar solo un esfuerzo, para esto antes se traslada la carga concentrada del peso del horno como un momento $M_{flector}$ con la Ec 2.38, donde L va desde la mitad del diámetro del horno, hasta los pines, este momento se considera va al centro del pin y luego este momento multiplicado por la mitad de la longitud del pin L_1 , serán los cortantes V_1 y V_2 , porque son iguales, entonces se tiene lo siguiente:

$$V_1 = V_2 = V$$

$$V \cdot L_1 = M_{flector} \quad (2.37)$$

$$M_{flector} = W_{horno} * L \quad (2.38)$$

$$M_{flector} = (20.63 \text{ N})(0.1 \text{ m})$$

$$M_{flector} = 2.063 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se determina el cortante V haciendo uso de la Ec. 2.37:

$$V = \frac{2.036 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.02 \text{ m}}$$

$$V = 101.8 \text{ N}$$

Conociendo ahora el cortante se procede a calcular el diámetro efectivo de la barra, se selecciona de material acero al carbono 1020 laminado en caliente con un esfuerzo de fluencia de 210 MPa y un factor de seguridad de 2, con este dato se obtiene el esfuerzo cortante máximo así de la Ec 2.39 [43]:

$$\tau = \frac{M_{flector}}{F_s} \quad (2.39)$$

$$\tau = \frac{210}{2}$$

$$\tau = 105 \text{ Mpa}$$

Con la Ec 2.40 de cortante simple se obtiene el área necesaria del pin para soportar el esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{V}{A_{perno}} \quad (2.40)$$

Se sustituye el área del perno de la Ec 2.40, en función del diámetro efectivo del perno como se presenta, para luego despejar el diámetro efectivo, se obtiene la Ec 2.41.

$$\tau = \frac{4V}{\pi \cdot (D_{efectivo \ del \ perno})^2}$$

$$D_{efectivo \ del \ perno} = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot \tau}} \quad (2.41)$$

Sustituyendo los valores obtenidos de esfuerzo cortante y cortante máximo obtenido anteriormente y se sustituye en la Ec 2.41, se tiene:

$$D_{efectivo \ del \ perno} = \sqrt{\frac{4 (101.8)}{\pi \cdot 105 \times 10^6}}$$

$$D_{efectivo \ del \ perno} = 0.0012$$

Por lo tanto, el diámetro efectivo mínimo para el perno es de 1.2 mm, sin embargo, se selecciona usar un perno como pin de (½ pulg) con rosca fina de 20 hilos por pulgada que se ha seleccionado de la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Referencia de roscas UNC y UNF para pernos en pulgadas [44].

Diámetro, pulg	Diámetro, mm	Rosca ordinaria, Hilos x pulg	Rosca fina, Hilos x pulg
¼	6.35	20	28
5/16	7.938	18	24
3/8	9.525	16	24
7/16	11.113	14	20
½	12.7	13	20

Luego se determinan las especificaciones para la soldadura entre el brazo y la columna de sección cuadrada, para ello se usó el software inventor como se presenta en la Fig. 2.36, donde se introducen parámetros como la carga soportada; el peso total del horno, brazo de fuerza entre otros parámetros y así establecer altura mínima del cordón, material de aporte y esfuerzos máximos permisibles, los resultados se presentan en la Fig. 2.37.

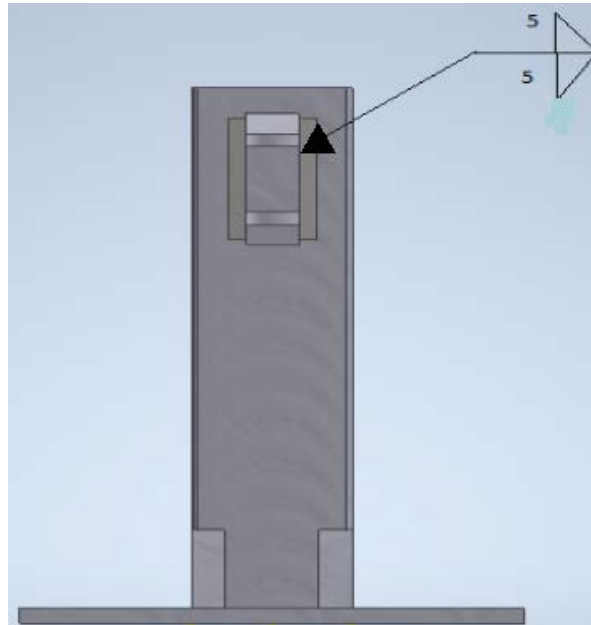


Fig. 2.36. Identificación del cordón de soldadura entre la columna de sección cuadrada y el brazo de soporte del horno.

En la Tabla 2.21 se presenta los resultados obtenidos, parámetros que representan la esfuerzo admitida σ_A (Límite de esfuerzo admitido para el material de aporte del electrodo seleccionado, serie E60, esto teniendo en consideración un factor de seguridad de 2.0), altura mínima de soldadura a_{min} (cordón de soldadura para soportar justo el peso del horno), la fuerza de plegado máximo σ , el esfuerzo de corte de soldadura τ , y se presenta también el esfuerzo resultante total σ_R y finalmente la fuerza máxima debido al peso del horno $F_{y_{max}}$, para que el cordón de soldadura no falle.

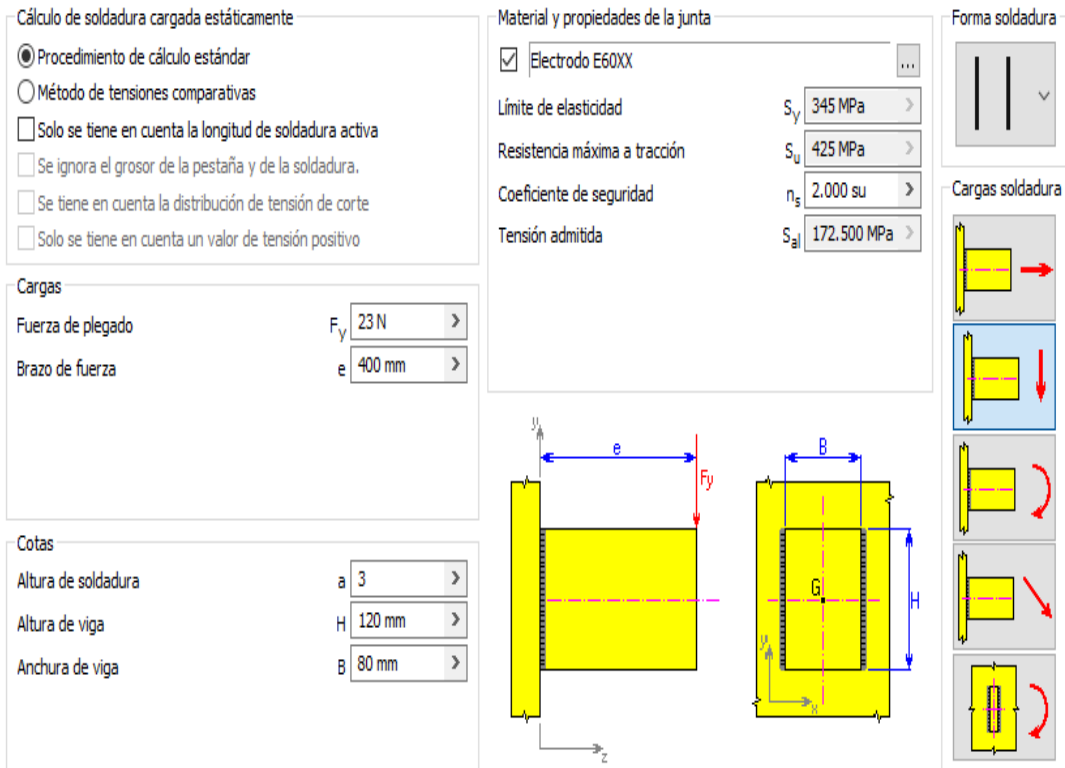


Fig. 2.37. Análisis de la soldadura del brazo de soporte y el tubo de sección cuadrada realizado en software inventor 2018.

Tabla 2.21. Resultados obtenidos de la simulación de la soldadura.

Variable	Resultados
σ_A , MPa	172.500
a_{min} , mm	0.100
σ , MPa	0.639
τ , MPa	0.032
σ_R , MPa	0.641
F_{ymax} , N	6186.840

3. ANÁLISIS ECONÓMICO

El propósito de este capítulo es determinar los costos en que se incurriría en la propuesta del horno para ensayos de tracción a altas temperaturas diseñado en el capítulo 2, donde se seleccionaron los materiales necesarios para la construcción del horno y para las modificaciones necesarias que se tienen que hacer a la máquina de ensayos, además se toma en consideración los equipos adicionales que ayudan o facilitan la construcción del horno y la realización de las modificaciones de la máquina de ensayos, así como también dispositivos de control a utilizar, todos esenciales para su funcionamiento óptimo. También se consideran los costos por los elementos para el horno y la máquina de ensayos que se obtienen por medio de diferentes procesos de maquinado realizados a los materiales que se adquirirán.

Los factores por tomar en consideración para realizar una evaluación económica son los siguientes:

- ✓ Costos directos:
 - Materia prima, y
 - Mano de obra directa;
- ✓ Costos indirectos:
 - Consumo energético, y
 - Materiales consumibles.

3.1. COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN

La determinación de los costos consiste en determinar el capital total de inversión en la construcción del horno, teniendo en consideración los factores tangibles e intangibles que son la materia prima y trabajo intelectual con la mano de obra respectivamente, necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros que son:

- ✓ Materia Prima Directa (MPD)
- ✓ Mano de Obra Directa (MOD)

✓ Costo Indirectos (CI)

3.1.1. MATERIA PRIMA DIRECTA (MPD)

La materia prima directa es todo aquel material que se adquiere y se transforma e incorpora en un producto final para satisfacer una necesidad.

En la Tabla 3.1 se presenta una lista de las materias primas, maquinaria y componentes electrónicos para alimentación eléctrica, control del horno, y sistema para suministrar el gas inerte al interior del horno, todo con su respectivo precio de mercado.

Tabla 3.1. Costos de materia prima para componentes de control, alimentación eléctrica y sistema de gas inerte.

Elementos	Can.	C/U, \$	C/T, \$
Controlador de temperatura AX2-1-A 48X96mm O/RELE HANYOUNG NUX	1	90.00	90.00
Termocupla tipo K con intervalo de temperatura entre 27 a 800 °C	1	10.00	10.00
Contactador siemens de 110 V, 60 Hz, 10 A	1	47.00	47.00
Relé auxiliar de 8 pines 110 V AC	1	13.50	13.50
Relé temporizador 24V – 110 V	1	35.00	35.00
Interruptor termomagnético 110 V, 6 A, 2 polos	1	25.00	25.00
Pulsador color verde, 2 pulsadores de color rojo 110 V, 10 A	3	17.25	51.75
Luz piloto color verde, rojo	2	10.20	20.40
Cable THHN AWG N° 16	3	1.84	5.52
Cable THHN AWG N° 16	3	1.84	5.52
Cable multiconductor eléctrico flexible (TSJ) 10-3 conexión industrial negro corte 110 V, 20 A	4	15.00	60.00
Toma macho para extensión 18 A, 110 V	1	1.75	1.75
Tubo galvanizado Rosca de ¼ x 2 pulg	1	0.61	0.61
Gabinete metálico de 30x25x15 cm	1	49.00	49.00
Riel DIN para borneras y autómatas	1	3.53	3.25
Regulador y manguera para cilindro de gas Argón de capacidad de 50 pc	1	242.50	242.50
Cilindro de gas argón de 50 cp	1	143.40	143.40
Varilla de plata plana al 5%	1	5.49	5.49
Cinta de teflón ½ pulg	1	0.25	0.25
Lámina galvanizada de un ¼ pulg	1	154.00	154.00
Ángulo de 1/4 pulg x 6 m	1	13.50	13.50

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.1. Costos de materia prima para componentes de control, alimentación eléctrica y sistema de gas inerte.

Elementos	Can.	C/U, \$	C/T, \$
Electrodos AWS E6013, lb	10	1.95	19.50
Rueda giratoria de hule con freno 100 mm	4	22.95	91.80
Subtotal =			1,258.70

En la Tabla 3.2 se presenta los materiales necesarios para modificar la máquina de ensayos actual, para utilizar el horno diseñado para las pruebas de tracción a alta temperatura. Son necesarias las modificaciones para acondicionar el espacio adecuado para que se pueda colocar y manipular el horno cuando se realicen las pruebas.

Las cotizaciones se hicieron a diferentes proveedores y se optó por seleccionar para las barras redondas, la propuesta de ABASTECEDORA INDUSTRIAL S.A. de C.V. (ABASTEINSA de C.V. ver anexo A.24). Además para las placas de acero la propuesta hecha por ACAVISA INDUSTRIAL S.A. de C.V.

Tabla 3.2. Costos de materiales para la modificación de la máquina de ensayos.

Elementos	Can.	C/U, \$	C/T, \$
Barra redonda de acero SAE 1020 normalizado de diámetro comercial, 22.225 mm (7/8 pulg)	4	12.43	49.72
Placa de acero AISI 1045 30 x 400 x 160 mm	2	150.48	300.96
Placa de acero AISI 1045 40 x 400 x 235 mm	1	289.24	289.24
Subtotal =			639.92

En la Tabla 3.3 se presenta los materiales para construir el horno para la máquina de ensayos, los materiales seleccionados tienen las características técnicas necesarias en cuanto a aislamiento térmico para que el horno pueda ser compacto, utilizando el menor espacio posible. Aunque aun así serán necesarias las modificaciones a la máquina de ensayos, los materiales para las capas del horno, se cotizaron a distintos proveedores, aunque el que brindo las mejores características y disponibilidad fue INGENIERÍA TÉRMICA S.A. ubicada en Guatemala. La lámina usada para la cubierta exterior del horno se cotizó en con proveedores nacionales.

Para la fabricación del resorte se requiere de un alambre con diámetro de 1 mm para resistencia eléctrica, se cotizo con el proveedor local llamado resistencias industriales S.A de C.V, el cual lo distribuye a un costo de \$ 9.00 por metro, además se debe fabricar o adquirir una barra con diámetro igual al diámetro interno de la hélice que se forma con el alambre de la resistencia, es de 4.8 mm, y emplea un taladro que sujete a la barra con la que se dará la forma de hélice al alambre, como si fuera un resorte, esto cuando se gire para obtener la cantidad de espiras o vueltas requeridas, según los cálculos hechos en el capítulo 2, además se determina que la longitud mínima del alambre debe ser de 5 metros, por lo tanto se tendría un costo de \$ 45.00 solo en la adquisición de este material.

Para facilitar la elaboración del canal con perfil cuadrado de 5 mm al interior del refractario, donde ira colocada la resistencia, se ha considerado en los costos de la materia prima, la compra de un kit de brocas enrutadores circular para materiales cerámicos a un costo de \$ 6.00, cotización hecha en la página de Aliexpress.

Tabla 3.3. Costos de materiales para la construcción del horno.

Elementos	Can.	C/U, \$	C/T, \$
Ladrillo refractario aislante JM-23 STD 229x114x64 mm (9x4.5x2.5 pulg), un ladrillo basta por cada mitad del horno, no obstante, se considera un extra como repuesto.	6	8.75	52.5
Fibra cerámica 51 mm (2 pulg) – 6 PCF (lb/pie ³) - (24 Pie ² C/Rollo)	1	31.84	31.84
Lámina negra 3 mm (1/8 pulg) 2x1 m	1	69.25	69.25
Alambre tipo kanthal A1 para resistencia eléctrica (m)	5	9.00	45.00
KIT de brocas enrutadores circular de diferentes diámetros, se seleccionará la medida requerida.	1	6.00	6.00
Subtotal =			204.59

Para realizar estructura metálica que soportara el horno de calentamiento, se utilizara una plancha de acero al carbono de 6.4 mm (1/4 pulg) de espesor con dimensiones iniciales de 2x1 m, un tubo estructural hueco de sección rectangular, chapa 14 de 102 mm (4 pulg) por lado y un tubo de acero al carbono también rectangular de 20 x 30 mm de 1.2 mm de espesor, ambos tubos de 6 metros de largo.

Se hará uso de un disco abrasivo de corte de 1 mm de espesor, para un mecanizado de poca profundidad de 2 a 5 mm.

Los materiales mencionados para la fabricación de la estructura se encuentran disponibles en el mercado local y se han tomado de referencia los precios a la fecha del proveedor Freund S.A. de C.V., los costos asociados a materia prima y consumibles se desglosan en la Tabla 3.4, los cuales se sustentan sobre la base de las cotizaciones que se anexan al final de este documento.

Tabla 3.4. Costos de los componentes para la fabricación de la estructura que soportara el horno para altas temperaturas

Elemento	Can.	C/U, \$	C/T, \$
Lámina de acero de 6.35 mm (1/4 pulg) y de 1x2 m	1	139	139
Tubo estructural cuadrado chapa 14 de 102 mm (4 pulg) y 6 m de largo	1	47.50	47.50
Tubo estructural rectangular de 32 x 20 mm (1¼ x 3/4 pulg) chapa 16 (1.5 mm) y 6 m de largo	1	13.50	13.50
Libra de electrodos E7018 para estructura	10	1.95	19.5
Disco de corte abrasivo de 1 mm de espesor 155 mm de diámetro	10	1.30	13.0
Rueda giratoria de nylon de 76 mm (3 pulg)	4	6.95	27.8
Perno de acero al carbono de 6.4 mm (1/4 pulg)	1	0.99	0.99
Subtotal =			260.79

3.1.2. MANO DE OBRA DIRECTA (MOD)

La mano de obra directa interviene en la transformación de las materias primas y materiales en el producto final. La mano de obra se calcula en función del costo de la hora hombre, el costo de la hora máquina, el costo operativo por hora y el margen de beneficio.

A continuación, se expone la manera en que se obtendrán los costos de maquinado necesarios para la modificación de la estructura de la máquina de ensayos y la fabricación de la estructura que soportara el horno posteriormente se procede al respectivo cálculo, así:

✓ Costos de trabajo de maquinado

Para los trabajos de maquinado se considera un taladro a precio actual de \$ 3,000.00, equipo soldadura a precio actual de \$ 350.00, una fresadora a precio actual de \$ 7,000.00, un salario de trabajador de 1,5 veces el salario mínimo actual del país siendo \$ 547.50 y

48 h de trabajo por semana. A continuación, se explica el cálculo de costos en una secuencia de 5 pasos [12]:

Paso 1: Tiempo de maquinado, es el tiempo de uso de la máquina durante el trabajo, utilizando las Ecs. 3.1 y 3.2 se determinan el tiempo de uso de la máquina relacionando la longitud maquinada, la velocidad de corte y el avance del corte para el torno y la longitud maquinada con el avance de corte para un taladro [45]:

$$T_M = \frac{L_m}{f * n} \quad (3.1)$$

donde: T_M es el tiempo de operación de la máquina en min,
 L_m es la longitud del maquinado en mm,
 f es el avance por revolución en pulg/rev o mm/rev, y
 n es la velocidad del husillo en rpm.

$$T_M = \frac{L_m}{V_f} \quad (3.2)$$

donde: T_M es el tiempo de la máquina en min,
 L_m es la longitud del maquinado en mm, y
 V_f es la velocidad de avance de la mesa en mm/min.

Para el caso del trabajo de torno la velocidad del husillo se determina con la Ec. 3.3 que relaciona la velocidad de corte y el diámetro del material, dicha velocidad se toma de la Tabla 3.5 [46].

$$n = \frac{V_c * 1,000}{\pi D_m} \quad (3.3)$$

donde: n es la velocidad del husillo en rpm,
 D_m : es el diámetro mecanizado en mm, y
 V_c : es la velocidad de corte en m/min.

Tabla 3.5. Condiciones de operación para perforar en diversos materiales con brocas comunes [46].

Material perforado	Dureza		Material de la herramienta de corte	Velocidad periférica m/min (pulg/min)	Tasa de Avance, mm/rev			
	Brinell	Rockwell			3.2 mm (1/8 pulg)	6.4 mm (1/4 pulg)	12.7 mm (½ pulg)	19.1 mm (¾ pulg)
Aluminio y sus aleaciones	45 - 10	62	HSS	107 (350)	0.08 (0.003)	0.15 (0.006)	0.25 (0.010)	0.394 (0.0155)
Amianto	----	----	WC	17 (55)	0.08 (0.003)	0.13 (0.005)	0.20 (0.008)	0.267 (0.0105)
Baquelita	----	----	WC	24 (80)	0.08 (0.003)	0.13 (0.005)	0.20 (0.008)	0.267 (0.0105)
Carbón	----	----	HSS	18-21 (60-70)	0.038 (0.0015)	0.08 (0.003)	0.089 (0.0035)	0.13 (0.005)
Acero al carbono simple al 0.25% C	125 - 175	71 - 88	HSS	24 (80)	0.08 (0.003)	0.13 (0.005)	0.20 (0.008)	0.267 (0.0105)
Acero al carbono simple al 0.50% C	175 - 225	88 - 98	HSS	20 (65)	0.08 (0.003)	0.13 (0.005)	0.20 (0.008)	0.267 (0.0105)
Acero al carbono simple al 0.90% C	175 - 225	88 - 98	HSS	17 (55)	0.08 (0.003)	0.13 (0.005)	0.20 (0.008)	0.267 (0.0105)

Para la determinación del tiempo de taladrado se realizará relacionando la velocidad de avance del taladro la cual, tiene en consideración la velocidad de revolución acorde a la caja de operación del taladro y también a la velocidad adecuada de corte en cada caso serán calculadas las rpm, tomando en consideración el material a mecanizar. Así mismo se requiere la frecuencia de avance del taladro, la cual, se seleccionará de la Tabla 3.5 según el tipo de material.

Paso 2: Costo por minuto del trabajador, el costo por minuto del trabajador es lo que le cuesta a la empresa el salario del trabajador por minuto, para este cálculo se considera un mes igual a 4 semanas y 48 h trabajadas por semana.

$$W_0 = \frac{547 \$}{mes} * \frac{1 mes}{4 semanas} * \frac{1 semana}{48 horas} * \frac{1 hora}{60 minutos} \approx 0.05 \$/min \quad (3.4)$$

Paso 3: Costo por minuto de la máquina, el costo por minuto de la máquina es lo que le cuesta a la empresa la mantención de la máquina por minuto, considerando el mantenimiento y la depreciación de la máquina durante un año, dicha depreciación se determina de la Tabla 3.6 que establece el Art. 30 de la ley de impuesto sobre la renta en El Salvador, el cual establece el valor residual de la máquina luego de su uso o explotación. Utilizando la Ec. 3.5 para la maquinaria y equipo a utilizar, se tiene:

$$Depreciación = \frac{Precio\ inicial - valor\ residual}{vida\ util} \quad (3.5)$$

Tabla 3.6. Porcentaje de valores para una máquina luego de su uso o explotación [12].

Años de vida	Porcentaje de la máquina o bienes usados %
1	80
2	60
3	40
4 o más	20

Para el caso del taladro de columna, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$\text{Depreciación} = \frac{\$3,000.00 - (\$3,000.00 * 20\%)}{10} = \$360/\text{año}$$

Para el caso de la fresadora, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$\text{Depreciación} = \frac{\$7,000.00 - (\$7,000.00 * 20\%)}{10} = \$560/\text{año}$$

Para el caso del equipo de soldadura eléctrica, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$\text{Depreciación} = \frac{\$350.00 - (\$350.00 * 20\%)}{10} = \$28/\text{año}$$

Para el caso del equipo de corte oxiacetilénica, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$\text{Depreciación} = \frac{\$700.00 - (\$700.00 * 20\%)}{10} = 56.00 \$/\text{año}$$

La depreciación da como resultado un costo \$ 0.04 por h para un taladro de columna, \$ 0.06 por h para una fresadora, \$ 0.0032 por h para un equipo de soldadura eléctrica y \$ 0.01 por h para un equipo de corte oxiacetilénica. Estos valores serán utilizados donde corresponda en el transcurso del capítulo.

Paso 4: Costos de Operación, son la suma de los costos por minuto del trabajador más los costos por minuto de la máquina, agregando un extra al trabajar de 5% y un extra a la máquina de 10%, tal como se presenta en la Ec. 3.6, con el fin de solventar otros gastos tales como es el uso de taladrina, lápiz, entre otros:

$$M = W_0(1 + \%w_0) + M_T(1 + \%m_t) \quad (3.6)$$

donde: M es el costo de operación,

W_0 es el salario del trabajador en min,

$\%w_0$ es el porcentaje agregado al trabajador,

M_T es el costo de la máquina en min, y

$\%m_T$ es el porcentaje agregado a la máquina.

Paso 5: Costo total de la pieza, el cual relaciona el costo de operación con los tiempos de trabajo, ocio e intercambio de herramientas, así como el costo de las diferentes herramientas a utilizar durante el trabajo, tal como se presenta en la Ec. 3.7:

$$Costo_{total} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T \quad (3.7)$$

donde: M es el costo de operación en min,

N_b es el número de piezas a fabricar,

T_L es el tiempo de ocio (3 min),

T_M es el tiempo de maquinado,

N_T es el número de herramientas a usar,

T_{CT} es el tiempo de cambio por herramienta de corte, y

C_T es el costo de adquisición de herramientas.

Definida la manera en que se calcularán los costos de mecanizado se procede a determinarlos en el montaje de niple en una de las caras del horno así:

1) Costos de maquinado en la parte inferior de horno.

El mecanizado en la parte inferior del horno requiere utilizar un taladro de columna para la perforación del agujero que contendrá un niple será fijado con la carcasa de acero del horno por soldadura con varilla de plata alrededor del niple que contendrá una rosca externa en uno de los extremos la cual será fabricará con la correspondiente tarraja de ¼ pulg NPT-18

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de perforación, tal como se presenta a continuación:

Paso 1: Se calculan rpm, con la Ec. 3.3 se requiere la velocidad de corte, para el material a perforar que es acero, se determina a partir de la Tabla 3.5 se requiere una velocidad de corte 24 m/min de la cual se obtiene.

$$n = \frac{V_c * 1,000}{\pi D_m}$$

$$n = \frac{24 * 1,000}{\pi(6.35)} = 1193 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, con un avance de 0.13 mm/Rev. Extraído de la Tabla 3.5 y sustituyendo en la Ec. 3.2 Se tiene:

$$T_{M1-taladro} = \frac{2.28}{0.13 * 1193} = 0.014 \text{ min}$$

Se utilizará una broca especial para porcelanato de ¼ pulg para perforar el ladrillo refractario se tomará velocidad de corte de 24 m/min de la Tabla 3.5 y sustituyendo en la Ec. 3.3 se tiene.

$$n = \frac{24 * 1,000}{\pi(6.4)} = 1193 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.13 mm/rev y sustituyendo en la Ec. 3.2 Se tiene:

$$T_{M2-taladro} = \frac{74}{0.13 * 1193} = 0.47 \text{ min}$$

$$T_{MT-taladro} = T_{M1-taladro} + T_{M2-taladro}$$

$$T_{MT-taladro} = 0.49 \text{ min}$$

Paso 2: Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ \$/min}$$

Paso 3: Costo por minuto de la maquina

$$M_{Ttaladro} = 0.04 \text{ \$/h}$$

Paso 4: Costo de operación, sustituyendo en la Ec. 3.7 se tiene:

$$M = 0.05(1 + 5\%) + (0.04/60)(0.01/60)(1 + 10\%)$$

$$M = 0.05 \text{ \$/min}$$

Paso 5: Costo total de la pieza, se considera la utilización de cuatro herramientas de corte (broca) con un costo total por ambas de \$ 20.77, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.7 se tiene:

$$Costo_{Total1} = 0.05(1 * 3 + 1 * 0.46 + 4 * 2) + 1 * 4.90 + 1 * 5.60 + 1 * 5.95 + 1 * 4.35$$

$$Costo_1 = 21.37 \text{ \$}$$

Para determinar los costos de la soldadura y fabricación de la rosca únicamente se tomará en consideración el costo de hora hombre para llevar a cabo estas operaciones

el tiempo aproximado de para la fabricación de la rosca con una longitud de 1.5 cm es de aproximadamente 15 min y para realizar la soldadura alrededor de contorno de 6.4 mm es aproximadamente de unos 10 min. Se presenta en la Ec 3.8

$$Costo_2 = 0.05 \frac{\$}{min} * 25 min \quad (3.8)$$

$$Costo_2 = 1.25 \$$$

Por lo tanto, el costo de todas las operaciones a realizar es de \$ 22.62

2) Costo de modificación de tablero eléctrico.-

Se requiere la utilización de una pulidora manual y disco de corte de 1 mm para realizar el corte de un rectángulo con las dimensiones de 48x63 mm que contendrá al controlador de temperatura esta son las dimensiones de alto y ancho del controlador de temperatura; esto para poder fijar el controlador a la puerta del tablero. Se utilizará un taladro manual y una broca de 7/8 pulg para la perforación de 4 agujeros que contendrán pulsadores de arranque, paro, indicadores de encendido y apagado. Se contratará el servicio de taller de metal mecánica “El chileno Ivanov” ubicado en 6ta Avenida Norte Cojutepeque, Cuscatlán para realizar los 4 agujeros y el corte rectangular, por lo tanto, el costo de todas las operaciones a realizar es de \$ 10.00.

3) Costo de modificaciones que se realizaran a la máquina de ensayos.-

Las barras móviles de acero de la máquina de ensayo se adquieren a un diámetro comercial un poco mayor al planteado en el diseño realizado, por lo que se envían al torno para ser rectificadas, lo que también sirve para eliminar cualquier imperfección que podrían llevar de fábrica las barras. Además, se les debe realizar el roscado necesario que se ha especificado en el Capítulo 2 y los planos de las piezas, para la sujeción a las placas móviles.

Las placas de acero adquiridas también necesitan de algunos trabajos de maquinado. La perforación de los cuatro agujeros por donde se deben sujetar las barras móviles en cada placa móvil. Además, para la placa móvil superior se debe hacer un agujero roscado adicional para colocar el sensor de fuerza que a su vez sujeta al porta

mordazas superior. Para la placa móvil inferior se realizarán los agujeros donde se colocan los pernos con los que se acopla el cilindro hidráulico de la máquina, en esta placa se encuentra el apoyo del asiento semiesférico para pruebas de compresión. Para la placa fija superior de igual manera se perforarán cuatro agujeros en los que se acoplarán las barras fijas, cuatro agujeros roscados para los pernos que sujetaran la porta mordazas inferior para las pruebas de tracción y tres agujeros roscados para fijar con pernos el sujetador del apoyo superior para pruebas de compresión, las especificaciones se encuentran el Capítulo 2 de este trabajo y se presentan en los planos.

Y finalmente se necesitan nuevas mordazas, como se plantea en el Capítulo 2, la elaboración de estas también se cotizo por lo que al final que para todas las operaciones para las que se necesita del uso de torno y máquina fresadora se consultó a algunos talleres que se dedican a realizar este tipo de trabajos, con los que se puede establecer un precio de referencia de \$ 130.

4) Costo de fabricación del horno, resorte para calentamiento y ranuras donde van montados dichos resortes en el refractario.-

Se pretende fabricar las espiras y el canal de perfil cuadrado por cuenta propia con el fin de reducir gastos de mano de obra directa. Cortar los materiales de las capas que forman el horno no requiere de maquinaria de gran precisión es una tarea algunas tareas son manuales y otras requieren de máquinas y herramientas que no exige gran dificultad en su uso, para cortar y dar forma a las piezas de lámina de la capa exterior del horno y ladrillo refractario, el equipo adicional lo facilitará el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador.

5) Costo de fabricación de la estructura metálica que soportara el horno de calentamiento.-

La fabricación y ensamble de esta estructura, se pretende que sea realizada por cuenta propia, como grupo de estudiantes de la Universidad de El Salvador en el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica con el fin de reducir costos en la mano de obra directa y además de poner en práctica los conocimientos adquiridos en el campo laboral sobre la metalmeccánica como el uso de herramientas de medición, esmeril con disco de

corte, aparatos de soldadura, etc. Lo anteriormente mencionado se consideró así ya que es un proyecto didáctico con fines académicos.

3.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos afectan la producción de uno o más productos en una empresa y que no se pueden medir, asignar ni contemplar directamente (y exactamente) dentro del presupuesto a una etapa productiva del producto.

Para esta la propuesta de construcción del horno los costos, los costos indirectos que se incluirán serán los costos de energía eléctrica que serán descritos a continuación. Los costos de energía eléctrica se determinan con la Ec. 3.9:

$$\text{Costo de Energía Eléctrica} = T_c * T_t * P \quad (3.9)$$

donde: T_c es la tarifa de consumo,

T_t es el tiempo de trabajo se tomará un factor de seguridad de 1.7, y

P es la potencia de la máquina.

La tarifa de consumo es establecida por la SIGET y pone a disposición el pliego tarifario según el nivel de voltaje, la demanda y el tipo de medición.

En este caso se asumirá una mediana demanda en baja tensión (voltaje) con medición de potencia siendo CAESS la distribuidora. En la Tabla 3.7 se presenta los cargos por consumo de energía eléctrica los cuales son establecidos por la SIGET y vigentes desde el 15 de octubre de 2023 al 14 de abril de 2024

Tabla 3.7. Precios máximos para el suministro eléctrico en mediana demanda y baja tensión (voltaje) [47].

Costo	Tipo de cargo	CAESS
Costo de comercialización (\$/Usuario)	Fijo	0.837715
Costo de energía (\$/kWh)	Variable	0.143297
Costo de distribución (\$/mes)	Por Potencia	16.116777

Para un taladro de columna con una potencia de 2.3 kW y sustituyendo valores en Ec. 3.9 se obtiene el costo, tomando en consideración el tiempo de uso total de diversas tareas como la colocación del niple y la realización del canal del horno:

$$\text{Costo de Energía Eléctrica 1} = 0.143297 * \frac{40}{60} * 2.3$$

$$\text{Costo de Energía Eléctrica 1} = 0.22 \$$$

Para una esmeriladora con una potencia de 0.8 kW y sustituyendo valores en Ec. 3.9 se obtiene el costo, tomando en consideración el tiempo de uso total para diversas tareas como la de cortar los ladrillos refractarios y darles forma, corte de la lámina de la cubierta del horno y uso en la elaboración de la estructura metálica que soporta el horno.

$$\text{Costo de Energía Eléctrica 2} = 0.143297 * \frac{120}{60} * 2.3$$

$$\text{Costo de Energía Eléctrica 2} = 0.66 \$$$

3.3. COSTOS TOTALES

Finalmente, los costos necesarios totales, para implementar la propuesta diseñada en este trabajo, la construcción del horno para la máquina de ensayos de tracción de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador se presenta a continuación.

Primero en la Tabla 3.8 presenta los costos totales de la materia prima detallada en la sección 3.1.1.

Tabla 3.8. Costos totales de la materia prima utilizada

Descripción de la materia prima	Costo, \$
Componentes de control, alimentación eléctrica y sistema de gas inerte	1,258.70
Materiales para la modificación de la máquina de ensayos	639.92
Materiales para la construcción del horno	204.59
Componentes para la fabricación de la estructura que soportara el horno para altas temperaturas	260.79
Total =	2,364.00

La Tabla 3.9 presenta los costos totales de la mano de obra directa que se tendrá y que es detallada en la sección 3.1.2.

Tabla 3.9. Costos totales de la mano de obra directa necesaria

Descripción	Costo \$
Costos de maquinado en la parte inferior de horno	22.62
Costo de modificación de tablero eléctrico	10.00
Costo de modificaciones que se realizaran a la máquina de ensayos	130.00
Total =	162.62

Y finalmente en la Tabla 3.10 se resumen los costos necesarios totales para poder llevar a cabo la propuesta de diseño del horno para realizar los ensayos de tracción con temperatura elevada, además de los costos adicionales que ello conlleva para que sea posible el uso correcto del mismo en las pruebas que se realicen en la con la máquina.

Tabla 3.10. Costo total de construcción de horno.

Costos	Descripción	Costo, \$
Directos	Materia prima	2,364.00
	Mano de obra directa	132.62
Indirectos	Energía	0.88
	Total =	2,527.50

El costo total es de \$ 2,527.50, aunque es debe tener en consideración que algunos de los costos se ven incrementados porque la disponibilidad de los materiales en el mercado, en sus cantidades mínimas, es aun así mayor de las que se necesitan. Aunque se debe considerar también que pueden surgir algunos costos adicionales como por transporte de los materiales, por lo que estos resultados se pueden ver como una referencia bastante acertada del costo que se pueden tener realmente.

CONCLUSIONES

- La utilización del controlador AX2-1-A 48X96 mm ha sido una selección conveniente para registrar y censar los valores de temperaturas fácil de configuración es muy sencillo, practico, económico con la compra de este equipo se evitó diseñar el controlador de temperatura ya que este no es el objetivo del trabajo.
- Con la fabricación del horno y las recomendaciones realizadas en el trabajo propuesta de diseño de instrumentación la máquina de ensayos de tracción de la Escuela de Ingeniería Mecánica, será capaz de realizar ensayos de tracción aplicando cargas monotónicas y someter las probetas a ensayar a diferentes temperaturas mejorando las prácticas didácticas en el laboratorio de materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica [22].
- Con la aplicación de argón durante el ensayo a altas temperaturas se logrará proteger la probeta ensayada evitando el contacto con el oxígeno y con lo cual se evita que se oxide en la zona de análisis donde se produce la rotura de la probeta.
- La modificación de algunos elementos estructurales de la máquina debido a la colocación de los sensores de fuerza y distancia que forman parte del sistema de control propuesto es viable tanto técnica como también económicamente.
- La construcción del horno y las modificaciones a la máquina, resultan ser más viables que la adquisición de una máquina de ensayos nueva, pues superan por mucho el costo que se tiene con la propuesta que se ha presentado, y para efectos didáctico en las prácticas con los alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de La Universidad de El Salvador, la máquina cumple con los niveles aceptables de precisión en las pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Askeland, D.R., & Wright, W.J. (2017). *Ciencia e ingeniería de materiales* (7.ª ed.). México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de CV.
- [2] Alting, L. (1996). *Proceso para ingeniería de manufactura*. México, D.F: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- [3] Smith, W.F., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos De La Ciencia E Ingeniería de materiales* (4.ª ed.). México, D.F: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- [4] *Probetas de sección circular E8. (s. f.). Scribbr.*
<https://es.scribd.com/doc/298217567/Probetas-de-Seccion-Circular-E8#>
- [5] ASTM E 08 – 16a. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*
- [6] ASTM E 21 – 03a. *Standard Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials.*
- [7] Solá, P.M. (1991). *Tratamientos térmicos de los metales*. España: Marcombo S.A.
- [8] Interempresas. (s.f.). *Atmósferas en los tratamientos térmicos*. Recuperado el 2 de octubre de 2022, de <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/59954-atmósferas-en-los-tratamientos-termicos.html>
- [9] GHI Smart Furnaces. (2021, 4 junio). *Equipos auxiliares - GHI Hornos Industriales*. Recuperado 2 de octubre de 2022, de <https://www.ghihornos.com/hornos-industriales/fundicion-hierro-acero/equipos-auxiliares/>
- [10] Urquiza, J.A. (1994). *Hornos industriales de resistencias: teoría, cálculo y aplicaciones*.
- [11] Kanthal A.B. (2003). *Kanthal handbook, heating alloys for electric household appliances*.
- [12] *Heating elements products. (s. f.).* <https://arorarefractories.net/heating-element-design.php>
- [13] Colaboradores de Wikipedia. (2021). *Material refractario. Wikipedia, la enciclopedia libre.* https://es.wikipedia.org/wiki/Material_refractario
- [14] Jara, A.A. (2019). *Metodología de diseño de hornos para tratamiento térmico de distensionado de grandes piezas ferrosas de minería*. Tesis de ingeniero civil mecánico. Universidad de Chile.
- [15] INCROPERA, F.P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Cengage Learning.
- [16] Cengel, Y.A., & Ghajar, A.J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill.
- [17] Duarte Barrero, D.F., & Vargas Álvarez, J.D. (2018). *Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada*. Tesis de Ingeniero Mecánico. Fundación universitaria los libertadores.

- [18] Escudero Vaca, J.M., & Toro Oviedo, H.S. (2020). *Diseño y construcción de un horno para implementarlo en la máquina para ensayos de termofluencia del laboratorio de resistencia de materiales de la epoch*. Tesis de ingeniero en mecánica. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo
- [19] Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*. Control automático 1. Automatización y Control Industrial. Universidad Nacional de Quilmes. Recuperado 2 de mayo de 2023, de <http://iaci.unq.edu.ar/caut1>
- [20] Chumbe Mellado, E.E. (2019). *Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando controlador lógico programable para la línea de producción de panadería*. Tesis de ingeniero electricista. Universidad Nacional Del Centro Del Perú.
- [21] *Fundamentos, sintonía y auto sintonía - PDF Descargar libre*. (s. f.). <https://docplayer.es/85476323-Fundamentos-sintonia-y-autosintonia.html>
- [22] Cunepa Siguachi, L.E., & Joma Ramos, L.A. (2023). *Propuesta De Diseño De Instrumentación De Una Máquina De Ensayos De Tracción*. Tesis de Ingeniero Mecánico. Universidad de El Salvador.
- [23] Campos Ramos, J.A., Chávez Fuentes, M.I., & Muñoz Najarro, C.M. (2000). *Diseño y construcción de una máquina para pruebas de tensión y compresión en materiales*. Universidad de El Salvador, San Salvador.
- [24] Sánchez, A. (2014) *Diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico para el calentamiento de prepolymer y polyol en la elaboración de calzado para la empresa calzado cass*”.
- [25] *Publicar*. (2023). *Réflex plus*. Obtenido de <https://www.reflexplus.com.sv/>
- [26] *Security or Safety International, S.A. de C.V. © - Hanyoung Nux*. (s. f.). <https://www.ssint.com.mx/>
- [27] *Termopar tipo K Alumel - Cromel - Sensor de temperatura 1250 °C | TEII.MX*. (2020, 7 febrero). *Tei Ingeniería mexicana*. <https://teii.mx/termopar-tipo-k-alumel-cromel/>
- [28] Antonio Creus, S. (2011). *Instrumentación Industrial*. 8 va Ed. México: Alfaomega S.A
- [29] NFPA. (2008). *Código Eléctrico Nacional*. Boston, MA: Copyright © 2007, National Fire Protection Association.
- [30] *Ferretería Vidrí El Salvador*. (s. f.). *Almacenes Vidrí*. <https://www.vidri.com.sv/>
- [31] *Relé de 8 pines 1 20Vac*. (s. f.). *Almacenes Vidrí*. <https://www.vidri.com.sv/producto/74401/rele-de-8-pines-1-20vac.html>
- [32] *disai.net*. (23 de noviembre de 2015). Obtenido de www.disai.net
- [33] <https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/a640a601-663c-4ea5-94ae-8e66551cb575?producto=automato%2010%20amp%202%20polos>
- [34] Eduardo, L. V. G. (2021, 1 septiembre). *Diseño y construcción de un contenedor con atmósfera controlada para la fabricación de espuma de aluminio para el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil*

y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33596>

- [35] Infrasal, M. (s. f.). INFRASAL GASES - Argón. <https://www.infrasal.com/gases/argon>
- [36] Varilla de plata - Copper Group El Salvador. (2022, 29 noviembre). Copper Group El Salvador | Líderes en Soluciones en refrigeración. <https://esa.coppergroupint.com/producto/varilla-de-plata/>
- [37] Cinta Teflón azul 3/4 x 12 m. (s. f.). Almacenes Vidrí. <https://www.vidri.com.sv/Mobile/producto/22445/Cinta-tefl%C3%B3n-azul-3-4-x-12-mts.html?>
- [38] Infrasal, M. (s. f.). INFRASAL INDUSTRIA - Regulador Argón. <https://www.infrasal.com/industria/soldadura/soldadura-autogena/control-de-gas/reguladores/242-regulador-argon>
- [39] Cordón de Asbesto – Agencias Vibo. (s. f.). <https://agvibo.com/product/cordon-de-asbesto/>
- [40] Freund el salvador (s. f.). niple Galvanizado. Recuperado el 28 de febrero de 2022, de <https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/f0c4e9e5-3496-4706-ac1a-68d5005c3d8b?producto=niple%20galvanizado%201%2F4%20x%202%20plg>
- [41] mencom (s. f.). Comparación de roscas para prensaestopas. Recuperado el 20 de enero de 2022, de https://www.mencom.com/infographics/Cable-Gland-Threads-Comparison_Spanish.pdf
- [42] Casillas, A.L. (1997). *Máquinas: cálculos de taller*.
- [43] Budynas, R.G. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (10a. ed.)*.
- [44] <https://www.lostornillos.com.mx/blogs/noticias/identificacion-del-acero-con-el-que-estan-fabricados-los-pernos>.
- [45] SANDVIK COROMANT, fórmulas y definiciones en torneado general, Obtenido de <https://acortar.link/1gTAA6>.
- [46] Tool and Manufacturing Engineers Handbook, (4.^a ed.). (Dearborn, Mich: Society of Manufacturing Engineers 1983).
- [47] SIGET. (2023). *Tarifas de Electricidad año 2023*. Obtenido de <https://acortar.link/ZP8KhO>.

ANEXOS

ANEXOS A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y COTIZACIONES

Anexo A.1. Controlador de temperaturas AX2-1-A 48X96 mm

AX series

Control de Temperatura Digital

Económico • Conveniente • Ciclo Rápido de Muestreo • Alta Precisión Control de Temperatura

Mantiene la facilidad de uso con su funcionalidad esencial para los ingenieros y los operadores del sitio de trabajo y el control de temperatura de alta precisión se logra con el ciclo de muestreo rápido.

➔ Selección Simple



Multi entrada(sensor)

- Termopar
K, J, R, T
- RTD
Pt100 Ω

Precisión de la pantalla
 $\pm 0.3\%$ of F.S

Ciclo de muestreo
0.1 s

Tipo de salida de control

- Salida de relé 3 contactos (seleccionable entre la salida de control / alarma1 / alarma2 / LBA)
- SSR salida 1 contacto (construido como estándar)

*La salida de relé puede tener un máximo de 3 contactos que pueden ser seleccionada como salida de control, salida de alarma1, salida de alarma2 y salida de LBA.

Metodo de Control
Control PID mediante auto-ajuste o control de encendido / apagado.

Operación de salida de control
Funcionamiento inverso (control de calefacción) / funcionamiento directo (control de enfriamiento) seleccionable por el parámetro interno.

Función del Display

- Muestre el valor de proceso (PV) y el valor de ajuste (SV) juntos al mismo tiempo (4 dígitos)
- Visualización en Celsius (°C) / Fahrenheit (°F)
- Muestra la posición del punto decimal (0,1 / 1 seleccionable)

Profundidad de Instalación 63 mm

AX series Con el diseño en la reducción de profundidad de instalación, se provee mayor espacio en el panel y la caja de control para su instalación.



Anexo A.2. Características técnicas de sensor de temperatura

Tei Ingeniería

TEI INGENIERIA & THYKER MEXICANA

Malinche Mz.115 Lt. 23, Cerro Grande,
Atizapán de Zaragoza, Estado de México, 52920
Tel. +52 (55) 5305-4223, ventas@teii.mx
WA: +52 553967 0708

Especificación Técnica

Producto: Sensor de temperatura termopar para mufla
Serie: TE-CC-MUFLA
Caja: N.A.
Empaque: Caja de Cartón
País de Origen: México

Modelo:

Termopar tipo K cerámico para mufla: 1250°C

Descripción

Termopar tipo K, Alumel y Cromel, punta
expuesta con aislador cerámico

Especificaciones

Sensor: Termopar Cerámico
Elemento: K (Alumel - Cromel)
Union: Expuesta
Estándar: ANSI
Tolerancia: Grado termopar
Calibre: 8 AWG
Aislador: cerámico, ovalado
Tamaño de aislador: 6mmX11mmX75 mm
Longitud: X (definida por usuario)
Temperatura máxima: 1250°C
Temperatura umbral: 1300°C
Pierna negativa: Rojo



Anexo A.3. Contactor de 120 V,10 A



Comprando en
ESTACION DEL CASCO
Seleccionar otra tienda

La Ferreteria DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar



Iniciar Sesión

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS

PROMOCIONES

OFERTAS EXTREMAS

TIENDAS

CÓMO
COMPRAR EN LÍNEA

TRABAJA
CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



CONTACTOR 12 AMP 120 VOLTIOS 1NO AC3

CODIGO 638216 / MODELO NC1-1210-1

Agregar a favoritos

\$14.95

1

Agregar a carrito

UNIDAD: C/U
CHINT

Disponible
Despacho a domicilio

Disponible
Retiro en tienda

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- CERTIFICADOS: CE/ KEMA/ VDE/ EK/ ESC/ UKRSEPRO/ GOST/ RCC/ UL
- CLASIFICACIONES ELÉCTRICAS: AC50 / 60HZ 690V HASTA 95A
- APLICACIÓN: FABRICACIÓN REMOTA Y CIRCUITOS DE RUPTURA
- PROTEGER EL CIRCUITO DE SOBRECARGA AL ENSAMBLAR CON RELÉ TÉRMICO DE SOBRECARGA
- CATEGORÍA DE UTILIZACIÓN: AC-3 AC-7
- TEMPERATURA AMBIENTE: -5°C ~ +40°C

Anexo A.4. Relé temporizado



Departamentos

Buscar producto



Inicio



Relé de 8 pines 1 20vac

\$13.50 Unid

7 Disponible(s)

Sku#: 74401 Modelo:

- 1 +

Agregar al carrito

[Consulta la disponibilidad](#)

Descripción

Descripción del producto

- Relay de 8 pines
- Indicador de funcionamiento led

Anexo A.5. Relé temporizador electrónico



Comprando en
ESTACION DEL CASCO
Seleccionar otra tienda

Buscar

La Ferretería

RETIRE EN TIENDA O \$

DEPARTAMENTOS

PROMOCIONES

OFERTAS EXTREMAS



ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

✓ Agregar a favoritos



\$35.00

1

Agregar a carrito

UNIDAD: C/U
CHINT

Disponível
Despacho a domicilio

Disponível
Retiro en tienda

Anexo A.6. Interruptor termomagnético de dos polos

Freund Todo tiene solución | Comprando en ESTACIÓN DEL CASCO | Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar   [Iniciar Sesión](#)

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS | PROMOCIONES | OFERTAS EXTREMAS | TIENDAS | CÓMO COMPRAR EN LÍNEA | TRABAJA CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



AUTOMATO 10 AMP 2 POLOS

CODIGO 15741530 / MODELO 5SL62107CC

 [Agregar a favoritos](#)


\$25.00

1  

 [Agregar a carrito](#)

UNIDAD: C/U
SIEMENS

 Disponible
Despacho a domicilio

 Disponible
Retiro en tienda

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- UTILIZA PEINE ESTANDAR PARA SU INSTALACIÓN EN RIEL DIN

Anexo A.7. Pulsadores y luces de señalización

Freund Todo tiene solución | Comprando en ESTACION DEL CASCO | Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar   [Iniciar Sesión](#)

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS | PROMOCIONES | OFERTAS EXTREMAS | TIENDAS | CÓMO COMPRAR EN LÍNEA | TRABAJA CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



LAMPARA LED PARA SEÑALIZACION 120-230 V~ VERDE

CODIGO 625449 / MODELO ND16-22DS/4-G

 [Agregar a favoritos](#)

\$3.90

1    [Agregar a carrito](#)

UNIDAD: CU
CHINT

 Disponible
Despacho a domicilio

 Disponible
Retiro en tienda

Freund Todo tiene solución | Comprando en ESTACION DEL CASCO | Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar   [Iniciar Sesión](#)

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS | PROMOCIONES | OFERTAS EXTREMAS | TIENDAS | CÓMO COMPRAR EN LÍNEA | TRABAJA CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



LAMPARA LED PARA SEÑALIZACION 120-230 V~ ROJO

CODIGO 625451 / MODELO ND16-22DS/4-R


 [Agregar a favoritos](#)

\$3.90

1    [Agregar a carrito](#)

UNIDAD: CU
CHINT

 Disponible
Despacho a domicilio

 Disponible
Retiro en tienda

Anexo A.8. Toma macho para extensión del horno



BTICINO - Toma para extension macho 15a 120vac curvo polarizado

☆☆☆☆☆

\$3.25 Uni

Anexo A.9. Cilindro gas argón

[INICIO](#)[QUIÉNES SOMOS](#)[PRODUCTOS Y SERVICIOS](#)[APLICACIONES ▾](#)[FORMAS DE SUMINISTRO ▾](#)[CONTÁCTANOS ▾](#)

Oxígeno
Nitrogeno
Acetileno
Aire
Argón
Dióxido de Carbono
Hidrógeno
Helio
Óxido Nitroso
Mezcla de gases

ARGÓN

Símbolo	Ar
Color de identificación del Cilindro	Café
Número de identificación de las Naciones Unidas	UN 1006 (gas comprimido) UN 1951
Válvula	CGA 580

Descripción

El Argón es el más abundante de los gases raros en el aire (0.9 % en vol.). Es incoloro, sin sabor, no es tóxico, ni inflamable. Es un 30 % más pesado que el aire; además es extremadamente inerte, caracterizado por una perfecta estabilidad física y química, a cualquier temperatura y presión. Es un excelente conductor de la electricidad. A presión atmosférica y temperatura inferior de -186 °C es un líquido incoloro, más pesado que el agua.

Uso Industrial

Por ser sumamente inerte aún a temperaturas muy elevadas, el Argón se utiliza principalmente en:

- Soldadura en atmósfera de gas inerte (procesos MIG, TIG, plasma).
- Metalurgia y siderurgia, para tratamientos térmicos en atmósfera protectora, desgasificación y desulfuración, etc.
- En electricidad y electrónica, para relleno de ampolletas, tubos fluorescentes, tubos de radio, etc., en los que previene la oxidación de los filamentos incandescentes.
- En laboratorios especializados es utilizado para aplicaciones en cromatografía.



Anexo A.10. Varilla de plata del 5%

CG COPPER GROUP
Expertos en aire acondicionado y refrigeración

Buscar productos CATEGORÍAS Q

CATEGORÍAS INICIO RECURSOS NOSOTROS EMPLEO REGISTRO SUCURSALES CALCULADORA CONTACTO

PORTADA > PRODUCTOS > VARILLA DE PLATA

Varilla de plata

1. Made in USA
2. Aleación cobre-fosforo
3. Varillas en presentación de 0%, 5% y 15%

Tipo:

- 1 +

[Cotizar producto](#)

SKU: N/D

Categorías: Soldadura, Varilla de plata

Share: f

Anexo A.11. Regulador de gas argón



INFRASAL ES OXGASA
OXGASA ES INFRASAL



INICIO

SECTORES ▾

SERVICIOS ▾

CATÁLOGOS

OFERTAS

CONTACTO ▾

Todos los productos

Aire Comprimido

Automotriz

Bombeo

Construcción

Equipos hidráulicos y neumáticos

Equipos para limpieza

Equipo protección personal

Ferretería

Herramientas

Manejo y movilización de carga

Mecánica industrial

Seguridad vial y señalización

Reguladores para control de gas

Regulador Acetileno



Código: 03210564

Modelo: 801N1.5AC1

Marca: HARRIS



Leer más...

Regulador Acetileno



Código: 03210572

Modelo: 825N1.5AC

Marca: HARRIS



Leer más...

Regulador Argon



Código: 03211166

Modelo: 801D-30F-AR708

Marca: HARRIS



Leer más...

Anexo A.12. Cordón de asbesto aplicaciones y características técnicas



CORDÓN DE ASBESTO

CATEGORIZACIÓN
Sellado estático >
Empaquetaduras

CÓDIGO
EU - FVR

DESCRIPCIÓN

Está hecho de hilo de fibra de asbesto libre de polvo y trenzado en forma redonda, ampliamente utilizado como aislamiento térmico y materiales de sellado en instalaciones térmicas y sistemas de conducción de calor. Se podría fabricar con alambre metálico reforzado bajo pedido.

APLICACIONES

Especial para sellar donde hay gran esfuerzo mecánico, alta temperatura para sellar puertas de hornos, calderas, relleno de juntas de dilatación.

ESPECIFICACIONES

TEMPERATURA

- $\leq 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\leq 1022\text{ }^{\circ}\text{F}$)

DIMENSIONES

- 6.0mm-50mm (0.25"-2")



AGV
AGENCIAS VIBO

Teléfonos:
(508) 2222-0410
(508) 2222-5705
Dirección:
Calle 20 Av. 9 Barrio México,
San José, Costa Rica.

Anexo A.13. Niple galvanizado par ingreso del gas argón al horno



Comprando en
ESTACION DEL CASO
Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar



Iniciar Sesión

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS

PROMOCIONES

OFERTAS EXTREMAS

TIENDAS

CÓMO
COMPRAR EN LÍNEA

TRABAJA
CON NOSOTROS

FONTANERÍA / FONTANERÍA / ACCESORIOS PARA TUBO GALVANIZADO Y PVC



NIPLE GALVANIZADO 1/4 X 3 PLG

CODIGO 5194001 / MODELO B05I

Agregar a favoritos

\$0.69

1

Agregar a carrito

UNIDAD: C/U

Disponible
Despacho a domicilio

Disponible
Retiro en tienda

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- CLASE 150
- HIERRO MALEABLE GALVANIZADO NORMA ASME/ANSI
- ROSCA (NPT) ROSCA CÓNICA ESTÁNDAR ESTADOUNIDENSE PARA TUBOS AUTO-SELLANTES

Anexo A.14. Gabinete industrial y riel Din

Freund Todo tiene solución
Comprando en ESTACION DEL CASCO
Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS PROMOCIONES OFERTAS EXTREMAS TIENDAS CÓMO COMPRAR EN LÍNEA TRABAJA CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



GABINETE INDUSTRIAL 30X25X15 CM METAL IP66 CON PLA

CODIGO 619452 / MODELO AEM3025/150PM

Agregar a favoritos

\$49.00

1

UNIDAD: C/U
ARGOS

Disponible
Despacho a domicilio

Disponible
Retiro en tienda

Freund Todo tiene solución
Comprando en ESTACION DEL CASCO
Seleccionar otra tienda

La Ferretería DE LOS SALVADOREÑOS

Buscar

RETIRE EN TIENDA O SOLICITE A DOMICILIO

DEPARTAMENTOS PROMOCIONES OFERTAS EXTREMAS TIENDAS CÓMO COMPRAR EN LÍNEA TRABAJA CON NOSOTROS

ELÉCTRICO E ILUMINACIÓN / MATERIAL ELÉCTRICO / CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



RIEL DIN PARA BORNERA Y AUTOMATOS SIN AGUJERO

CODIGO 15741730 / MODELO 5ST1141

Agregar a favoritos

\$3.90

1

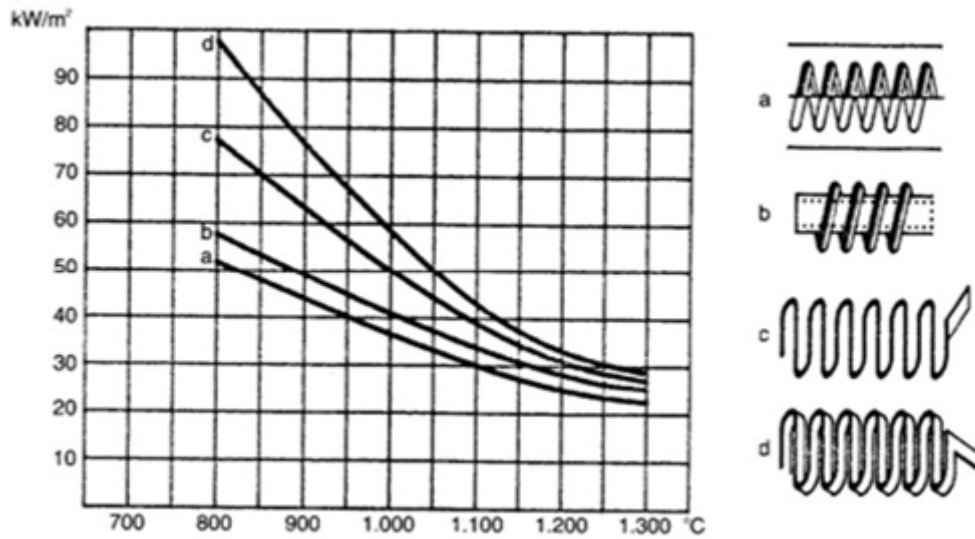
UNIDAD: M
SIEMENS

Disponible
Despacho a domicilio

Disponible
Retiro en tienda

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Anexo A.15. Potencia específica máxima al interior de un horno con resistencias metálicas



- a) Alambre arrollado en espiral o pletina ondulada sobre ranuras
- b) Alambre arrollado en espiral sobre tubos cerámicos
- c) Alambre ondulado y dispuesto verticalmente con soportes de gancho
- d) pletina ondulada y dispuesta verticalmente con soportes de gancho

Anexo A.16. Lámina negra de 1/4 pulg de espesor para base que soporta el horno

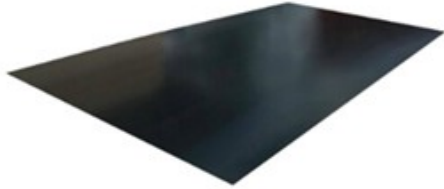


LÁMINA NEGRA 1/4 PLG (6.00 MM) 2X1 M

CODIGO 3603060 / MODELO HRS

 [Agregar a favoritos](#)

\$139.00

UNIDAD: CU



Este producto no está disponible en la tienda seleccionada

[Ver disponibilidad en tiendas](#)

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- CUMPLE NORMA ASTM A 36
- UTILIZADO EN INDUSTRIA, CONSTRUCCIÓN, OBRA Y BANCO, METALMECÁNICA Y ESTRUCTURAS EN GENERAL

ADVERTENCIA DE SEGURIDAD

PARA LA UTILIZACION DE ESTE PRODUCTO SIGA LAS RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD DEL FABRICANTE INCLUIDAS EN LA ETIQUETA O MANUAL DE USO

Anexo A.17. Tubo estructural cuadrado para fabricación de base que soporta el horno



The screenshot shows the EIPA website interface. At the top left is the EIPA logo. A search bar contains the text "Buscar en toda la tienda...". Navigation links include "Productos", "Tiendas", "Ideas", "Promociones", "Los más buscados", "Folleto", "Nuevos", and "Únete al equipo". A location indicator shows "Soyapango" and a shopping cart icon with a red notification bubble. A user login link "Iniciar Sesión" is visible. The breadcrumb trail reads: "Inicio / Productos / Construcción / Hierros y perfiles / Tubería / Estructural / Tubo estructural cuadrado 1-1/4" chapa 16 1.5mm 6m". The product image shows a square structural tube. The product title is "Tubo estructural cuadrado 1-1/4" chapa 16 1.5mm 6m". The price is "\$13⁵⁰". The description is "HIERRO NEGRO CUADRADO CHAPA 16; 1.5MM DE ESPESOR" with code "SV-3005026". A quantity selector is set to "1" and an "Agregar" button is present. Below the product are tabs for "Detalles", "Más información", and "Garantía". A Windows watermark and a WhatsApp icon are also visible.

Tubo estructural cuadrado 1-1/4" chapa 16 1.5mm 6m

\$13⁵⁰

HIERRO NEGRO CUADRADO CHAPA 16; 1.5MM DE ESPESOR
Código: SV-3005026

Cantidad: 1 **Agregar**

Detalles Más información Garantía

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Tubo estructural cuadrado 1-1/4" chapa 16 1.5mm 6m. Tubo estructural negro cuadrado 1-1/4" chapa 16 1.5mm de espesor utilizado en metal mecánica y obra de banco astm a500

Anexo A.18. Rueda giratoria para fabricación de estructura de soporte de horno



The screenshot shows the EIPA website interface for a rotating castor wheel. The product image shows a grey castor wheel with a metal plate and a mounting bracket. The product title is "RUEDA PLANCHA GIRATORIA NYLON 3 PLG". The code is "CODIGO 44606716 / MODELO LSG-75N/E-75N". There is a heart icon and the text "Agregar a favoritos". The price is "\$6.95". A quantity selector is set to "1" and an "Agregar a carrito" button is present. The unit is "UNIDAD: CU" and the brand is "SKK". There are two availability options: "Despacho a domicilio" and "Retiro en tienda". Below the product is a section titled "INFORMACIÓN DEL PRODUCTO" with a bullet point: "RESISTENCIA DE CARGA MÁXIMA 50 KG". A Windows watermark and a WhatsApp icon are also visible.

RUEDA PLANCHA GIRATORIA NYLON 3 PLG

CODIGO 44606716 / MODELO LSG-75N/E-75N

UNIDAD: CU
SKK

Despacho a domicilio
Retiro en tienda

\$6.95

1 **Agregar a carrito**

Agregar a favoritos

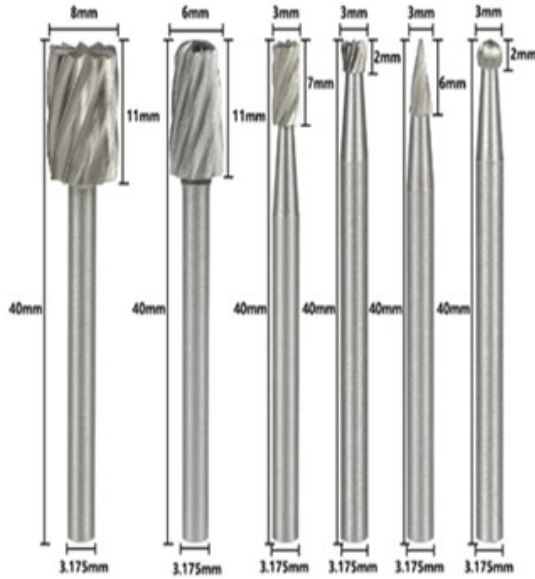
INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

- RESISTENCIA DE CARGA MÁXIMA 50 KG

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Anexo A.19. Brocas enrutadores para fabricación de canal al interior del horno donde van montadas las resistencias eléctricas

SVC49.70 SVC124:16 -60%



Kit de accesorios para herramientas rotativas, 14 piezas, hoja de sierra Circular HSS, enrutador, broca con mandril de taladro, localizador, herramienta de corte de madera

Color: 14pcs



punto de venta

- fuerte e resistente: El diseño de la sierra circular de acero de tungsteno de alta calidad tiene una estructura compacta, un resorte resistente y duradero, que puede proporcionar un corte rápido.
- fácil de usar: El kit de taladro es fácil de usar, solo tiene que colocar en una raia de plástico o en el cañón, luego puede usarlo con una sola mano. La

Act
Ve a

Anexo A.20. Electrodo E 7018 para fabricación de estructura de soporte

ELECTRODO E-7018 HIERRO DULCE 1/8 PULGADA

CODIGO 50500316 / MODELO 217083/WIS 18 S

♥ Agregar a favoritos



\$1.95

1

UNIDAD: 1LB
WEST-ARCO

- Disponble Despacho a domicilio
- Disponble Retiro en tienda

Activar Windows
Ver configuración de Windows

Anexo A.21. Detalles técnicos y características del ladrillo refractario JM



Insulating Firebricks JM



Datasheet Code 1-11-10 S 7/04

MSDS Code

© 2009 Morgan Thermal Ceramics, a business within the Morgan Ceramics Division of The Morgan Crucible Company plc



TIPO

Ladrillo refractario aislante

TEMPERATURA DE CLASIFICACIÓN

1260°C up to 1790°C

TEMPERATURA MÁXIMA DE UTILIZACIÓN EN CONTINUO

La temperatura límite de empleo depende de la aplicación. En caso de duda le recomendamos que contacte con el distribuidor de Morgan Thermal Ceramics el cual le aconsejará.

VENTAJAS

Conductividad térmica muy baja

El poder aislante de los ladrillos JM es muy elevado y ello permite la construcción de paredes de mampostería de pequeño espesor.

Acumulación de calor baja

Debido a su baja densidad y a su conductividad térmica muy baja, la acumulación de calor es mínima, permitiendo reducir significativamente el consumo energético de los hornos intermitentes.

Pureza

El muy bajo contenido en hierro y en fundentes alcalinos confiere a los ladrillos JM una buena resistencia a la deformación en caliente. Su alto contenido en alúmina contribuye a su estabilidad en atmósfera reductora.

Excelente resistencia a la compresión en caliente

Dimensiones muy precisas

Estas permiten una ganancia de tiempo de montaje y juntas delgadas y regulares que aseguran una mejor estabilidad mecánica del revestimiento.

DESCRIPCIÓN

Morgan Thermal Ceramics produce una gama completa de ladrillos refractarios aislantes, cuyas temperaturas de clasificación se sitúan entre 1260°C y 1760°C. La formulación de cada clase de ladrillos corresponde a exigencias termomecánicas específicas.

Los ladrillos JM son fabricados a partir de caolines muy puros, enriquecidos con alúmina en las versiones cuyas temperaturas de clasificación son más elevadas. Una carga orgánica de granulometría precisa, que se elimina durante la cocción de los ladrillos, crea una estructura porosa uniforme y controlada.

Cada ladrillo es rectificado en sus seis caras después de su cocción.

Morgan Thermal Ceramics ha desarrollado cementos de unión especialmente adaptados a las diferentes clases de ladrillos.

Posibilidad de grandes formatos (losas)

230 x 610 x 64, 230 x 610 x 76 y 250 x 640 x 64 mm. Estos formatos permiten el mecanizado de piezas especiales y la disminución del número de ladrillos y de juntas para algunos revestimientos.

Embalaje de diseño especial

Un embalaje en cajas de cartón (conteniendo entre 4 y 25 piezas según el formato) protege los ladrillos durante su transporte y facilita su manipulación en obra.

APLICACIONES

Los ladrillos JM son utilizados como revestimiento de primera capa (exposición directa al foco de calor) o de segunda capa detrás de los materiales refractarios densos en hornos intermitentes, hornos túnel, conductos de humos, regeneradores, gasógenos, hornos fosa, reactores y otros equipos industriales funcionando a alta temperatura.

PIEZAS ESPECIALES

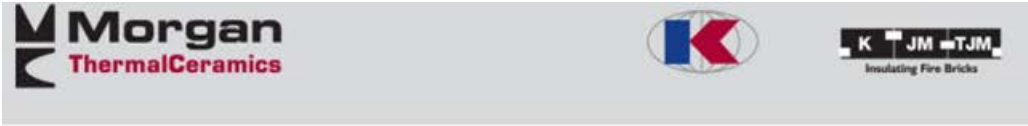
Además de los formatos estándar disponibles, Thermal Ceramics realiza piezas especiales, siguiendo las especificaciones del cliente

Los bloques para obtener piezas grandes se consiguen por el pegado de losas con los cementos de unión de Thermal Ceramics. Teniendo en cuenta las dimensiones de las losas, el número de juntas del ensamblaje es limitado.

Para cualquier consulta de piezas especiales, sírvanse contactar con su distribuidor Morgan Thermal Ceramics quien les asesorará.

Continúa.

Continuación.- Anexo A.21. Detalles técnicos y características del ladrillo refractario JM



Insulating Firebricks JM



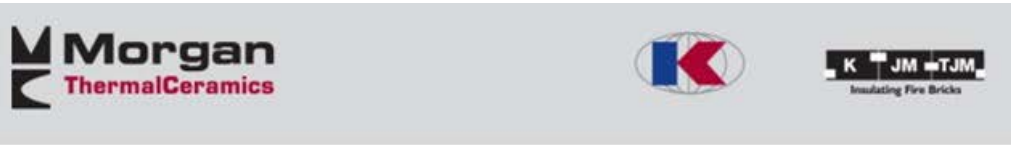
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

		JM 23	JM 26	JM 28	JM 30	JM 32	Insalcor*
Clasificación ISO 2245		125 0.5L	140 0.8L	150 0.9L	160 1.0L	170 1.2L	180 1.3L
Temperatura de clasificación	°C	1260	1430	1540	1650	1760	1790
Características a temperatura ambiente (23°C/50% humedad relativa)							
Densidad media (ASM C-134-84)	kg/m ³	480	800	890	1020	1250	1310
Módulo de rotura (ASTM C-93-84)	MPa	1.0	1.5	1.8	2.0	2.1	3.1
Resistencia a la compresión (ASTM C-93-84)	MPa	1.2	1.6	2.1	2.1	3.5	6.3
Prestaciones a alta temperatura							
Contracción lineal permanente inmerso durante 24 h a la temperatura de (ASTM C-210)							
1230°C	%	-0.2	-	-	-	-	-
1400°C	%	-	-0.2	-	-	-	-
1510°C	%	-	-	-0.4	-	-	-
1620°C	%	-	-	-	-0.8	-	-
1730°C	%	-	-	-	-	+0.6	+0.4
Expansión lineal reversible máxima	%	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1
Resistencia a la compresión en caliente durante 90 min (% de deformación) (ASTM C-16)							
1100°C at 0.034 MPa (5psi)	%	0.1	-	-	-	-	-
1260°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	0.2	0.1	-	-	-
1320°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	0.2	0.1	-	-
1370°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	0.5	0.2	-
1450°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	-	-	+0.1
Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:							
400°C	W/m.K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49	0.79
600°C	W/m.K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50	0.81
800°C	W/m.K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51	0.90
1000°C	W/m.K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53	1.03
1200°C	W/m.K	-	0.35	0.38	0.42	0.56	1.17
1400°C	W/m.K	-	-	-	-	0.60	1.32
Calor específico 1000°C	kJ/kg.K	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

The values given herein are typical values obtained in accordance with accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Therefore, the data contained herein should not be used for specification purposes. Check with your Thermal Ceramics office to obtain current information.

Continúa.

Continuación.- Anexo A.21. Detalles técnicos y características del ladrillo refractario JM



Insulating Firebricks JM

		JM 23	JM 26	JM 28	JM 30	JM 32	Insalcor*
Composición química (sobre producto calcinado) (tr = trazas)							
Al ₂ O ₃	%	37.0	58.0	67.1	73.4	77.0	77.0
SiO ₂	%	44.4	39.1	31.0	25.1	21.5	21.0
Fe ₂ O ₃	%	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.4
TiO ₂	%	1.2	0.1	0.1	0.1	tr	0.6
CaO	%	15.2	0.1	0.1	tr	tr	tr
MgO	%	0.3	0.2	0.1	tr	0.1	tr
Na ₂ O + K ₂ O	%	1.1	1.7	0.9	0.9	0.9	0.2

Embalaje

Los ladrillos JM son embalados en cajas de cartón, sobre palets recubiertos con un filme plástico temorretráctil.

L1	Número de ladrillos por caja														Esp.
	no L2														
	110	114	124	152	165	172	178	187	220	230	25	305	610	640	
220	25	-	-	-	16	-	-	-	12	-	-	-	-	-	60
230	-	25	-	20	-	20	16	-	-	15	-	10	5	-	64
230	-	20	-	16	-	16	13	-	-	12	-	8	4	-	76
250	-	-	25	-	-	-	-	16	-	-	12	-	-	5	64

The values given herein are typical values obtained in accordance with accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Therefore, the data contained herein should not be used for specification purposes. Check with your Thermal Ceramics office to obtain current information.

Anexo A.22. Detalles técnicos y características de la manta cerámica



Superwool® Plus Blanket



Datasheet Code EU: 11-5-01 S

MSDS Code : S-105-12-EURO REACH

© 2009 Morgan Thermal Ceramics, a business within the Morgan Ceramics Division of The Morgan Crucible Company plc



DESCRIPCIÓN

La manta Superwool® Plus™ Blanket está producida a base de fibras largas Superwool® Plus™, estando disponibles en una amplia gama de espesores y densidades. Tiene unas excepcionales propiedades aislantes a temperaturas elevadas. La manta Superwool® Plus™ posee una excelente estabilidad térmica además de conservar su estructura fibrosa original hasta la temperatura de clasificación.

Están punzadas por ambas caras y poseen gran resistencia, antes y después del calentamiento. La manta Superwool® Plus™ Blanket no contiene aglomerantes ni lubricantes, y no desprende humos u olores durante su primer calentamiento.

Las mantas son flexibles y fáciles de cortar, manipular e instalar.

Son perfectas para usos industriales a temperaturas hasta los 1100°C.

TIPO

Manta producida con lana para aislamiento para alta temperatura.

TEMPERATURA DE CLASIFICACIÓN

1200°C / 2192°F EN 1094-1

Morgan Thermal Ceramics ha dispuesto que la temperatura máxima de uso continuo sea de 1000°C en atmósfera oxidante. Otros fabricantes de fibras bio-solubles con la misma química afirman que sus fibras pueden soportar el uso hasta 1200°C durante cortos períodos de tiempo. Morgan Thermal Ceramics ha investigado este posible uso a temperaturas superiores a los 1100°C y ha concluido que hay riesgo de fallo. Los detalles de esta investigación están disponibles en el document HECHOS 607: Seguridad versus Riesgo.

Para temperaturas de uso continuo por encima de los 1000°C, Morgan Thermal Ceramics recomienda emplear la fibra Superwool® 607 HT™, cuya temperatura de clasificación es de 1300°C.

En caso de duda, le rogamos contacte la oficina de Morgan Thermal Ceramics para cualquier verificación.

VENTAJAS

- Excelentes prestaciones aislantes.
- Carecen de aglomerantes o lubricantes.
- Estabilidad térmica.
- Baja absorción de calor.
- Buena resistencia al rasgado.
- Flexibles y resistentes.
- Resistentes al choque térmico.
- Buena absorción de ruidos.
- Exonerado de cualquier clasificación cancerígena bajo la nota Q de la directiva 97/69 EC
- Exonerado de cualquier restricción de uso bajo el anexo V número 7.1 de la regulación alemana de sustancias peligrosas (TRGS 905)

SUPERWOOL® is a patented technology for high temperature insulation wools which have been developed to have a low bio persistence (information upon request). This product may be covered by one or more of the following patents, or their foreign equivalents:- SUPERWOOL® PLUS™ products are covered by patent numbers:- US5714421, US5994247, US6180546, US7259118, and EP0621858. SUPERWOOL® 607HT™ products are covered by patent numbers:- US5955389, US6180546, US7259118, US7470641, US7651965, US7875566, EP0710628, EP1544177, and EP1725503. A list of foreign patent numbers is available upon request to The Morgan Crucible Company plc.

Continúa.

Continuación.- Anexo A.22. Detalles técnicos y características de la manta cerámica



Superwool® Plus Blanket



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Temperatura de clasificación	1200°C
Propiedades medidas a temperatura ambiente (23 °C/50 % RH)	
Color:	blanco
Densidad:	64, 80, 96, 128, 160 kg/m ³ (4, 5, 6, 8, 10) lbs/ft ³
Resistencia a la tracción (EN 1094-1):	128 kg/m ³ 75 kPa
Rendimiento a temperatura elevada	
Contracción lineal permanente (EN 1094-1) después de 24 horas de calentamiento isotérmico a 1200°C.	% 1%

La conductividad térmica se ha medido usando la norma ASTM C201. En el año 2006, los métodos de la norma EN 1094-1 para medir la conductividad térmica se han abandonado ya que sus resultados no pueden compararse a los del original C201.

		Conductividad Térmica (ASTM C-201):			
Temperatura Media (BTU.in/hr/ft ² /°F)		64 kg/m ³ 4 lbs/ft ³	80 kg/m ³ 5 lbs/ft ³	96 kg/m ³ 6 lbs/ft ³	128 kg/m ³ 8 lbs/ft ³
200°C	392 °F	0.06 (0.42)	0,06 (0,42)	0,05 (0,35)	0,05 (0,33)
400°C	752 °F	0.11 (0.76)	0,09 (0,62)	0,09 (0,62)	0,08 (0,55)
600°C	1112 °F	0.18 (1.24)	0,15 (1,04)	0,14 (0,97)	0,12 (0,83)
800°C	1472 °F	0.29 (2.00)	0,24 (1,66)	0,21 (1,46)	0,18 (1,25)
1000°C	1832 °F	0.42 (2.9)	0,36 (2,49)	0,29 (2,01)	0,25 (1,73)

Composición Química

SiO₂: 62-68%
CaO: 26-32%
MgO: 3-7%
Other: <1%

Disponibilidad y Embalaje

Las mantas Superwool® Plus™ están embaladas en cajas de cartón, en palet de 1260 x 940mm, con plástico retráctil.

Espesor mm	64 kg/m ³	80 kg/m ³	96 kg/m ³	128 kg/m ³	160 kg/m³	Longitud mm	Ancho mm	m ² /caja
6				X		4 x 5500	610	13.42
10			X	X		18500	610	11.28
13		X	X	X	X	14640	610	8.93
19	X	X	X	X	X	9760	610	5.95
25	X	X	X	X	X	7320	610	4.46
38	X	X	X	X		4880	610	2.98
50	X	X	X	X		3660	610	2.23

Los (○) y ancho de 1220mm previa solicitud (sujeto a los requerimientos de pedidos mínimos).

Los valores dados aquí son valores medios típicos conforme a métodos de ensayo aceptados y están sujetos a las variaciones de fabricación normales. Se facilitan como un servicio técnico y están sujetos a cambios sin previo aviso. Por lo tanto, los datos contenidos aquí no deberán usarse para fines de especificación. Consulte con su oficina de Morgan Thermal Ceramics para obtener información actualizada.

Anexo A.23. Lámina negra para la cubierta del horno

 **Freund**
Todo tiene solución

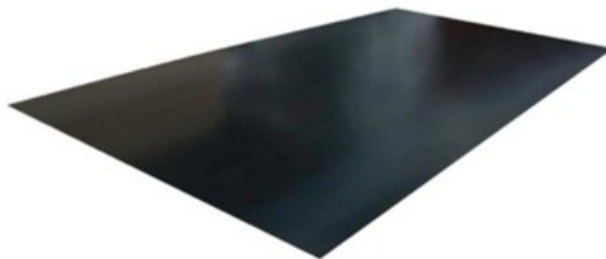
Comprando en
AUTOPISTA
Seleccionar otra tienda

Buscar 

 DEPARTAMENTOS

RETIRE EN TIENDA O
SOLICITE A DOMICILIO

CONSTRUCCIÓN / LÁMINAS INDUSTRIALES
/ **LAMINA NEGRA**



1 / 1

**LÁMINA NEGRA 3/32 PLG (2.38
MM) 2X1 M**

CODIGO 11706860 / MODELO HRS

 Agregar a favoritos

\$55.90

 1   

Anexo A24: Cotización de acero para modificaciones de la máquina de ensayos



ABASTECEDORA INDUSTRIAL, S.A. de C.V.



04/03/2024

- ALUMINIO 6061 T6
- REDONDO
- PLETINA
- CUADRADO
- LAMINA
- VCN 150 VEW 155
- ACERO AMUTITS
- ACERO PLATA
- ACERO INOXIDABLE
- ACERO 1045
- ACERO PARA CEMENTAR
- EJE DE TRANSMISION 1020
- BARRA PERFORADA
- HIERRO FUNDIDO (EXTRANJERO)
- BRONCE FOSFORICO
- BRONCE GRAFITADO
- POLVO PARA CEMENTAR
- FIBRA FENOLITICA
- NYLON
- TEFLON VIRGEN
- POLEAS DE ALUMINIO
- LAMINA DE HIERRO
- ANGULO DE HIERRO
- PLASTICOS DE INGENIERIA
- NYLAMID M
- NYLAMID SL
- NYLAMID XL
- NYLAMID 901
- NYLAMID RA
- REPUESTOS Y SERVICIOS

SRES. DIEGO ROLIN

ATT COMPRAS

POR ESTE MEDIO LE ESTAMOS SALUDANDO Y DESEANDOLE QUE TENGAN EXITOS EN SUS LABORES COTIDIANAS, Y A LA VEZ LE ESTAMOS ENVIANDO LA SIGUIENTE OFERTA,

ITEM		DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	
1	4	ACERO 1020 RED. 7/8" X 395MM	\$ 11.00	\$ 44.00
2	1	PLATINA ACERO 1020 1" X 4" X 380MM	\$ 157.50	\$ 157.50
3	1	PLATINA ACERO 1020 3/4" X 6" X 380MM	\$ 220.00	\$ 220.00
4				
5		UNICAS OPCIONES		
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
			SUB TOTAL	\$ 421.50
			13% IVA	\$ 54.80
			TOTAL	\$ 476.30

LA CALIDAD NOS DISTINGUE

CONDICIONES.

- A- SERVICIO A DOMICILIO
- B- ENTREGA INMEDIATA
- C- FORMA DE PAGO:
- D- VALIDEZ DE OFERTA 8 DIAS

PUESTO EN ABASTEINSA

1/2 HORA
CONTADO



MORENA HENRIQUEZ

VENTAS

ventas@abasteinsa.com

PBX 22 71 0999

**CALLE GERARDO BARRIOS N° 1230 SAN SALV.
FRENTE A FABRICA DELICIA Y TALLERES SARTI.**

ANEXOS B. MANUALES

ANEXO B.1. MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA ALTAS TEMPERATURA CON SISTEMA DE ATMÓSFERA INERTE DE GAS ARGÓN



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO PARA ALTAS
TEMPERATURA CON SISTEMA DE ATMÓSFERA INERTE DE GAS ARGÓN**

I. Información de seguridad del horno tubular vertical

Las advertencias en este manual estarán marcadas con este símbolo, para hacer ver al lector la importancia de tomarlas en consideración y con la seriedad



necesaria.

Descargas eléctricas



Para evitar descargas eléctricas de este horno el operador debe acatar las siguientes recomendaciones:

- 1) Utilice un tomacorriente eléctrico correctamente conectado a tierra y de capacidad adecuada para el manejo de voltaje y corriente.
- 2) Desconectar de la fuente de alimentación antes del mantenimiento y servicio.

Para evitar lesiones personales:







- ✓ No utilizar en presencia de sustancias inflamables o combustibles Se podría producir un incendio o una explosión. Este dispositivo contiene componentes que pueden encender dichos materiales.
- ✓ Consulte el servicio a personal calificado

II. Normas de seguridad

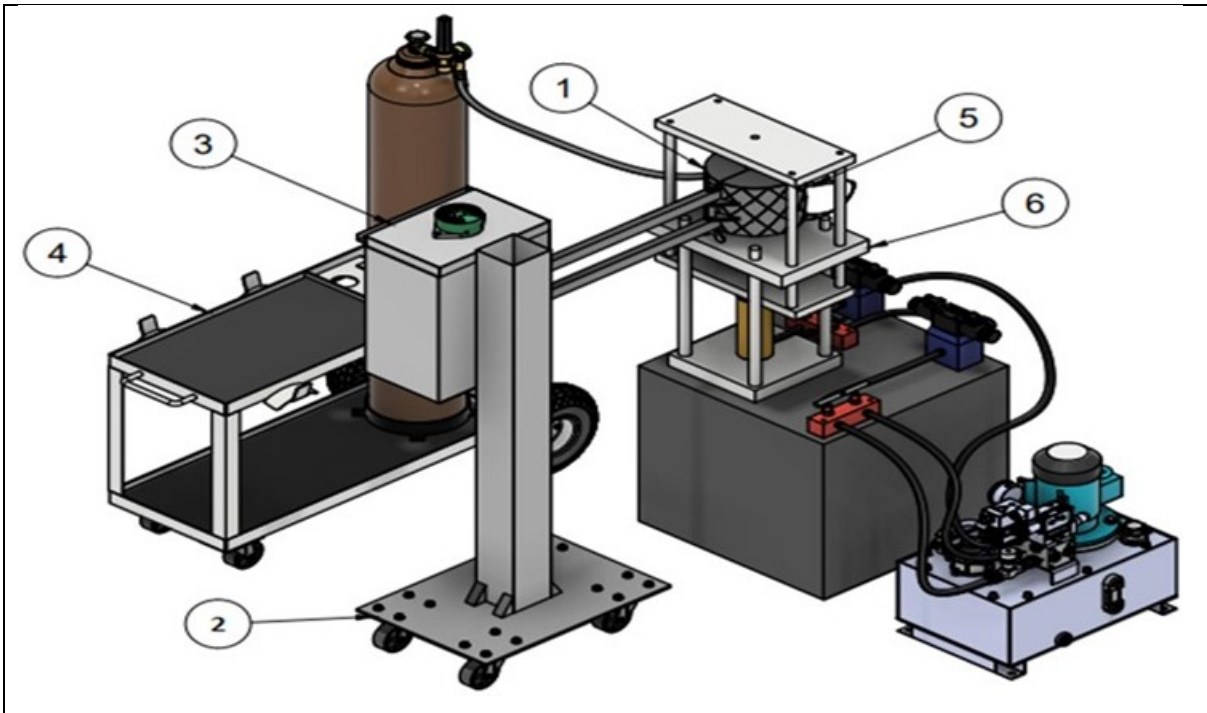
La instalación, ajuste, alteración, servicio o mantenimiento inapropiados pueden causar daños materiales, lesiones personales o incluso la muerte. Lea detenidamente las

instrucciones de operación, mantenimiento e instalación antes de reparar u operar este equipo.

III. Pictogramas

Use gafas protectoras.	
Use guantes protectores.	
Use calzado de protección.	
Las superficies calientes le alertan sobre la posibilidad de daños personales o lesiones, evitar el contacto directo con las superficies externas e internas durante el uso o después del uso del horno.	
No se acerque con las partes de la máquina cuando este en movimiento.	
No manipule ninguna de las partes de la máquina hasta que esté completamente parada.	

IV. Componentes del sistema horno-máquina de ensayos





- 1) **Horno para alta temperatura:** al interior cuenta con la cámara de calentamiento donde se colocará la muestra a ensayar.
- 2) **Estructura metálica que soporta el horno y el panel de control:** permite el desplazamiento efectivo del horno hacia la máquina de ensayos, además en ella está empotrada la caja del panel de control.
- 3) **Panel de control:** ubicación de los controles de operación del horno, refiérase a la sección del manual de operatividad, para obtener más información.
- 4) **Sistema de atmósfera inerte:** proporciona el suministro de gas al interior de la cámara del horno.
- 5) **Termocupla:** mide las variaciones de temperatura al interior de la cámara y las transforma a señales eléctricas que son interpretadas por el sistema electrónico.
- 6) **Máquina de ensayos de tracción con sistema de instrumentación:** estructura donde se coloca la probeta por medio de mordazas.

V. Especificaciones generales del horno

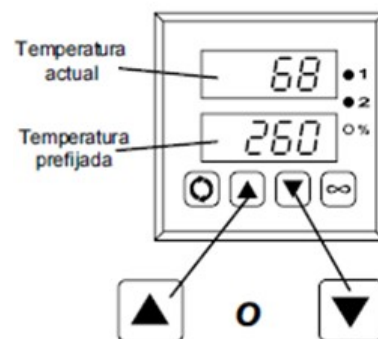
Peso, N	20.63
Entrada nominal de calor, W	451.8
Voltaje/frecuencia/polos	110 V/60 Hz/3
Corriente a través de las resistencias, A	4.48
Temperatura de operación, °C	100 - 800
Dimensiones alto x ancho mm	152 x 97

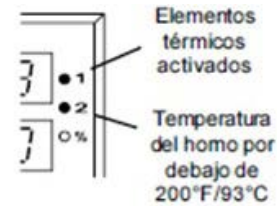
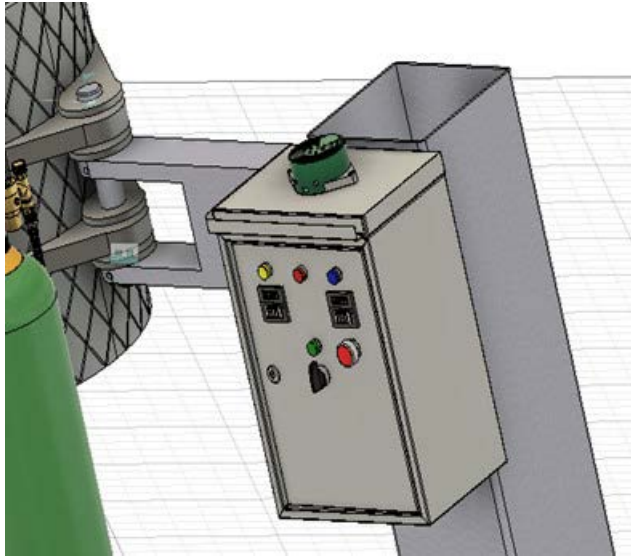
VI. Operación del horno eléctrico para altas temperatura con sistema de atmósfera inerte de gas argón

A. Previo a la puesta en marcha se debe tener en consideración lo siguiente	
Pasos por seguir:	
<ol style="list-style-type: none"> 1) Utilizar equipo de protección 2) Inspeccionar el sistema de alimentación 3) Inspeccionar la correcta apertura o cierre del horno 4) inspeccionar presencia de fuga o avería en el regulador del tanque de gas argón 4) Despejar el área alejando personas y objetos que sobre todo podrían ser inflamables 5) Trabajar con la iluminación adecuada 	
Utilizar equipo y vestimenta adecuada	<p>Use siempre guantes de cuero para la manipulación del horno. Use calzado adecuado, ya que, en caso de que se caiga algún elemento de la máquina no provoque algún daño personal. No use anillos o joyas que se podrían atascar en la máquina. Utilice camisa siempre con el cuidado que la manga no se puede atorar en alguna parte de la máquina.</p> <p>No use nunca joyas. En el caso de usar cabello largo, se debe recoger para evitar se atore con algún componente.</p>
Inspección de la abertura y cierre adecuado	Verificar que no haya presencia de objetos que obstruya el sistema de cierre del horno, además verificar que el sello de hermeticidad este correctamente ubicado para evitar alguna fuga de gas y

	garantizar que se cumplan las condiciones de calor requeridas al interior de la cámara.
Iluminación	Se debe hacer uso de la máquina en un ambiente muy iluminado para evitar cualquier inconveniente o accidente
Espacio de trabajo	Despejar los alrededores de la máquina vulcanizadora de personas y objetos que podrían ser inflamables.
Fugaz en el regulador de gas	Verificar la existencia de alguna fuga del gas en los acoples, estado de la manguera y que el regulador funcione correctamente
B. Operar horno eléctrico	
	Se debe haber leído y realizados los pasos del apartado de seguridad A, así se puede operar el horno.
Para accionar el horno:	
<ol style="list-style-type: none"> 1) El operador de la máquina debe conectar la línea de alimentación. 2) El operador debe verificar que la temperatura se comience a elevar en las resistencias. 3) Controlar que la temperatura llegue a la programada 4) Ya que se trata de una máquina de acción manual, el operario debe ser el encargado de verificar del buen funcionamiento del horno. 	
	Advertencia: Manténgase en la posición del operador. No se aleje de la máquina mientras está en funcionamiento.
Para evitar daños al regulador de la válvula de control durante el encendido inicial del gas, es muy importante abrir la válvula de cierre manual muy lentamente	

Ubicación y descripción del controlador digital de temperatura

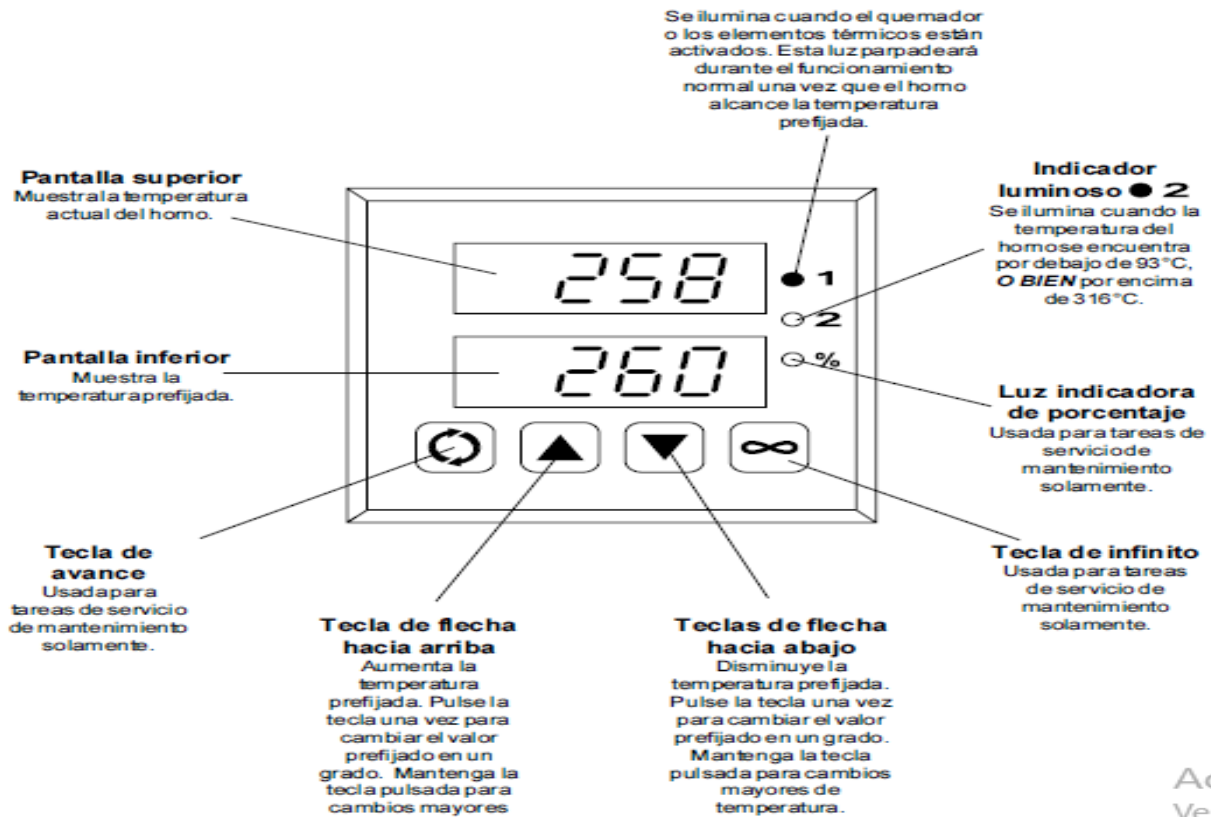




Vigila continuamente la temperatura del horno. Los ajustes en el controlador de digital temperatura controlan la acción de las resistencias o elementos térmicos. Los controles del teclado permiten que el operador seleccione la temperatura deseada y que vigile el funcionamiento del horno.

Operación normal paso a paso del controlador

- 1) Pulse el botón ▲ o ▼ botones del controlador digital de la temperatura para ajustar la temperatura prefijada si fuese necesario.
Observe que la temperatura prefijada se presenta en la ventana inferior de la pantalla, mientras que la temperatura actual del horno se presenta en la ventana superior.
- 2) Compruebe si se enciende el indicador luminoso “1”. Esto indica que las resistencias eléctricas se han activado.
- 3) El indicador luminoso “2” se iluminará mientras el horno se calienta a su temperatura de operación mínima normal 93 °C.
- 4) Espere a que el horno se caliente a la temperatura prefijada. Las temperaturas prefijadas más altas requieren una espera más larga. El horno puede alcanzar una temperatura de 232 °C en aproximadamente 15 min.
- 5) Permita que el horno se caliente durante unos 10 min una vez haya alcanzado la temperatura prefijada.



C. Paro del horno

Siga estos pasos para parar el horno

Solo es necesario desconectar la alimentación eléctrica



Advertencia: después de haber parado el horno, no la manipule, ya que, la temperatura de la superficie externa va tardar en bajar

En caso de un fallo en el suministro eléctrico, coloque todos los interruptores en posición de apagado, retire la muestra a ensayar. Una vez que se haya restablecido la electricidad, lleve a cabo de procedimiento normal de encendido.

**ANEXO B.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL HORNO
ELÉCTRICO Y EQUIPOS DE ATMÓSFERA INERTE GAS ARGÓN**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL HORNO ELÉCTRICO

Sistema de actividades preventivas de frecuencia periódica		
Frecuencia: Mensual, Cada 6 meses.	Tiempo estimado: 1 día para frecuencia mensual 2 día para frecuencia cada 6 meses	Ejecutor del trabajo: Estudiantes de ingeniería mecánica
Nombre de elementos: Horno eléctrico, Circuito eléctrico, Sistema de control de temperatura, Estructura, y Instrumentación y accesorios del cilindro de gas argón		Frecuencia: Mensual, Semestral.

I. ALCANCE DEL TRABAJO A REALIZAR

Verificación del estado de los equipos involucrados con el fin de disponer de ellos cuando sea requerido y disminuir su degradación con el tiempo:

- 1) Limpieza de estructura y equipo en general
- 2) Inspección de la resistencia calefactora
- 3) Inspección de la termocupla
- 4) Inspección del sello de asbesto
- 5) Verificar correcto funcionamiento de componente eléctricos (contactores, relé, temporizadore, borneras, conductores)
- 6) Revisión de estructura de soporte del horno (bisagras, soldadura, cierre de la puerta del horno)
- 7) Inspección del regulador de gas, revisión de manguera y acoples.

II. ACTIVIDADES POR REALIZAR

Las siguientes tareas se desarrollarán de forma lógica para conservar en condiciones de operación segura y efectiva cada componente de la máquina. Es importante verificar que el equipo esté alimentado al realizar las tareas, excepto para las que necesite su conexión.

Frecuencia mensual

- 1) Reapriete de pernos de la estructura y conexión de la manguera de cilindro de gas
- 2) Verificación de estado de válvula de cierre y apertura del cilindro de gas
- 3) Limpieza externa de equipo eléctrico
- 4) Inspección de cable eléctrico

Frecuencia cada seis meses

- 1) Inspección visual de seguros de cierre del horno y limpieza exterior de la estructura(carcasa)
- 2) Inspección visual del estado del estado de la resistencia calefactora (grietas, roturas, marcas de que maduras en el elemento) tener cuidado al momento de manipular la resistencia se vuelve frágil con el uso.
- 3) Inspección del estado del punto caliente de la termocupla, verificar la sensibilidad a los cambios de Temperatura, medir con un multímetro la corriente de salida (tener cuidado con no golpear la punta del sensor ya que este puede sufrir daño y ocasionar lecturas erróneas o dañarse en su totalidad)
- 4) Verificar el estado del sello de asbesto (cortado, cristalizado)
- 5) Verificar el estado de los elementos eléctricos (prueba de continuidad entre los terminales de los elementos de control, estado de los bornes, limpieza con aire comprimido y aplicación de desengrasante en la parte carcasa de los elementos de control.
- 6) Inspección y revisión de estado de brazo porta bisagras y bisagras.
- 7) Revisión de fugas en acoples, buen funcionamiento del manómetro, caudalímetro y manquera del regulador.

III. MATERIALES Y HERRAMIENTAS POR UTILIZAR

- 1) Brocha
- 2) Wipper
- 3) Limpiador en espuma
- 4) juego de destornilladores Philips y planos
- 5) Cinta teflón
- 6) multímetro
- 7) juego de llaves
- 8) Limpiador de contactos
- 9) tenaza pelacables

IV. MEDIDAS DE SEGURIDAD A CONSIDERAR

- 1) Uso de equipo de seguridad adecuado por parte de quien ejecutará el mantenimiento como: las botas de seguridad, guantes de nitrilo y de piel de res, lentes de protección claros.
- 2) Asegurarse que el equipo este desconectado previo a la intervención de la máquina
- 3) Disponer de señalizaciones que indiquen que la máquina se encuentra indisponible por mantenimiento.

ANEXO B.3. MANUAL DE ENSAMBLE DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MANUAL DE ENSAMBLE DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS

El manual de ensamble de la máquina de ensayos sirve como guía para orientar cómo se debe armar la máquina con las piezas nuevas que se han propuesto cambiar a la máquina para realizar los ensayos de tracción a alta temperatura.

a) Componentes de instalación

Los componentes por instalar en la máquina de ensayos de tracción se presentan en la Tabla B.3.1. Para estas nuevas piezas se consideraron los cambios propuestos en el trabajo de graduación sobre los componentes para la instrumentación de la máquina y se podrá colocar los instrumentos propuestos en el mismo trabajo también (para instalar los respectivos manuales en dicho trabajo).

Tabla B.3.1. Componentes por instalar en propuesta de diseño.

Nombre	Cantidad
Porta mordaza superior	1
Placa fija superior	1
Placa móvil inferior	1
Placa móvil superior	1
Barras móviles	4

✓ Preparación de la máquina de ensayos

Se deben retirar primero de la máquina de ensayos, las placas móviles y placa fija superior, se debe desacoplar el cilindro hidráulico solamente de la placa móvil inferior. Claramente retirar estos componentes también implica desmontar la porta mordazas de pruebas de tracción como de compresión, así como también las barras móviles.

✓ Instalación de la placa fija superior

Siga los siguientes pasos para la instalación de la palca fija superior:

- 1) Como las barras fijas ya se encuentran colocadas, ahora se debe posicionar la placa fija superior haciendo coincidir los agujeros de esta, para introducir las barras fijas.
- 2) Colocar arandelas y luego las 4 tuercas con las que se sujeta cada una de las barras fijas a la placa. Para llegar al torque de apriete de 160 N·m que no cambia con respecto a la máquina de ensayos que ya se tiene, se debe hacer por tramos, es necesario usar torquímetro y se debe ir alternando entre las tuercas como recomendación.

✓ Instalación de la placa móvil inferior, barras y placa móviles superior.

Siga los siguientes pasos para la instalación:

- 1) Colocar la nueva placa móvil inferior apoyada sobre el cilindro hidráulico, previamente y si es necesario colocar el asiento semiesférico, donde se coloca la base para la probeta para las pruebas de compresión. Colocar apoyos en la placa en esta operación, hasta que se hallan sujetado ambas placas móviles.
- 2) Colocar atravesando los agujeros guía de la placa fija superior, las 4 barras móviles. Luego alinear los agujeros de la placa móvil con los de las barras.
- 3) Colocar arandelas y los pernos M10 de las 4 barras, aunque sin terminar de apretar solo para que se sostengan.
- 4) Colocar la placa móvil superior y alinear con los agujeros de las barras móviles.
- 5) Colocar las 4 arandelas y pernos que sujetaran a la placa móvil superior en este paso también sin terminar de apretar.
- 6) Ahora se apretarán ambos pernos en cada barra con dos llaves de 11 mm, hasta lograr el torque de apriete de 16.67 N·m con torquímetro, como en la máquina ya se tiene, el torque se debe aplicar en ambos pernos por tramos y en las 4 barras, se sigue una secuencia de cruzada.

✓ Instalación de sensor de fuerza

El sensor de fuerza se ubicará entre la porta mordaza superior y la placa móvil superior como se presenta en la Fig. B3.1, la sujeción del sensor es por medio de una unión roscada ya incluida en su diseño [22].

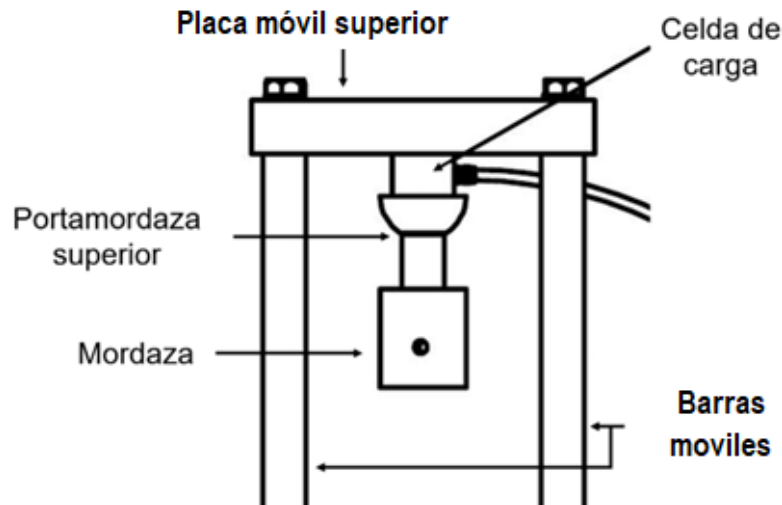


Fig. B.3.1. Configuración del sensor de fuerza.

Siga las siguientes instrucciones para la instalación del sensor de fuerza:

- 1) Enrosque la porta mordaza superior al extremo roscado inferior del sensor de fuerza.
- 2) Enrosque el extremo superior del sensor de fuerza a la placa móvil superior desde la parte inferior de la misma hasta obtener un apriete adecuado.

RECOMENDACIÓN: instalado el sensor de fuerza en la máquina con su conexión eléctrica se procede a realizar la tara de la misma, ejecutando el código "tara de sensor de fuerza" en la tarjeta Arduino [22].

✓ Instalación de la porta mordazas inferior para prueba de tracción

- 1) Se coloca la porta mordaza inferior para prueba de tracción sujeta con el anillo para sujeción de la porta mordaza y se alinean los 4 agujeros con los que cuenta con los agujeros en la placa fija.
- 2) Se colocan las 4 arandelas y pernos M10 con y se aprietan con cuidado en orden cruzado haciendo varias pasadas hasta alcanzar el torque de apriete requerido de 17.58 N·m

✓ Instalación del apoyo superior para prueba de compresión

- 1) Se coloca el apoyo superior junto con su anillo sujetador, de este se alinean los 3 agujeros con los que cuenta con los agujeros en la placa fija superior.

- 2) Se colocan las 3 arandelas y pernos M5, del anillo que sostendrá al apoyo, luego se aprietan hasta lograr el torque requerido de 2.04 N·m, esto se debe hacer con cuidado y de forma alternada en cada perno, hasta alcanzar el torque requerido.

ANEXO B.4. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO PARA LA MÁQUINA DE ENSAYOS



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO PARA LA MÁQUINA DE ENSAYOS

El manual de construcción del horno para la máquina de ensayos sirve de guía para orientar cómo se deben preparar las piezas y como armar el horno propuesto para la máquina para realizar los ensayos de tracción a alta temperatura.

A) Componentes por utilizar

Los componentes por utilizar para la construcción del horno se presentan en la Tabla B.4.1.

Tabla B.4.1. Componentes a usados en la propuesta de diseño.

Nombre	Cantidad
Carcaza metálica	1
Manta cerámica aislante	1
Ladrillo refractario	1
Empaque de cuerda de asbesto	1
Niple	1
Termocupla	1

B) Elaboración de las piezas semicilíndricas de ladrillo refractario

- 1) Como los ladrillos son cuadrados cuando se adquieren se les debe dar la forma semicilíndrica requerida para cada una de las dos partes del horno, la altura de la pieza de refractario es de 147.72 mm que se debe cortar para obtenerlo, el diámetro del semicilindro es de 112 mm, y el radio por tanto es de 56 mm. Se debe cortar con cuidado esta pieza de refractario. Empleado un disco de corte para concreto en una esmeriladora, la forma circular se puede lograr cortando en tramos rectos, tangentes a la circunferencia externa de la pieza.
- 2) Una vez obtenido el semicilindro se corta en el contorno superior e inferior de la cara interior, un saque donde estará colocado un sello cuando se arme el horno. Este corte tiene 8 mm de ancho por 4 mm de profundidad (ver planos Anexo C).

- 3) En una de las piezas obtenidas refractario derecho se deben realizar tres agujeros a los ángulos y altura especificada en los planos esto se puede realizar en un taladro de banco, colocando la pieza adecuadamente y empleado una broca para concreto de ¼ pulg y una para realizar un agujero de 1 mm de ser posible, hacer los agujeros a bajas revoluciones por ejemplo 360 rpm.
- 4) Realizar el corte cilíndrico interior a ambas piezas con la esmeriladora anteriormente empleada esto se logra haciendo cortes en tramos perpendiculares a la cara interna que llegan hasta el contorno de la pared cilíndrica interna que se quiere lograr, se debe hacer con cuidado y requiere un poco de habilidad por parte de la persona para lograr el acabado final.
- 5) Realizar el ranurado a las piezas de refractario, donde se colocarán las resistencias del horno en la forma y separación que se presenta en los planos. Esto se puede realizar con un taladro y usando una broca enrutador del diámetro requerido, en un proceso cuidadoso para lograr obtener unas ranuras uniformes, en profundidad.

C) Elaboración de la capa de manta cerámica aislante de alta temperatura

- 1) Esta parte del horno no es difícil de obtener, se debe respetar las dimensiones mostradas en los planos para lograr la forma semicilíndrica usada para ambos lados del horno. Se corta la manta cerámica para obtener un ancho de 148 mm casi la altura del horno pues solo se agrega el espesor de la carcasa metálica.
- 2) Se mide la longitud del arco externo necesario para lograr la forma semicilíndrica y luego se mide la longitud del arco interno de la pared semicilíndrica estas medidas se marcan en la manta aislante adecuadamente, es de tener en consideración que es mejor quedar con un poco de excedente de material de la manta cerámica, en las paredes que estarán en contacto al cerrar el horno (ver planos Anexo C como guía) pues contribuye a lograr un buen sellado durante las pruebas. Se debe tener los cuidados por lo anteriormente especificado de no cortar muy escasa la manta cerámica.
- 3) Se le hacen los 3 agujeros con las mismas especificaciones presentadas en los planos y que deberán coincidir con los realizados en la pieza de ladrillo refractario.

4) Se deben cortar los saques necesarios que se presentan en los planos, en el contorno, Este corte tiene 8 mm de ancho por 4 mm de profundidad. Esto es donde se colocará el sello del horno.

D) Armado del horno

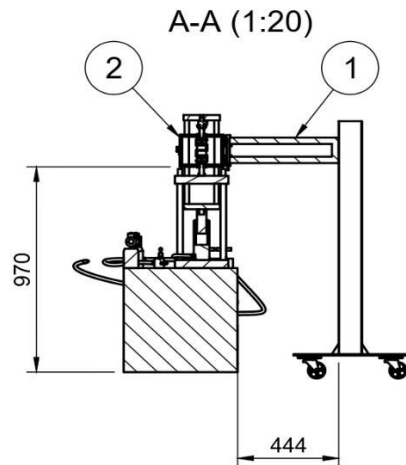
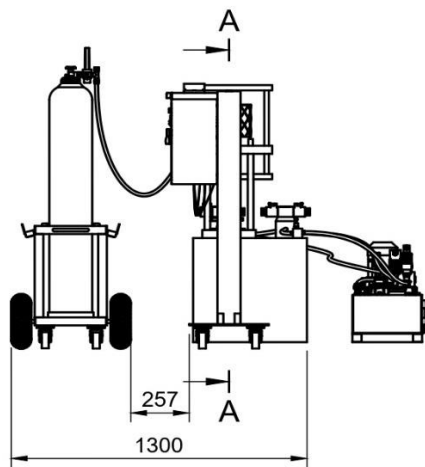
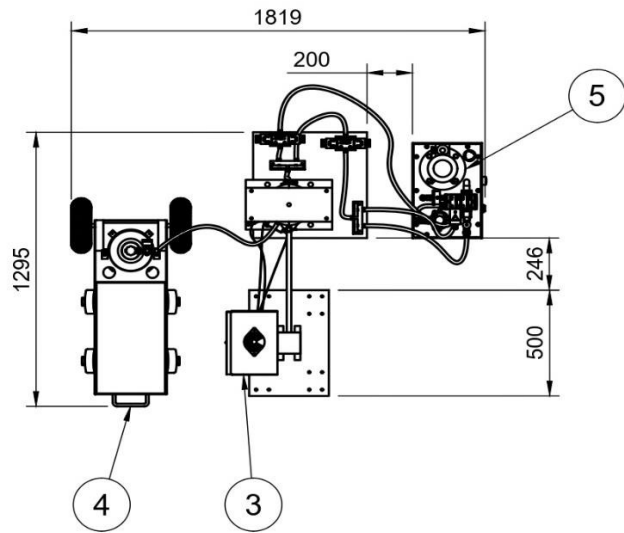
1) Se colocarán cada capa con las que cuenta el horno en el orden correcto en la carcasa metálica fabricada.

2) Ajustar alineando correctamente los agujeros con los que cuentan las piezas en el lado derecho del horno, estos agujeros sirven para colocar el niple, la termocupla y los alambres que llegan a las resistencias del horno.

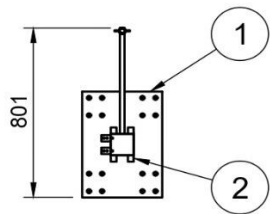
3) Luego de colocar las partes que forman las capas del horno se sujetan a la carcasa con las pestañas que se sujetaran para estas pestañas se sujetan en la misma ranura para el sello.

4) Se colocan al horno el niple, la termocupla y se sujetan adecuadamente, luego se colocan las resistencias en las dos partes del horno y se sacan los alambres en el agujero destinado a este fin.

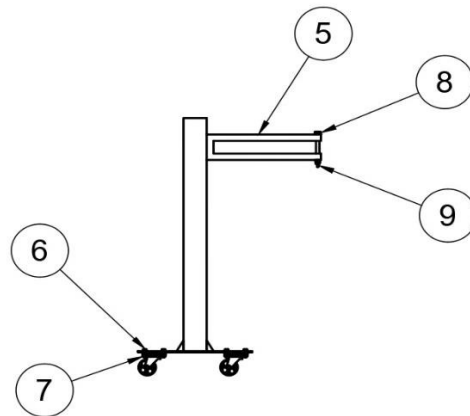
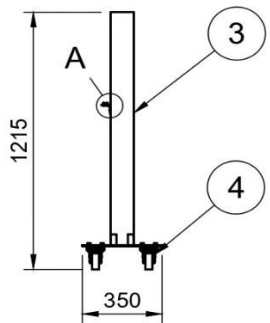
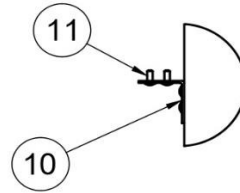
ANEXOS C: PLANOS



5	Máquina de ensayo	1	
4	Sistema de gas argón	1	
3	Caja de control	1	
2	Horno	1	
1	Estructura de soporte para horno de alta temperatura	1	Subconjunto 1
Item	Descripción	Cantidad	Especificación
Lista de piezas			
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	
N° DE PLANO: A1		FECHA:	CONJUNTO 1: HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN A ALTAS TEMPERATURAS
			ESCALA: 1:20 UNIDADES: mm



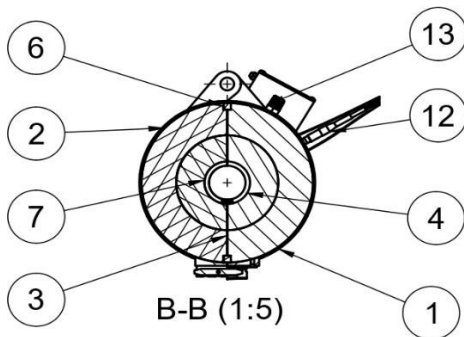
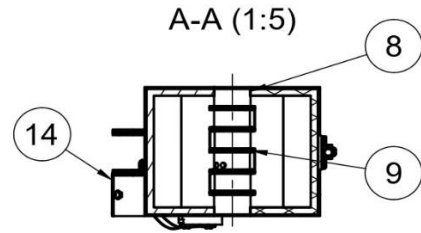
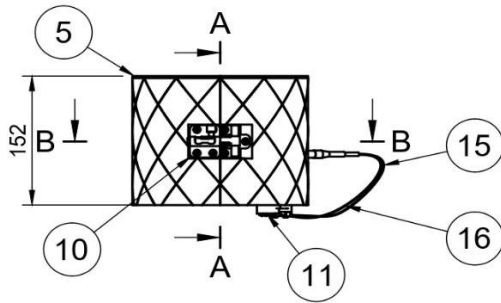
A (1:4)



11	Sujeción para soporte de caja de control	8	Tornillo de acero M5x12
10	Soporte para caja de control	2	Detalle 1.5
9	Sujeción para pin	1	Tuerca de ala M8x1.25
8	Sujeción para horno	1	Perno acero al carbono de 1/2 pulg
7	Sujeción para ruedas giratorias	16	Tuerca hexagonal M8x1.25
6	Sujeción para rueda giratoria	16	Tornillo de pestaña hexagonal M8x1.25x30
5	Tubo estructural cuadrado chapa 16 de 1-1/4 pulg	1	Detalle 1.4
4	Ruedas giratorias	4	Nylon de 3 pulg
3	Tubo estructural chapa 14 de 4 pulg	1	Detalle 1.3
2	Nervios para soporte de estructura	4	Detalle 1.2
1	Lámina de acero 1/4 pulg	1	Detalle 1.1
Item	Descripción	Cantidad	Especificación

Lista de piezas

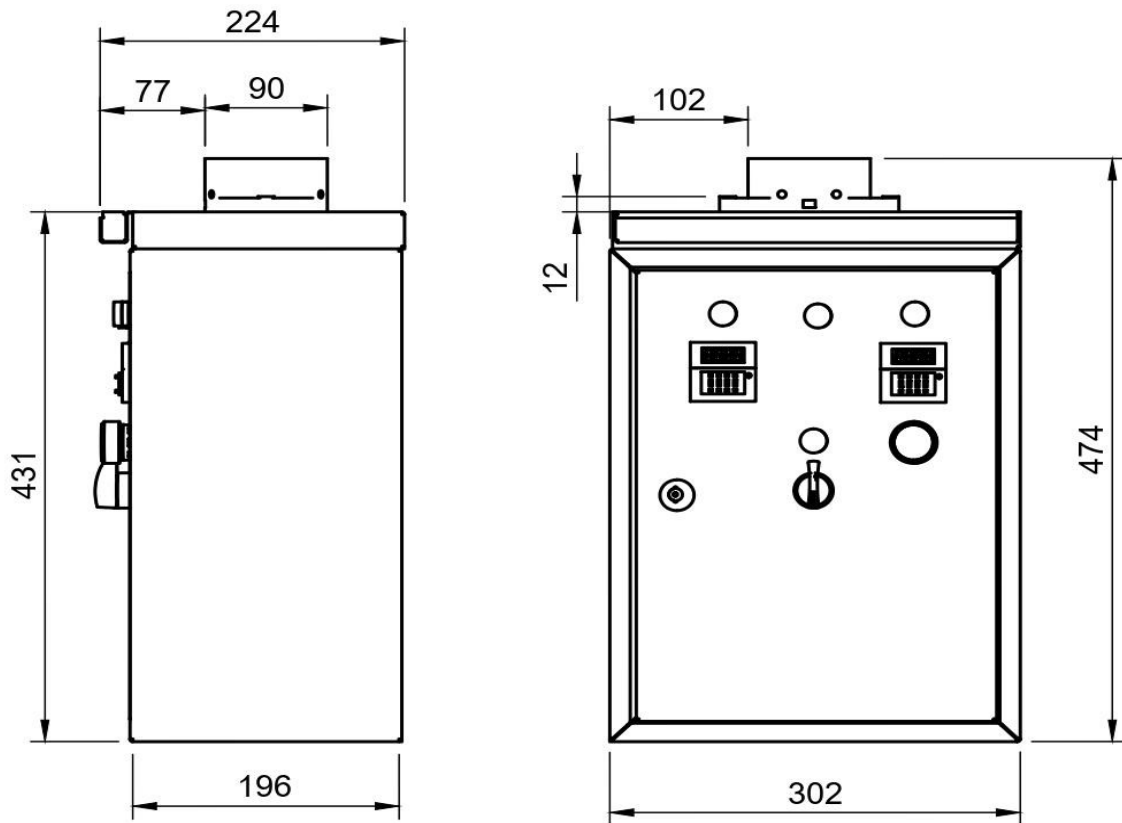
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: B1	FECHA:	SUBCONJUNTO 1: ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA HORNO DE ALTA TEMPERATURA	



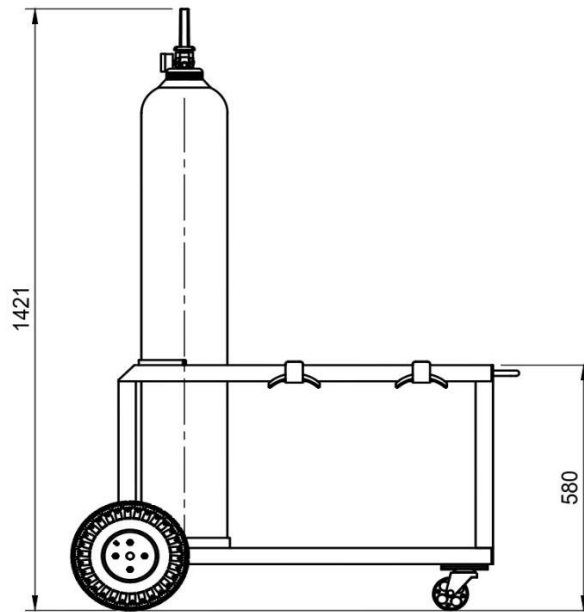
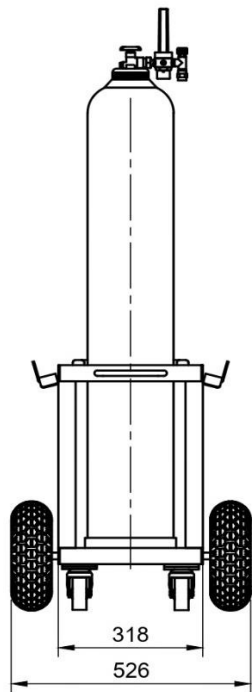
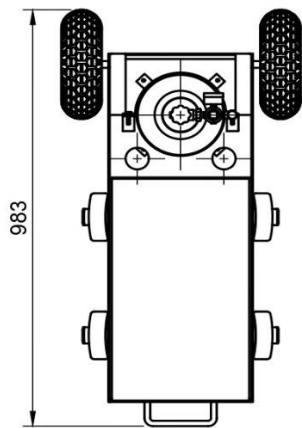
16	Conductor negativo	1	Conexión entre termocupla y terminal blocks
15	Conductor positivo	1	Conexión entre termocupla y terminal blocks
14	Caja	1	Detalle 2.11: Caja
13	Nipple	1	Nipple galvanizado rosca de un $\frac{1}{2}$ pulg
12	Termocupla	1	Detalle 2.10: Termocupla
11	Terminal blocks	1	Estándar N-4P-A
10	Pasador de barra 1 pulg	1	Pasador de barra de dos pasos 2 pulg
9	Resistencia	10	Detalle 2.9: Resistencia
8	Sello para gas	2	Detalle 2.8: Sello para gas
7	Refractario izquierdo	1	Detalle 2.7: Refractario izquierdo
6	Manta cerámica izquierda	1	Detalle 2.6: Manta cerámica izquierda
5	Tapa superior	2	Detalle 2.5: Tapa superior
4	Refractario derecho	1	Detalle 2.4: Refractario derecho
3	Manta cerámica derecha	1	Detalle 2.3: Manta cerámica derecha
2	Carcasa metálica izquierda	1	Detalle 2.2: Carcasa metálica izquierda
1	Carcasa metálica derecha	1	Detalle 2.1: Carcasa metálica derecha
Item	Descripción	Cantidad	Especificación

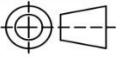
Lista de pieza

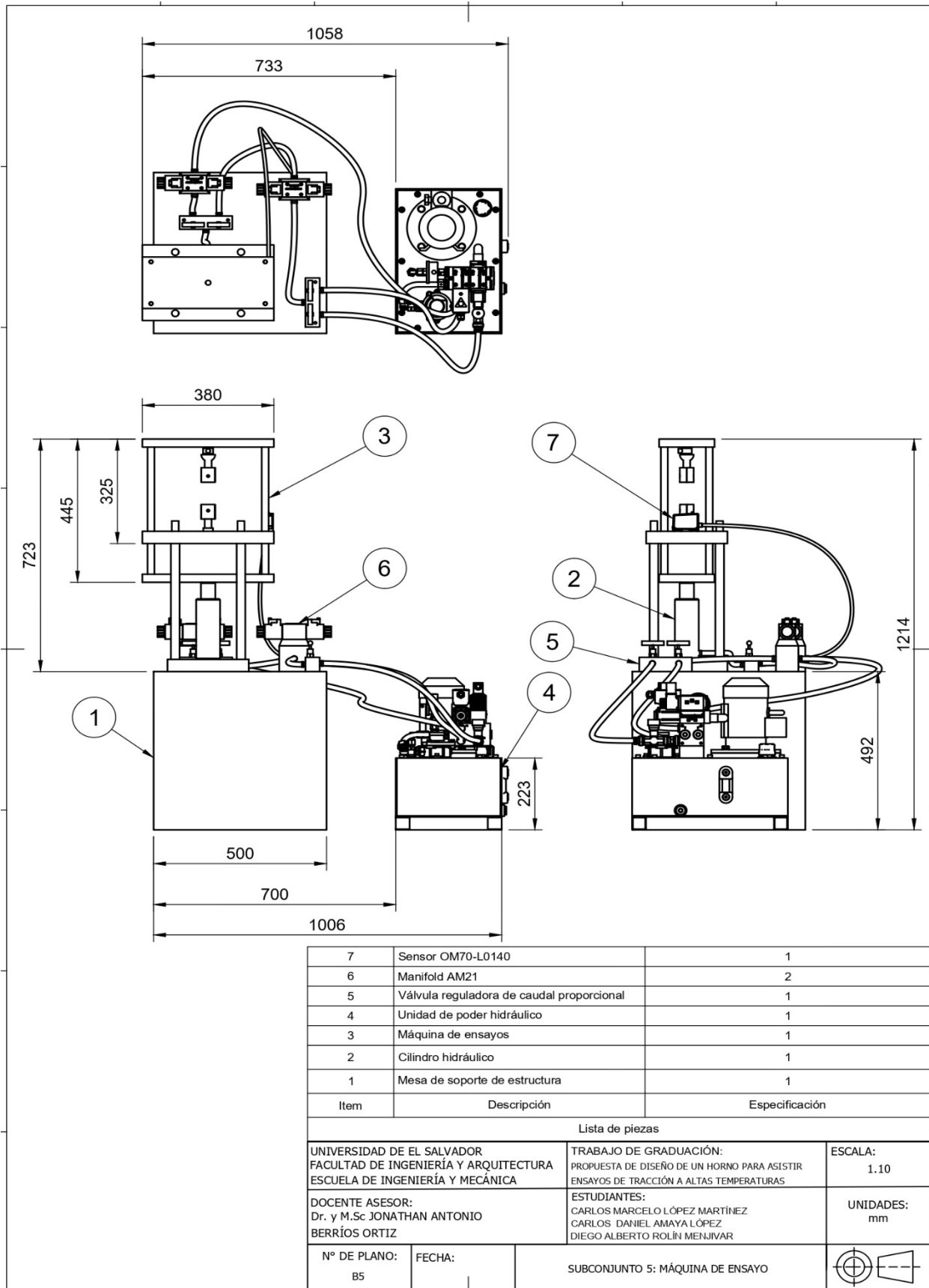
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: B2	FECHA:	SUBCONJUNTO 2: HORNO	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: B3	FECHA:	SUBCONJUNTO 3: CAJA DE CONTROL	



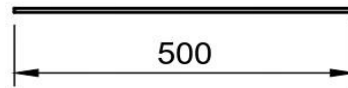
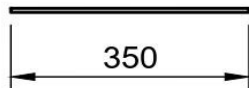
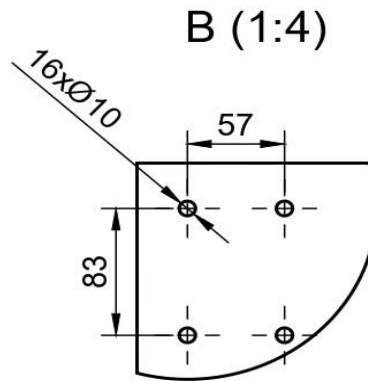
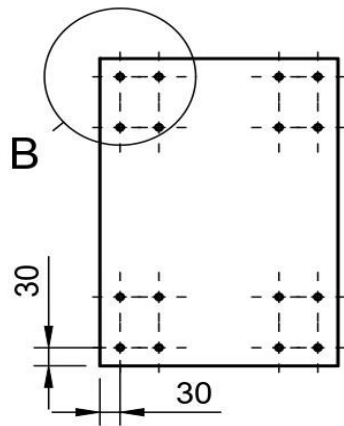
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:10
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: B4	FECHA:	SUBCONJUNTO 4: SISTEMA DE GAS ARGÓN	



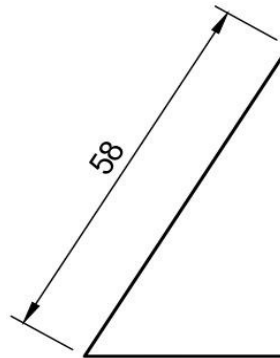
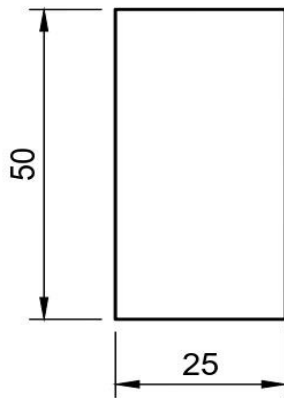
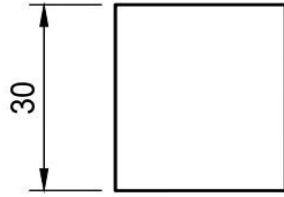
7	Sensor OM70-L0140	1
6	Manifold AM21	2
5	Válvula reguladora de caudal proporcional	1
4	Unidad de poder hidráulico	1
3	Máquina de ensayos	1
2	Cilindro hidráulico	1
1	Mesa de soporte de estructura	1
Item	Descripción	Especificación

Lista de piezas

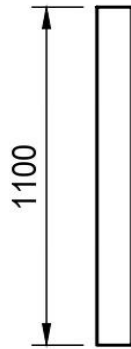
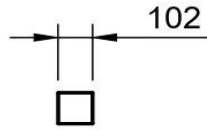
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN A ALTAS TEMPERATURAS	ESCALA: 1.10
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: B5	FECHA:	SUBCONJUNTO 5: MÁQUINA DE ENSAYO	



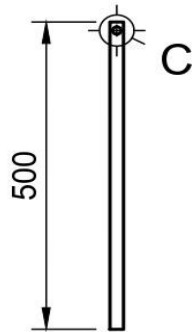
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C1	FECHA:	DETALLE 1.1: LÁMINA DE ACERO ¼ pulg	



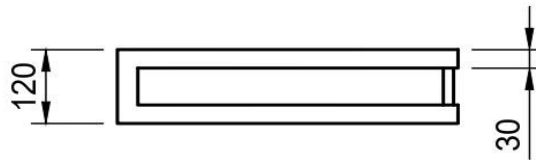
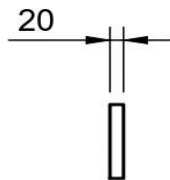
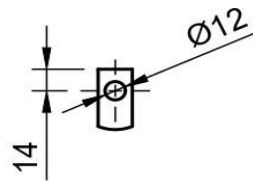
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C2	FECHA:	DETALLE 1.2: NERVIOS PARA SOPORTE DE ESTRUCTURA	



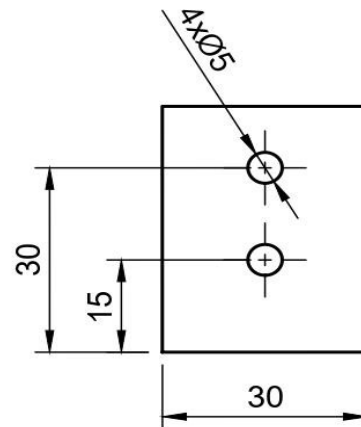
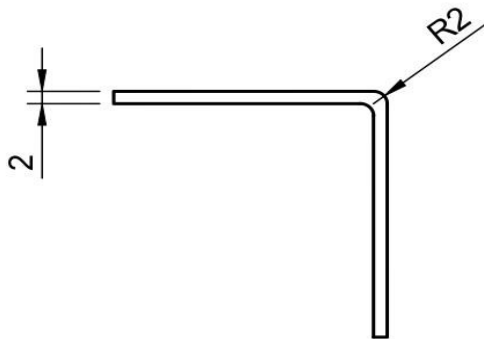
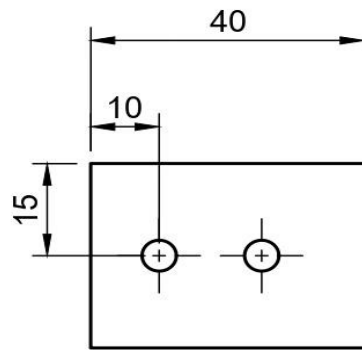
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C3	FECHA:	DETALLE 1.3: TUBO ESTRUCTURAL CHAPA 14 DE 4 pulg	



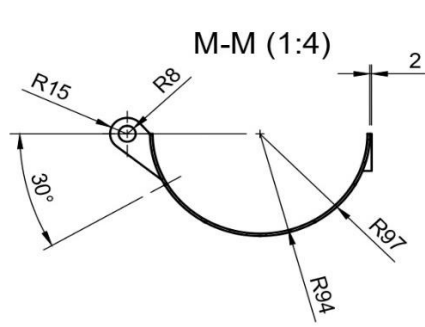
C (1:4)



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: C4	FECHA:	DETALLE 1.4: TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO CHAPA 16 DE 1-1/4 pulg	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE HORNO UN PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C5	FECHA:	DETALLE 1.5: SOPORTE PARA CAJA DE CONTROL	

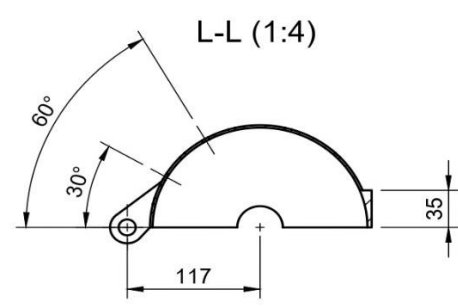
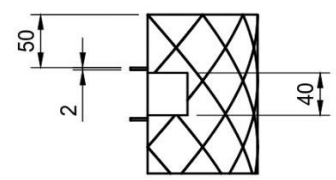
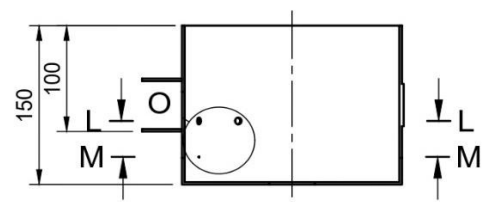
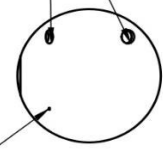


Nota: Agujero pasante de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de diámetro para nipplea una altura de 60 mm.

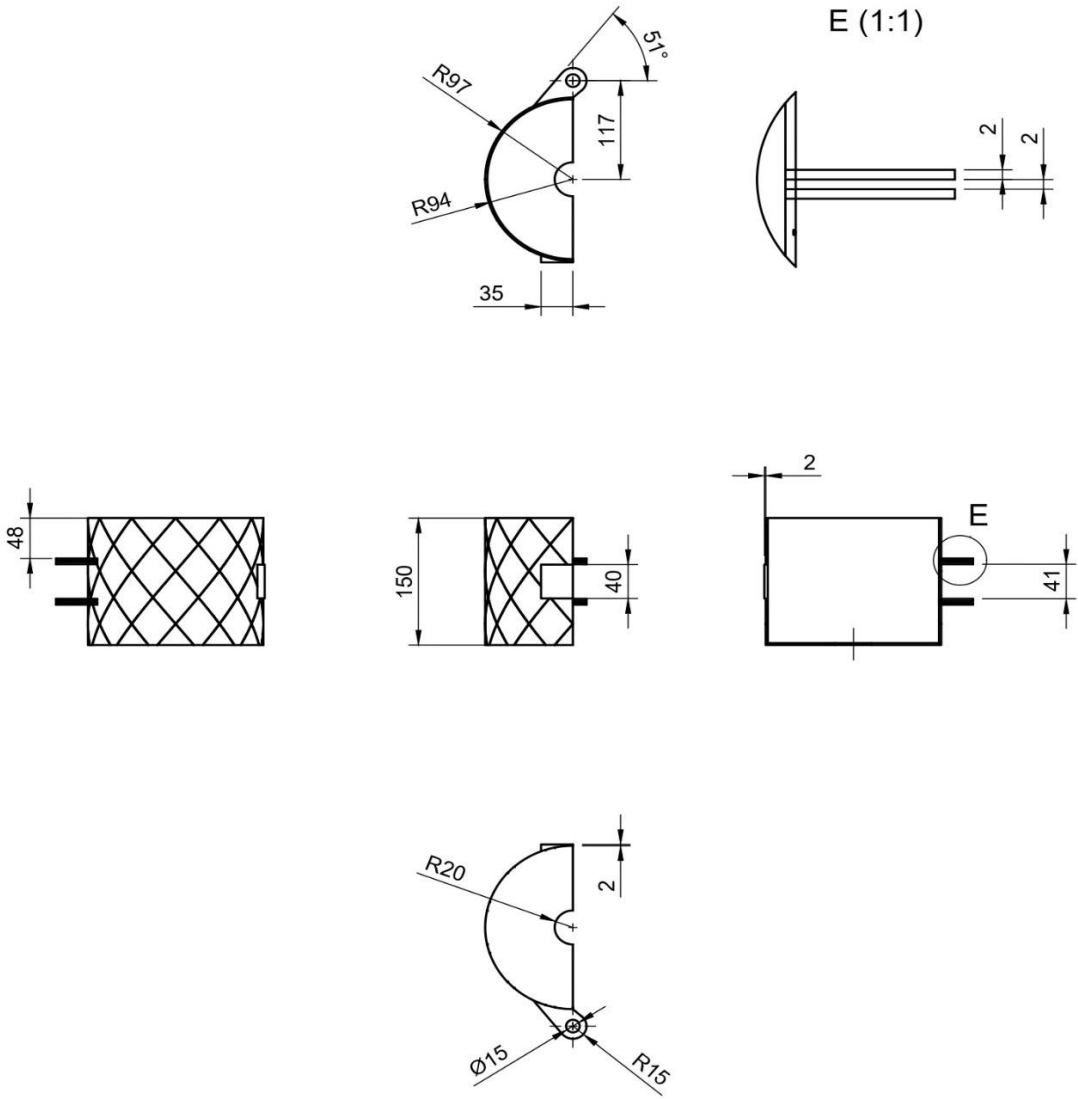
O (1:2)

Nota: Agujero pasante de 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de diámetro para termocupla a una altura de 60 mm.

Nota: Agujero pasante para conexión de resistencias a una altura de 23 mm.

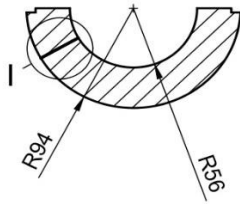


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C1	FECHA:	DETALLE 2.1: CARCASA METÁLICA DERECHA	

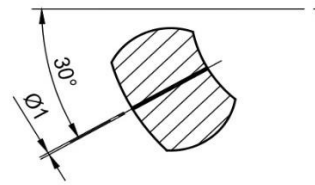


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C2	FECHA:	DETALLE 2.2: CARCASA METÁLICA IZQUIERDA	

F-F (1:4)

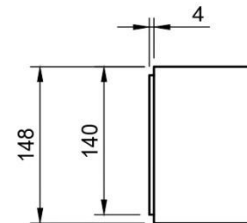
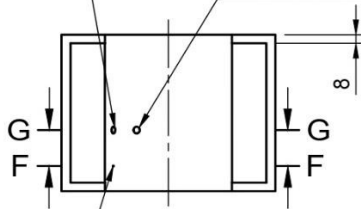


I (1:2)



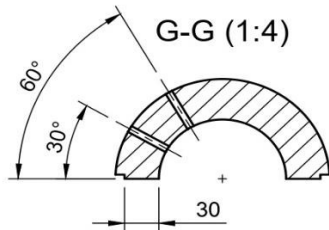
Nota: Agujero pasante de 6 mm ($\sim \frac{1}{4}$ pulg) de diámetro para nipple a una altura de 57 mm.

Nota: Agujero pasante de 6 mm ($\sim \frac{1}{4}$ pulg) de diámetro para termocupla a una altura de 57 mm.

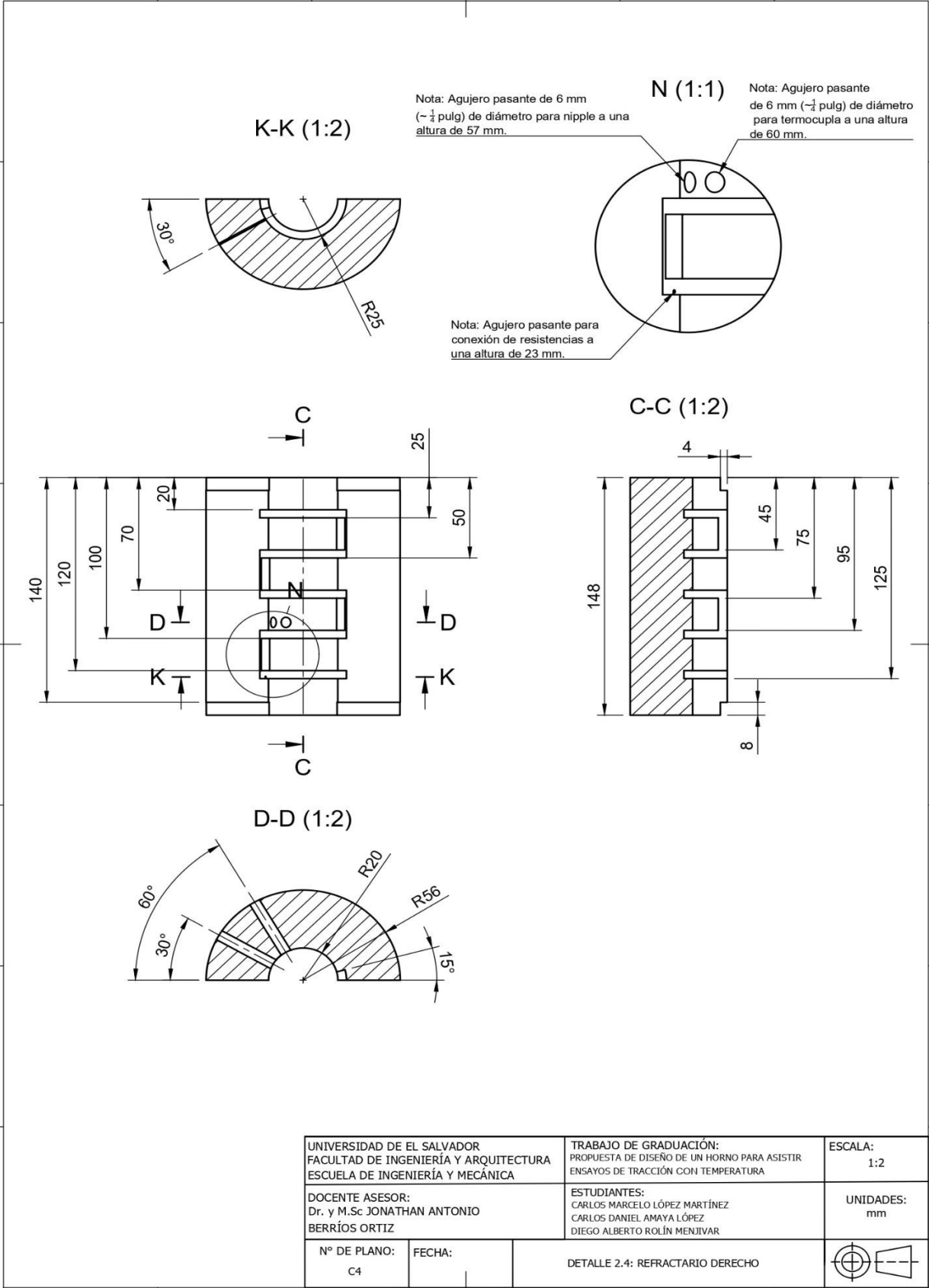


Nota: Agujero pasante para conexión de resistencias, a una altura de 23 mm.

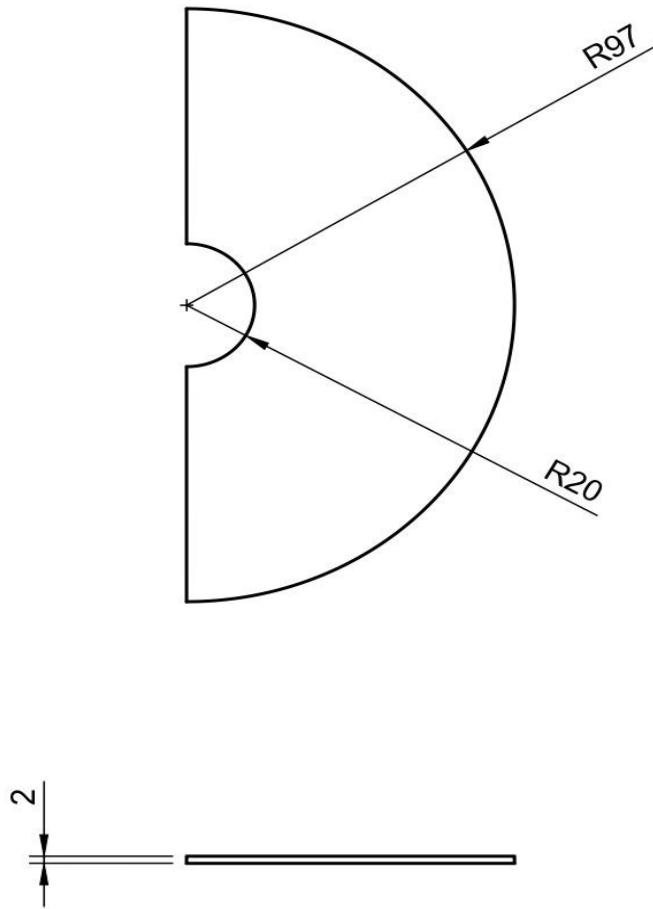
G-G (1:4)



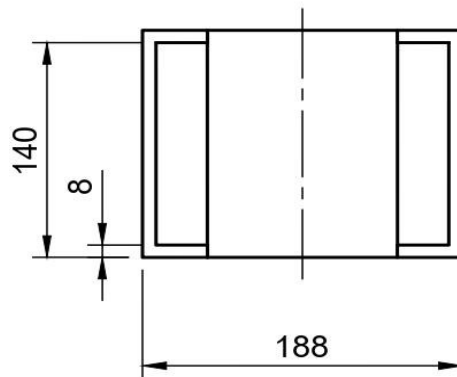
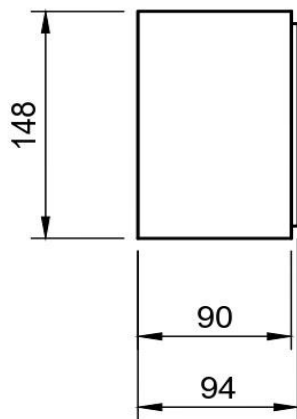
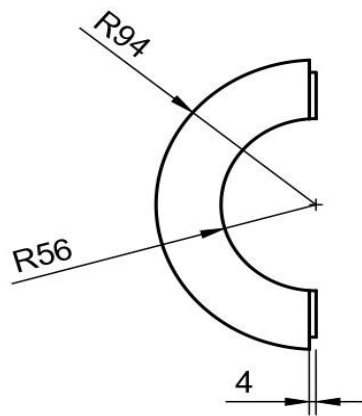
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: C3	FECHA:	DETALLE 2.3: MANTA CERÁMICA DERECHA	

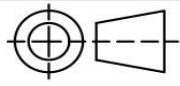


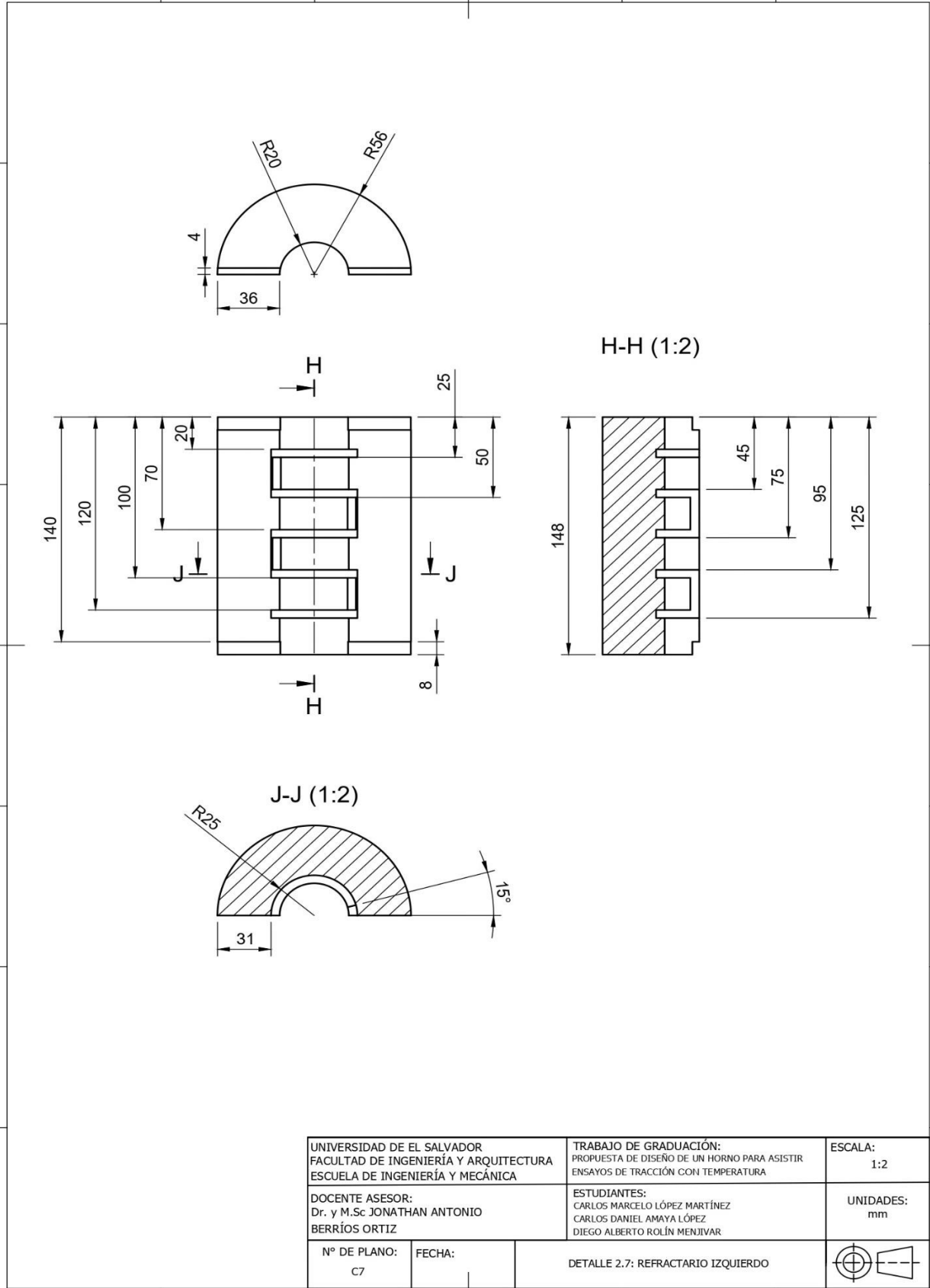
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C4	FECHA:	DETALLE 2.4: REFRACTARIO DERECHO	



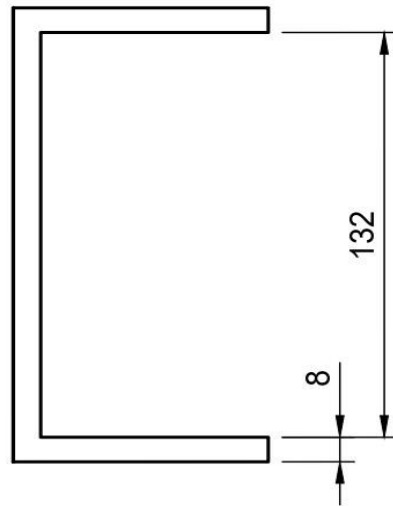
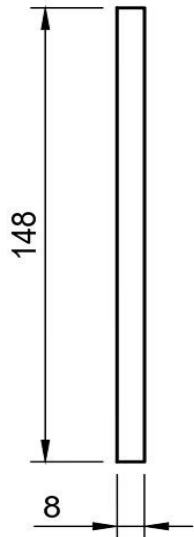
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C5	FECHA:	DETALLE 2.5: TAPA SUPERIOR	




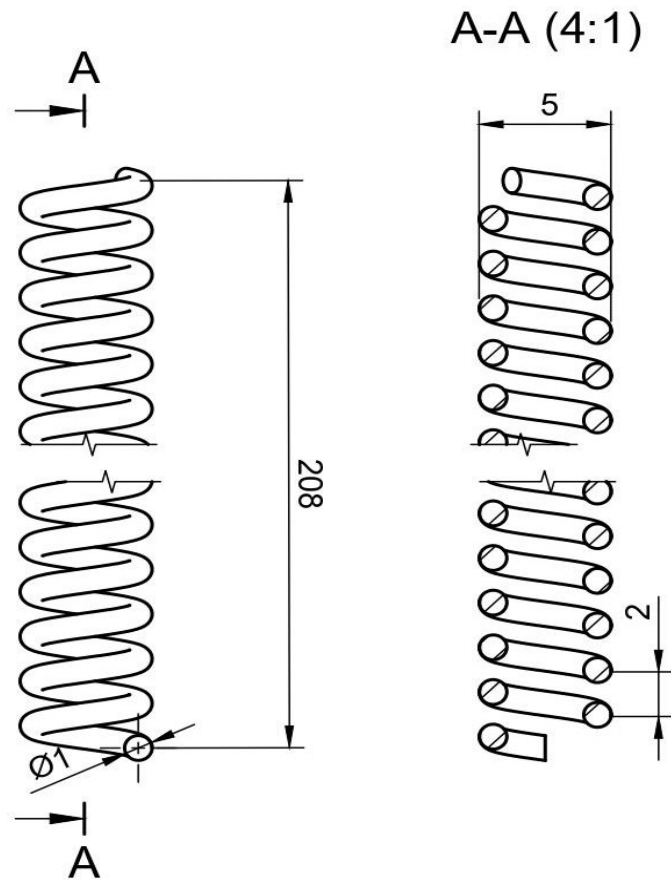
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C6	FECHA:	DETALLE 2.6: MANTA CERÁMICA IZQUIERDA	



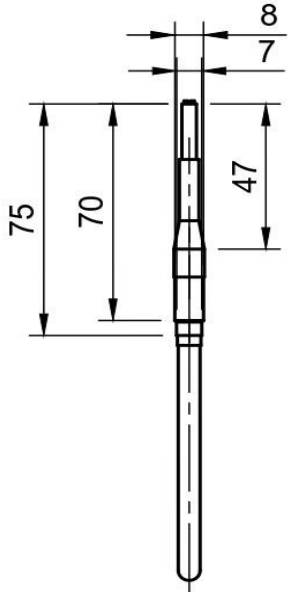
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C7	FECHA:	DETALLE 2.7: REFRACTARIO IZQUIERDO	



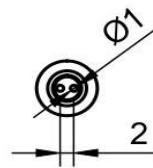
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C8	FECHA:	DETALLE 2.8: SELLO PARA GAS	



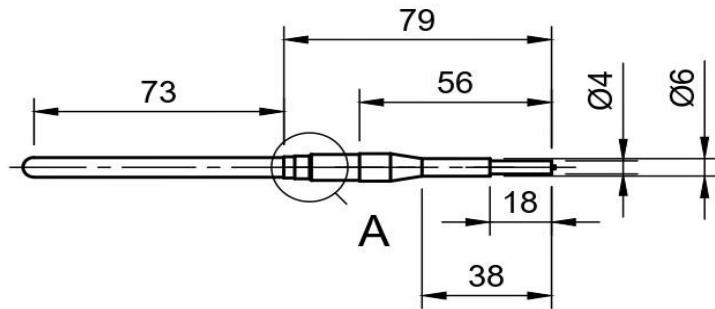
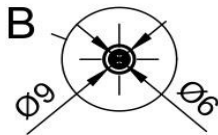
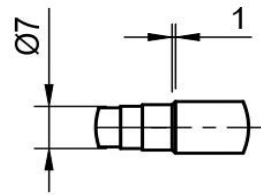
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 4:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C9	FECHA:	DETALLE 2.9: RESISTENCIA	



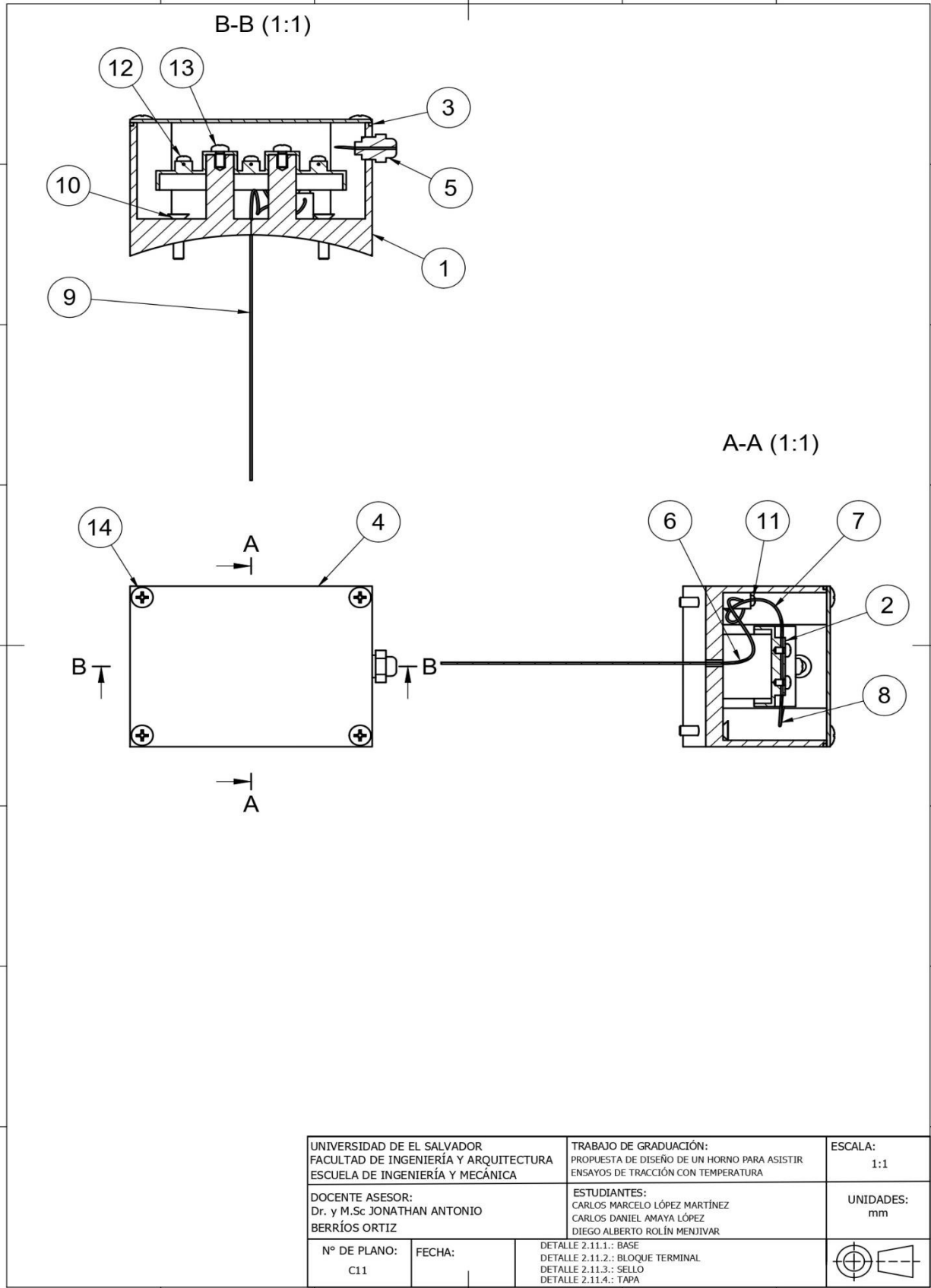
B (1:1)

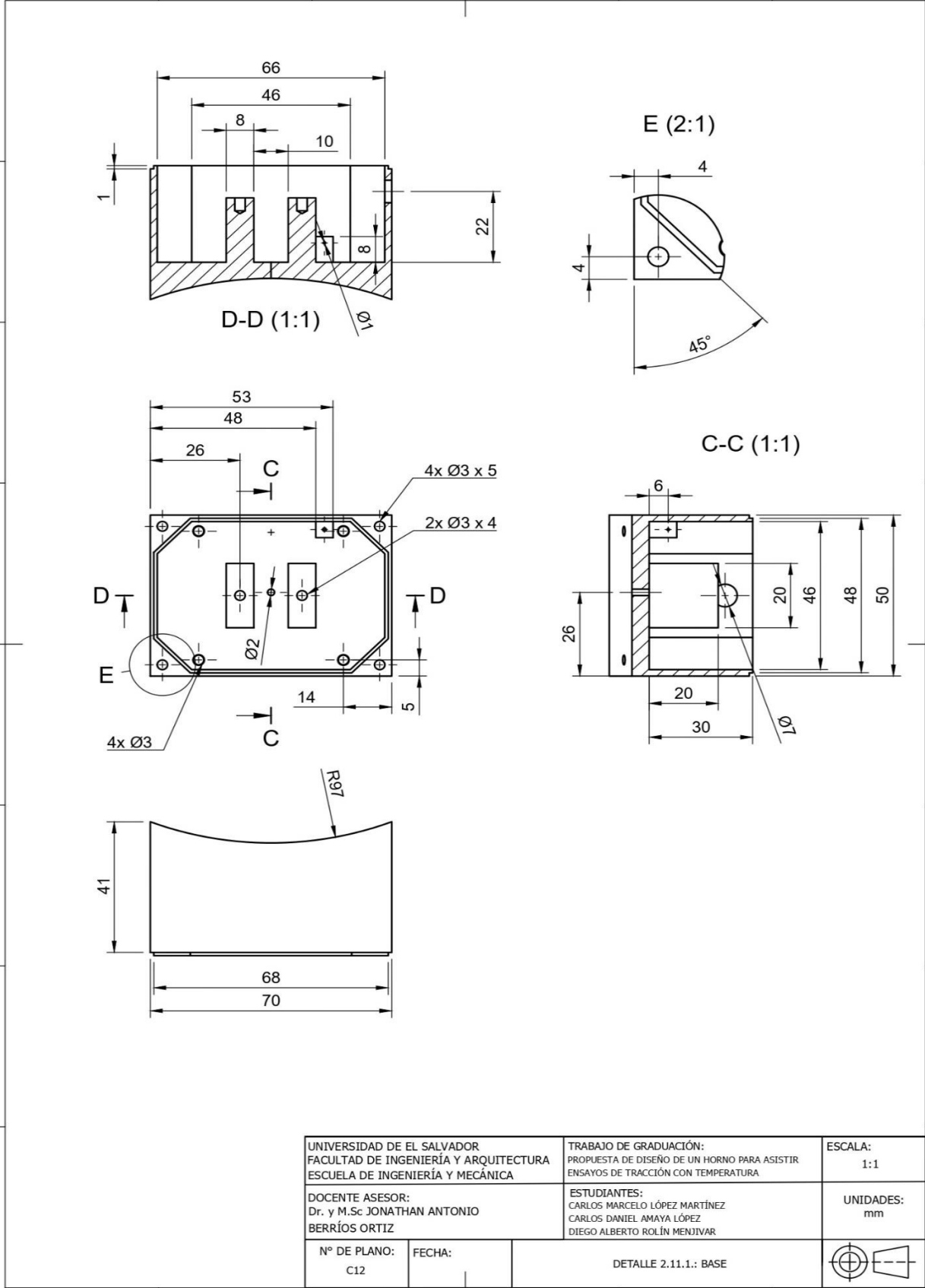


A (1:1)

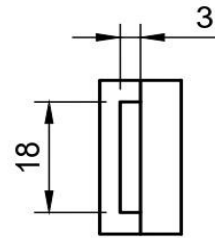
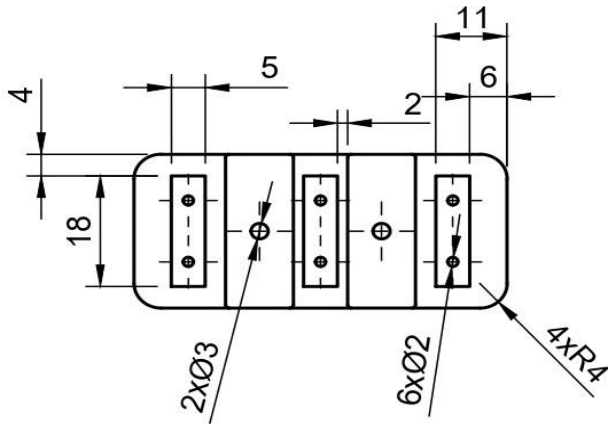
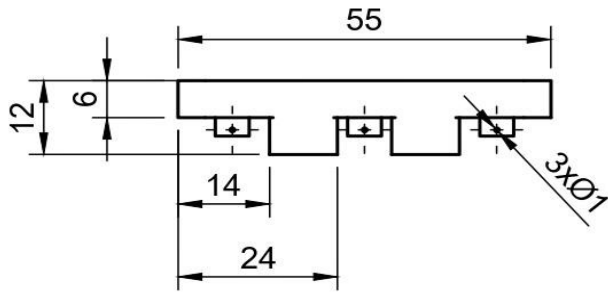


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C10	FECHA:	DETALLE 2.10: TERMOCUPLA	

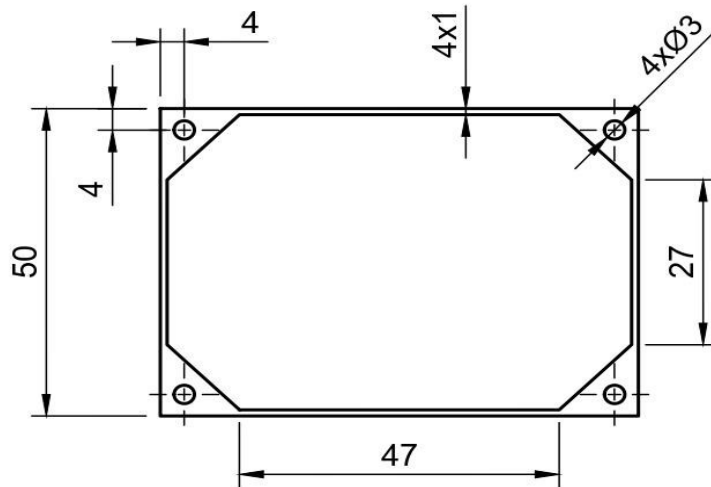
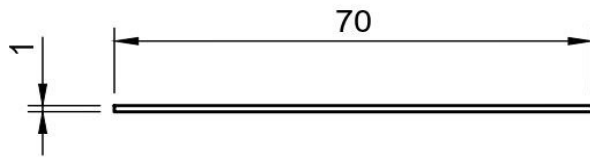




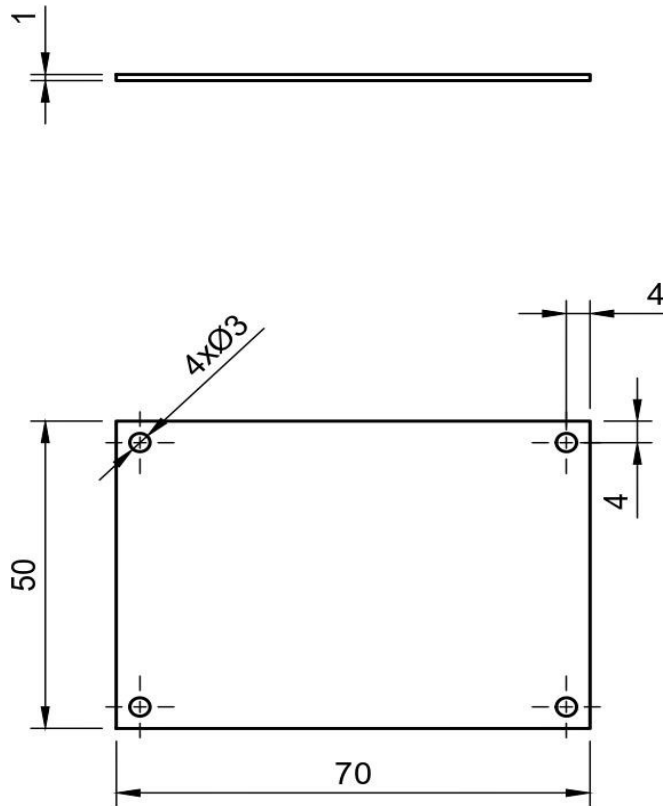
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C12	FECHA:	DETALLE 2.11.1.: BASE	



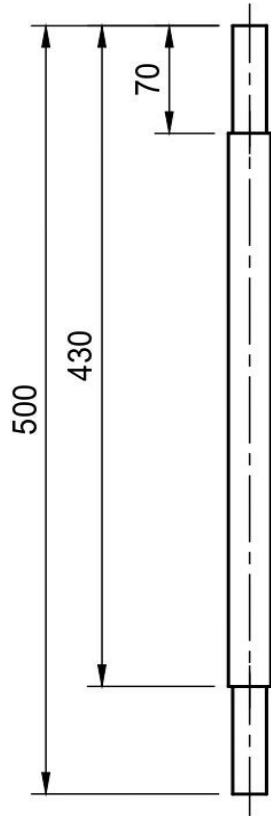
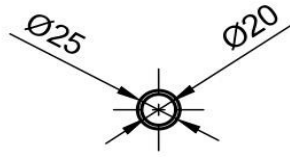
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA:
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C13	FECHA:	DETALLE 2.11.2.: BLOQUE TERMINAL	

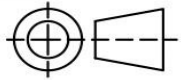


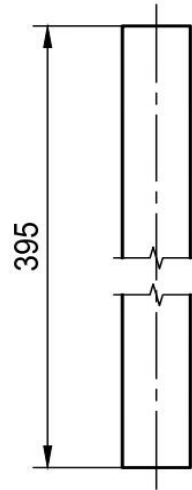
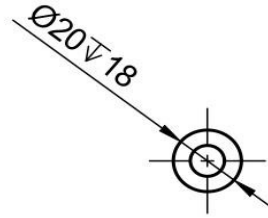
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C14	FECHA:	DETALLE 2.11.3.: SELLO	

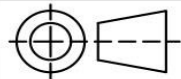


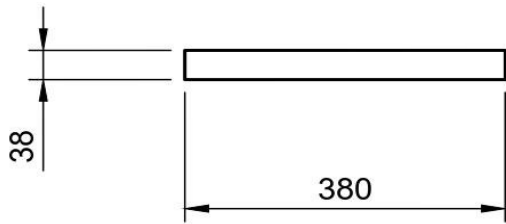
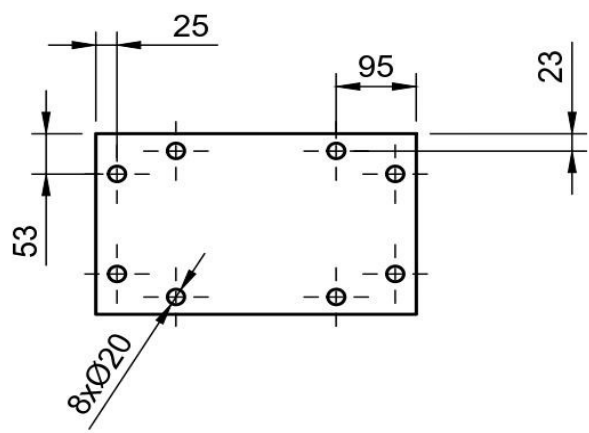
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C15	FECHA:	DETALLE 2.11.4.: TAPA	



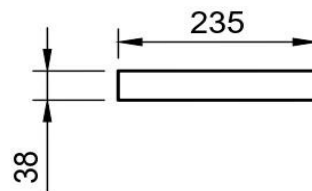
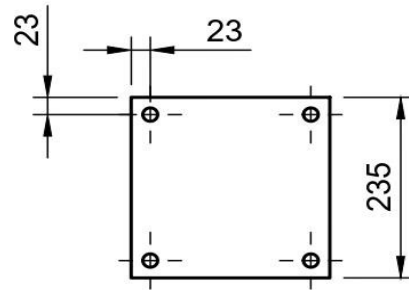
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C1	FECHA:	DETALLE 5.1: BARRA FIJA	

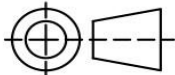


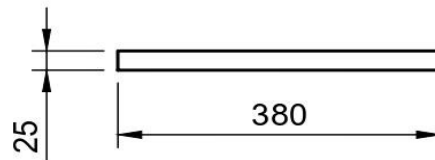
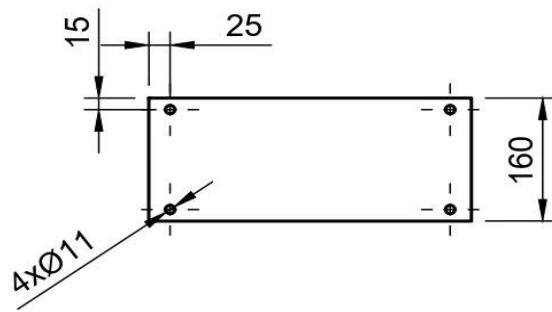
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: C2	FECHA:	DETALLE 5.2: BARRA MÓVIL	



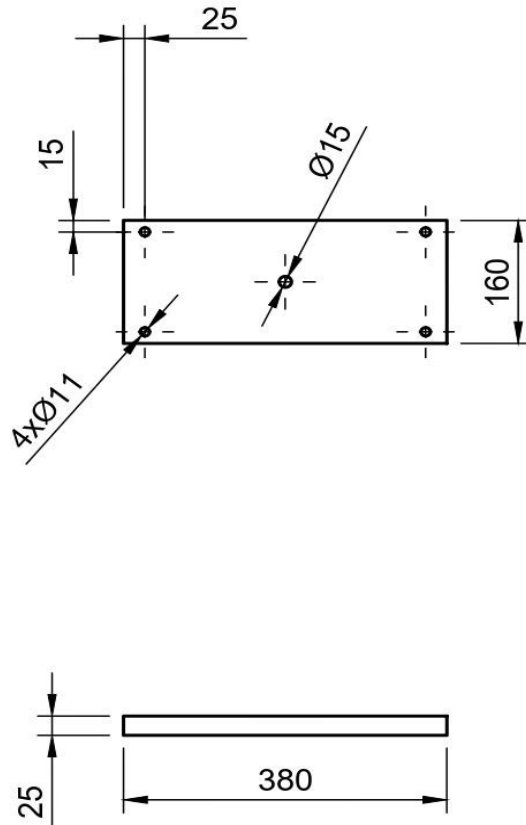
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C3	FECHA:	DETALLE 5.3: PLACA FIJA NUEVA	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C4	FECHA:	DETALLE 5.4: PLACA FIJA	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
N° DE PLANO: C5	FECHA:	DETALLE 5.5: PLACA MÓVIL INFERIOR	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA Y MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO PARA ASISTIR ENSAYOS DE TRACCIÓN CON TEMPERATURA	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ		ESTUDIANTES: CARLOS MARCELO LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS DANIEL AMAYA LÓPEZ DIEGO ALBERTO ROLÍN MENJIVAR	UNIDADES: mm
Nº DE PLANO: C6	FECHA:	DETALLE 5.6: PLACA MÓVIL SUPERIOR	