

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

“Diseño y construcción de un banco de pruebas para evaluar resistencia de
materiales durante incendios”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Osorio Bruno Adriano Paolo

Plua Espinoza Abraham Isaac

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Al Msc. Jonathan León, al Ph.D. Freddy Jervis y al Ph.D. Angel Ramírez, quienes con su conocimiento y experiencia nos supieron guiar durante el desarrollo de este proyecto.

Esto es para mis padres, Iván Osorio Cevallos, Flora Bruno Gómez y mi hermano, Renzo Osorio Bruno quienes con su invaluable e incondicional apoyo supieron guiarme desde el primer día, a mis tíos quienes siempre confiaron en mí, a mis abuelitas quienes desde el cielo me dieron las fuerzas necesarias para seguir adelante, a mi amigo el Ing. Boris Ubillus Amaya quien siempre estuvo presto a brindarme su apoyo y por sobre todo a Dios por mantenerme con salud y ayudarme a cumplir todas mis metas durante este proceso.

- A. Osorio B.

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas, por darme salud y las fuerzas necesarias para seguir adelante, a mi familia quienes desde un principio creyeron en que podría cumplir con mi meta y a mis amigos quienes siempre me brindaron de su apoyo.

- A. Plua E.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Adriano Paolo Osorio Bruno

Abraham Isaac Plua Espinoza


Phd. Ángel Diego Ramírez Mosquera

Phd. Freddy Xavier Jervis Calle

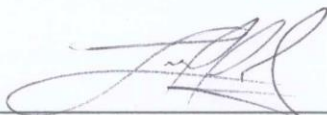
Msc. Jonathan León Torres

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.


Adriano Osorio Bruno


Abraham Plua Espinoza


Msc. Jonathan León Torres


Ph.D. Freddy Jervis Calle


Ph.D. Ángel Diego Ramírez Espinoza

RESUMEN

En respuesta a la necesidad de una evaluación racional, cuantificada y repetible de materiales de construcción sujetos a calentamiento durante un incendio, se ha desarrollado el diseño de un banco de pruebas capaz de simular aplicación de cargas térmicas y estructurales. El banco de pruebas se basa en el uso de un arreglo móvil con emisores infrarrojos de alto rendimiento alimentados por gas propano, junto con un sistema de control mecánico manipulado por un ordenador. La carga térmica se controla activamente mediante mediciones de flujo incidente, sobre la superficie de prueba expuesta del elemento utilizando un sistema de retroalimentación de alta precisión. Mientras que la carga estructural se controla mediante una máquina de ensayos universales que simula los esfuerzos a los que está sometida una estructura, todo con la finalidad de recrear el peor escenario posible que puede producir un incendio a escala real.

Palabras Clave: Banco de pruebas, sistema de control, carga térmica, carga estructural, flujo incidente, incendio.

ABSTRACT

In response to a need for a rational, quantified and repeatable evaluation of building materials exposed to heating during a fire, the design of a testing bench capable of simulating the application of thermal and structural loads has been developed. The testing bench is based on the use of a mobile array with high performance infrared emitters powered by propane gas, along with a computer-controlled mechanical control system. The thermal load is actively controlled by measurements of incident flux on the exposed test surface of the element using a high precision feedback system, while the structural load is controlled by a universal testing machine which simulates the stresses to which it is subjected a structure, all in order to recreate the worst possible scenario that can produce a real-scale fire.

Keywords: Testing bench, control system, thermal load, structural load, incident flux, fire.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Marco teórico	2
1.3.1 Generalidades	2
1.3.2 Clasificación de Edificios y Elementos Estructurales ante un Incendio	5
1.3.3 Banco de pruebas para evaluar resistencia de materiales durante incendios	9
1.3.4 Resistencia a la Compresión de los Especímenes de Prueba	11
1.3.4.1 Concreto.....	11
1.3.4.2 Madera	12
1.3.5 Parámetros a considerar para las pruebas.....	12
1.3.5.1 Curva Temperatura – Tiempo.....	12
1.3.5.2 Condiciones Ambientales	13
1.3.5.3 Probeta.....	14
1.3.5.4 Parámetros máquina de ensayos universales.....	14
CAPITULO 2.....	16
2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	16
2.1 Diseño de forma.....	17
2.2 Análisis de alternativas de diseño	17
2.2.1 Emisores Infrarrojos.....	18

2.2.1.1	Emisor Infrarrojo eléctrico: Alternativa 1	18
2.2.1.2	Emisor Infrarrojo a gas: Alternativa 2.....	20
2.2.1.3	Emisor Infrarrojo poroso a gas: Alternativa 3.....	21
2.2.2	Transmisión de potencia.....	24
2.2.2.1	Transmisión por cadena	24
2.2.2.2	Transmisión por tornillo de potencia	24
2.3	Criterios de selección.....	25
2.4	Análisis mediante matriz de decisión	27
2.5	Requerimiento previo al diseño.....	28
2.6	Diseño del tornillo de potencia	45
2.7	Diseño de pernos para la fuente de calor	47
2.8	Diseño del sistema de control para el sistema motriz	48
CAPÍTULO 3.....		50
3	Simulación.....	50
3.1	Simulación estructural del banco de pruebas	50
3.2	Simulación térmica del banco de pruebas.....	52
3.3	Análisis de resultados.....	55
CAPÍTULO 4.....		58
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1	Conclusiones.....	58
4.2	Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....		61
APÉNDICES.....		63

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
ISO	Organización Internacional de Normalización
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el fuego
CPE	Código de Práctica Ecuatoriano
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
ACI	Instituto Americano del Concreto
CFRP	Polímero Reforzado con Fibra de Carbono
UNE	Una Norma Española
GLP	Gas Licuado de Petróleo

SIMBOLOGÍA

$\frac{Kcal}{m^2}$	Kilocaloría por metro cuadrado
$\frac{KW}{m^2}$	Kilovatios por metro cuadrado
W	Vatio
MPa	Megapascal
°C	Grado centígrado
°F	Grado Fahrenheit
h	Hora
min	Minuto
mm	Milímetro
μm	Micra
$\frac{KW}{h}$	Kilovatios por hora
$\frac{g}{h}$	Galones por hora
$\frac{m^3}{h}$	Metro cúbico por hora
C ₃ H ₈	Propano
CO ₂	Dióxido de Carbono
HO ₂	Agua
N ₂	Dinitrógeno
O ₂	Oxígeno Diatómico
N	Nitrógeno
C	Carbono
O	Oxígeno
L	Longitud
x	Ancho
R	Radiación máxima
AR	Área de radiación

Rm^2	Calor de radiación
PCI	Poder Calorífico Inferior
Q_{in}	Calor de entrada
η	Eficiencia
$\frac{A}{F}$	Relación Aire Combustible
m_a	Masa de Aire
T_{ens}	Tiempo por cada ensayo
Mxglp	Masa de GLP por cada bombona
MFT	Flujo máximo de GLP
RV	Relación bifásica de GLP
%	Porcentaje
$P_{máx}$	Presión Interna Máxima
VT	Volumen máximo de cada bombona
VM	Volumen Mojado
VAP	Flujo de Vaporización
P	Superficie del depósito en contacto con el líquido
K	Coeficiente de transferencia de calor
T_e	Temperatura exterior mínima del ambiente
T_s	Temperatura del gas en el interior del depósito
CLV	Calor Latente de Vaporización
D	Diámetro del cilindro
H	Altura del cilindro
VC	Volumen del Cilindro
Vcas	Volumen de las partes emielipsoidales
Ac	Área cilíndrica
Am	Área mojada
Aex	Área exterior del cilindro
Q_2	Calor del riel
C_p	Calor específico del material del riel
ΔT	Diferencial de temperatura

T_2	Máxima temperatura superficial de la prueba
T_1	Temperatura de la fuente de radiación
T_3	Temperatura del ambiente
T_{amb}	Temperatura ambiente
Q_{fuente}	Calor de interacción entre la fuente de calor y la superficie del riel
$Q_{radiación}$	Calor de interacción entre la fuente de calor y el ambiente
$Q_{conv.horiz}$	Calor por convección natural de las paredes horizontales del riel
$Q_{conv.vert}$	Calor por convección natural de las paredes verticales del riel
J	Flujo de calor por radiación
A_2	Área horizontal del riel
$F_{2,1}$	Factor de forma de radiación
T_f	Temperatura fílmica
R_{al}	Número de Rayleigh
B	Coeficiente de expansión
F	Fuerza
R	Radio
V_f	Velocidad lineal de operación
$\frac{L}{rev}$	Longitud recorrida por cada revolución del motor o paso
Rev.	Revolución del motor
T	Torque
P	Potencia
HP	Horse Power
N	Factor de seguridad
S_t	Esfuerzo axial
S_{st}	Esfuerzo de tensión
S_y	Resistencia a la fluencia
S_{ys}	Esfuerzo a la fluencia de Von Misses
T'_s	Torque máximo aplicado al tornillo

A_t	Área promedio del tornillo
D	Diámetro externo del tornillo
dr	Diámetro menor del tornillo
dm	Diámetro medio
Dp	Diámetro del perno

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Banco de Pruebas a Simular	10
Figura 1.2 Curva tiempo-temperatura.....	13
Figura 2.1 Diagrama de flujo para el diseño del banco de pruebas.....	16
Figura 2.2 Diseño de forma del banco de pruebas.....	17
Figura 2.3 Gráfica densidad de potencia vs Longitud de onda.....	18
Figura 2.4 Gráfica temperatura vs tiempo.	19
Figura 2.5 Características de un calentador poroso.	21
Figura 2.6 Detalle de instalación de un calentador poroso.....	22
Figura 2.7 Esquema del arreglo del quemador poroso.....	22
Figura 2.8 Datos técnicos del quemador poroso.	23
Figura 2.9 Comparación de los tiempos en los que los distintos quemadores alcanzan su temperatura máxima.....	23
Figura 2.10 Sistema de transmisión por cadena.	24
Figura 2.11 Sistema de transmisión por tornillo de potencia.	25
Figura 2.12 Planteamiento de ecuaciones de balance de energía	30
Figura 2.13 Convergencia y solución de ecuaciones	30
Figura 2.14 Sistema de alimentación del irradiador de gas poroso	31
Figura 2.15 Lazo de control sistema de alimentación del irradiador.....	31
Figura 2.16 Comportamiento del flujo de GLP, con respecto al nivel de líquido	34
Figura 2.17 Propiedades de los materiales estructurales del riel	35
Figura 2.18 Geometría de un riel.....	35
Figura 2.19 Esquema de incidencia de calor en un riel	36
Figura 2.20 Distribución de energía.....	36
Figura 2.21 Planteos de ecuación de radiación.....	39
Figura 2.22 Planteos de ecuación de radiación.....	39
Figura 2.23 Resultado de la iteración	40
Figura 2.24 fuerzas en el carro.....	40
Figura 2.25 DCL del carro	41

Figura 2.26 Mango transformador de movimiento circular a lineal de paso 2,8.....	42
Figura 2.27 DCL de las ruedas del carro.....	43
Figura 2.28 planteos generales de las ecuaciones de fuerzas y movimiento.....	44
Figura 2.29 Solución y Convergencia de Ecuaciones.....	44
Figura 2.30 Selección de Motor Generador de Movimiento.....	45
Figura 2.31 Tornillo de potencia.....	45
Figura 2.32 Ingreso de parámetros en EES.....	46
Figura 2.33 Ingreso de parámetros en EES.....	46
Figura 2.34 Diagrama de fuerzas para los pernos que soportan las fuentes de calor.....	47
Figura 2.35 Interfaz del programa de control del sistema.....	49
Figura 3.1 Parámetros iniciales.....	50
Figura 3.2 Mallado en el sistema.....	51
Figura 3.3 Esfuerzo equivalente.....	51
Figura 3.4 Deformación total.....	52
Figura 3.5 Comportamiento de la probeta con respecto a la temperatura.....	53
Figura 3.6 Comportamiento de la temperatura de la probeta con respecto al tiempo.....	53
Figura 3.7 Comportamiento de la probeta con respecto a la temperatura.....	54
Figura 3.8 Comportamiento de la temperatura de la probeta con respecto al tiempo.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Cuadro estadístico de incendios en Guayaquil en el año 2010	5
Tabla 1.2 Clasificación de componentes estructurales.....	6
Tabla 1.3 Ejemplos de clasificación de usos por carga de Fuego.....	7
Tabla 1.4 Clasificación de los Edificios por su Resistencia al Fuego.	9
Tabla 1.5 Puntos en la curva tiempo-temperatura.....	13
Tabla 1.6 Parámetros a ingresar en la máquina de ensayos universales.	15
Tabla 2.1 Características técnicas del emisor infrarrojo. eléctrico.....	19
Tabla 2.2 Características técnicas del emisor infrarrojo a gas.	20
Tabla 2.3 Matriz de decisión emisores infrarrojos.	27
Tabla 2.4 Matriz de decisión Sistema Motriz.	28
Tabla 2.5 Relación Aire Combustible.	28
Tabla 2.6 Poder Calorífico de Combustibles Gaseosos.	29

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX, la prueba estándar de resistencia al fuego ha sido la medida predominante de caracterizar la respuesta de los elementos estructurales y materiales durante un incendio (Woolson, 1916, ISO 834, 1999, ASTM, E 119). A finales del siglo XIX, la necesidad de proporcionar seguridad contra incendios a edificios y ciudades había cruzado los límites de la Ingeniería y se convirtió en un requisito social en la creciente industria de la construcción (Gales et Al., 2012). La adopción y el uso extensivo de la prueba de resistencia al fuego “estándar” representaron a la comunidad de ingeniería de incendios estructurales para superar las numerosas complejidades inherentes en el comportamiento de edificios reales en incendios reales, esto se logró básicamente calificando elementos de construcción o conjuntos estructurales aislados en pruebas estándar de resistencia al fuego. El actual sistema de calificación de elementos según su resistencia al fuego que utiliza pruebas de horno ha estado en existencia desde finales del siglo pasado (Hull e Ingberg, 1925) y permanece (en gran parte) sin cambios desde su desarrollo inicial, a pesar de los enormes avances en ciencia de seguridad contra incendios, respuesta termo-mecánica de materiales de construcción y modelado de incendios estructurales. En este documento se muestra el diseño de una nueva metodología de prueba contra incendios, en la que fundamentalmente se varía el método mediante el cual los materiales o estructuras son sometidos a calor.

1.1 Descripción del problema

Un incendio por lo general puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños estructurales al recinto en el que se está produciendo. Los esfuerzos térmicos a los que se someten los materiales durante un incendio disminuyen su resistencia por lo que podrían fallar, todo esto conlleva a evaluarlos de una forma más rigurosa con la finalidad de evitar que el material falle durante un incendio.

Las normas de construcción establecen propiedades que solo pueden ser medidas por un banco de pruebas. En Ecuador no estamos en capacidad de realizar este tipo de mediciones debido a la inexistencia de los equipos necesarios, por lo que en este proyecto se propone el diseño y construcción de un banco de pruebas que incorpore el flujo térmico al material, así como también los esfuerzos estructurales producidos durante un incendio.

Para la construcción del banco de pruebas se considerará un diseño óptimo con respecto a eficiencia energética. Se incorporará el flujo térmico de manera homogénea, es decir, el banco de pruebas debe estar en capacidad de simular el peor de los escenarios posibles con la finalidad de evaluar la resistencia del material durante un incendio utilizando la menor cantidad de recursos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un banco de pruebas que pueda simular esfuerzos térmicos y estructurales sobre distintos materiales de construcción durante un incendio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema que proporcione flujo constante y variable de calor (fuente) sobre un material.
- Diseñar un sistema motriz para la fuente.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos que pueda reflejar curvas de flujo de calor vs distancia y flujo de calor vs tiempo.
- Realizar la integración de todos los sistemas e instrumentos requeridos.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Generalidades

Los diseños de estructuras de concreto históricamente han sido diseñados en base a estándares perceptivos en donde los valores de desempeño son

obtenidos ya sea de tablas, o a través de cálculos matemáticos simples. El diseño en base al desempeño se basa en la ingeniería para lograr la protección de un sistema completo de edificios durante un incendio. El diseño en base al desempeño ha sido integrado a las normas y estándares internacionales de construcción durante los últimos 20 años.

Como referencia recientemente en Estados Unidos se ha introducido este tipo de diseños por medio del International Code Council Performance, Code for Buildings and Facilities, y en las disposiciones de diseño con base en el desempeño en el International Fire Code, NFPA 1 (Código Uniforme Contra el Fuego), NFPA 101 (Código de Seguro de Vida) y el NFPA 5000 (Building and Construction Code). Es importante mencionar que el desempeño contra el fuego de los elementos de concreto, específicamente de los muros, puede ser determinado por unos de los tres métodos:

1. El método más generalizado para determinar la resistencia al fuego en los Estados Unidos es la norma E 119, Métodos de Prueba para Pruebas al Fuego en la Construcción y Materiales de Edificios de la ASTM. El método E 119 es una prueba contra el fuego que expone al elemento estructural a una prueba estándar en un lado del muro. Para que el miembro estructural pase la prueba, se deben satisfacer tres criterios: estabilidad estructural, integridad y elevación de la temperatura en la cara no expuesta. El homólogo de esta norma en Ecuador es la CPE INEN 5 parte 8:1986.
2. Los métodos empíricos pueden proporcionar a los diseñadores un método para calcular la resistencia al fuego de los muros de concreto. El ACI 216.1-97, Método Estándar para Determinar la Resistencia al Fuego de Construcciones de Concreto y Mampostería proporciona un método empírico simple para determinar la resistencia al fuego de muros de concreto.

3. El diseño con base en el desempeño puede estimar el comportamiento contra el fuego de los sistemas de concreto analizando un enfoque que incluye todo el edificio y escenarios de incendios de diseño aplicables.

La resistencia al fuego de la mayoría de los muros de concreto y las estructuras en edificaciones en general puede ser determinada por los métodos empíricos o a través del cumplimiento de los requisitos de un método estándar de prueba. Sin embargo, existen varias limitaciones al método preceptivo de determinar la resistencia al fuego. El crecimiento y el desarrollo de un incendio es una parte integral para saber si la estructura mantiene la estabilidad durante un escenario de incendio en el mundo real. Los métodos preceptivos utilizan sólo un escenario de incendio para evaluar todos los miembros estructurales y descuidar factores tales como una carga de fuego, altura del techo, ventilación, geometría del espacio, tamaño de la habitación y sistemas de rociado. Como resultado, los requisitos de resistencia al fuego definidos por los métodos preceptivos, con frecuencia son los mismos sin importar el espacio, el uso o la amenaza de fuego, y con frecuencia dan como resultado diseños exagerados de los elementos estructurales, que cuestan al propietario dinero extra y limitan la flexibilidad del diseño. Un enfoque de diseño basado en el desempeño toma en cuenta el desempeño del edificio en su totalidad durante un incendio, más que la clasificación de la resistencia al fuego de un miembro en particular. Para el caso en donde se está utilizando el concreto, los elementos estructurales de concreto serían analizados como parte de un sistema de construcción total que incluiría todos los sistemas de rociadores contra el fuego, sistemas de techos, y con frecuencia acabados interiores. Antes de la aplicación de un diseño con base en el desempeño, el ingeniero debe establecer una serie de objetivos de desempeño que puede incluir seguro de vida, protección de la propiedad, y continuidad del negocio. Estos escenarios de incendio deben incluir la adición de combustible suministrado

por los materiales de construcción, tales como madera de construcción. Cabe aclarar que en donde se utilice concreto, el impacto en la carga de fuego es insignificante.

Tabla 1.1 Cuadro estadístico de incendios en Guayaquil en el año 2010

	INCENDIOS												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Incendios Declarados	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	0	0	9
Incendios Causas Desconocidas	6	2	3	0	4	7	3	4	3	3	1	5	41
Incendios Casa Construcción de cañas	5	0	4	2	2	7	2	2	6	10	4	2	46
Principios de Incendios (conatos)	26	17	22	17	18	12	12	14	16	14	15	25	208
Alarmas por Corto Circuito	21	19	14	15	18	16	17	13	7	14	21	27	202
Vehiculos Inflamados	19	18	24	17	21	17	14	20	18	18	18	18	227
Basura Prendida	16	8	33	24	48	60	43	33	43	36	58	26	428
Maleza Prendida	58	1	0	3	27	103	207	212	221	310	132	60	1334
Alarmas por Hornilla Prendida	7	2	4	7	5	5	7	6	10	6	6	12	77

Fuente: Benemérito cuerpo de Bomberos de Guayaquil.

En la tabla 1.1 podemos observar un cuadro estadístico que nos muestra todas las emergencias provocadas por incendios durante el año 2010 en la ciudad de Guayaquil.

1.3.2 Clasificación de Edificios y Elementos Estructurales ante un Incendio

Según la norma ecuatoriana contra incendio CPE INEN 5 parte 8:1986, los elementos estructurales se clasifican para la resistencia al fuego, de acuerdo al tiempo en el cual resisten un fuego para una clasificación por temperatura y tiempo dados. La clasificación tiempo–temperatura se basa en observaciones de incendios reales. Así, un elemento estructural clasificado como de grado 4 resistirá con éxito la severidad de un fuego normal y cumplirá con otras condiciones por cerca de una hora. Si ese elemento estructural se incorpora a un edificio en el cual la carga de fuego genera un incendio equivalente deberá resistir el incendio del edificio sin fallar.

La relación entre el incendio real expresado como carga de fuego y el fuego normal se establece quemando cantidades conocidas de material combustible correspondiente a diferentes cargas de fuego, como para encontrar la clasificación tiempo-temperatura del fuego normal. De los resultados se concluye que los diferentes tipos de elementos estructurales resistentes al fuego resistirán las cargas de fuego correspondientes indicadas contra ellos en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Clasificación de componentes estructurales

TIPO No.	Tiempo en horas Resistencia mínima contra un incendio normal	Clase de incendio	
		Carga de fuego en kcal/m ²	Clase de incendio
1	6	1 100 000 o más	Muy alto
2	4	550 000 a 1 100 000	Alto
3	2	275 000 a 550 000	Medio
4	1	menos de 275 000	Bajo
5	1/2	-----	Muy bajo

Fuente: Norma ecuatoriana CPE INEN 5 parte 8:1986.

Tabla 1.3 Ejemplos de clasificación de usos por carga de Fuego.

CLASE	USO	
	NORMAL	ANORMAL
Baja carga de fuego	Edificios residenciales descritos solamente como un lugar de residencia, incluyendo los pisos que forman parte de ellos. Hoteles, casas de alojamiento, restaurantes y similares.	Fabricas y bodegas en las cuales se presentan riesgos especiales debido al uso de cantidades limitadas de artículos y procesos peligrosos, los cuales de otro modo se clasificarían como <i>baja carga de fuego Uso normal</i> .
Baja carga de fuego	Escuelas y edificios usados para educación y/o entrenamiento que pueden comprender los siguientes locales: a) Salas de conferencias, gimnasios y oficinas adjuntas. b) Bibliotecas, salas de reunión, laboratorios, museos y bodegas adjuntas. c) Proyección de películas cinematográficas (solamente no inflamables) Hospitales, salas de enfermeras, sanatorios, asilos y dispensarios incluyendo oficinas adjuntas, plantas y equipos. Edificios para congregaciones religiosas y ceremonias de culto, como templos, iglesias, capillas, etc. Salas públicas, museos, galerías de arte, bibliotecas públicas y similares. Oficinas comerciales, bancos y oficinas del gobierno. Clubes sociales y culturales incluyendo Cine-clubs (con películas no inflamables) Teatros y cines (sujetos a calificación de bajo riesgo personal y siempre que la proyección y almacenamiento de películas inflamables sean adecuadamente separados) Fábricas y talleres en los cuales los materiales y procesos no son peligrosos, como en el caso de un taller de ingeniería.	
Carga moderada de fuego	Almacenes para venta al por menor, centros comerciales, bazares, fabricas y talleres en general.	Almacenes para venta al por menor, fábricas y talleres en los cuales se presentan riesgos especiales por el uso de grandes cantidades de materiales peligrosos o procesos peligrosos.
Alta carga de fuego	Grandes depósitos y bodegas usados para almacenamiento, en gran escala de materiales y artículos no peligrosos.	Grandes depósitos y bodegas usados para almacenamiento en gran escala de materiales y artículos peligrosos

Fuente: Norma ecuatoriana CPE INEN 5 parte 8:1986.

En la tabla 1.3 podemos observar una clasificación general de uso de acuerdo a la carga de fuego. Los usos deben agruparse en tres clases, tal como se indicará a continuación:

1. **Usos de baja carga de fuego:** La carga de fuego debería de definirse como baja si no excede un promedio de $275\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ de área neta de piso de cualquier compartimiento ni un promedio de $550\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ en áreas aisladas limitadas; siempre que se permita un almacenamiento limitado de material combustible, separado del resto y aislado con una construcción resistente al fuego, de grado apropiado.
2. **Usos de carga de fuego moderada:** La carga de fuego moderada debe describirse si excediera un promedio de $275\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ de área neta de piso de cualquier compartimiento, pero no un promedio de $550\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ – ni menos todavía de $1\ 100\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ en áreas aisladas limitadas, siempre que se permita un almacenamiento limitado de material combustible, separado del resto y aislado con una construcción resistente al fuego de grado apropiado.
3. **Uso de alta carga de fuego:** La carga de fuego debe de definirse como alta si sobrepasa un promedio de $550\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ de área neta de piso de cualquier compartimiento, pero sin sobrepasar un promedio de $1\ 100\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ de área neta de piso, ni un promedio de $2\ 200\ 000\ \text{Kcal}/\text{m}^2$ en áreas aisladas limitadas.

A continuación, en la tabla 1.4 se mostrará la clasificación de los edificios de acuerdo a la carga de fuego que fue diseñado a resistir. Los edificios están clasificados en cinco tipos en orden descendente, siendo el de tipo 5 el de menor resistencia a la carga de fuego. En los edificios comprendidos bajo el tipo 1, la ventilación apropiada y la provisión de salidas de escape asumen mayor importancia en vista de la alta carga de fuego y la inflamabilidad de los materiales almacenados, por lo cual, el diseño de tales edificios debe proveer

ventilación suficiente y medios de escape de gases calientes. Igualmente, cuando el equipo de extinción o los servicios del cuerpo de bombero están dispuestos de antemano, el diseño debe proveer facilidades de acceso desde varias posiciones.

Tabla 1.4 Clasificación de los Edificios por su Resistencia al Fuego.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO EN HORAS DE FUEGO								
	MUROS				COLUMNAS Y VIGAS QUE SOPORTAN				ESCALERAS, PISOS Y TECHOS PLANOS
	EXTERIORES	DIVISORIOS	SECUNDARIOS	OTROS RESISTENTES O SOPORTANTES	MUROS EXTERIORES	MUROS SECUNDARIOS	OTROS MUROS RESISTENTES O SOPORTANTES	PISOS	
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	4	6	4	4	4	4	4	4	4
3	2	6	2	2	2	2	2	2	2
4	1□	6	2	1	1□	2	1	1	1
	2○				2○				
5	1/2	6	2	1	1/2	1	1/2	1/2	1/2

◦ Las palabras muros divisorios se usan de preferencia a particiones perfectas, por cuanto están más de acuerdo con la práctica reciente.

□ En edificios de construcción entramada cuando la altura no excede 15 m.

○ Mínimo para muros soportantes y otros muros que excedan 15 m.

Fuente: Norma ecuatoriana CPE INEN 5 parte 8:1986.

1.3.3 Banco de pruebas para evaluar resistencia de materiales durante incendios

Un banco de pruebas es una plataforma para poner a prueba proyectos en vía de desarrollo, con la finalidad de someterlos a una comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas. Para nuestro caso, presentamos un Sistema de Inducción de Tasa de Transferencia de calor, que se basa en el uso de un arreglo móvil de emisores infrarrojos de estructura porosa, alimentados por gas propano, junto con un sistema de movimiento lineal mecánico controlado por computadora. La carga térmica se controla activamente utilizando mediciones del flujo de calor incidente, tomadas por dos sensores de flujo de calor refrigerados por agua Schmidt-Boelter. Estos sensores se colocan en la superficie expuesta de la probeta y utilizando un sistema de retroalimentación de alta precisión, el sistema de movimiento lineal es controlado por ordenador en tiempo real para ajustar la ubicación de los calentadores para seguir el flujo de tiempo – calor predefinido. El banco de pruebas permite una cuantificación precisa de la

energía térmica absorbida por un elemento probado con alta precisión y repetitividad; todo con unos costos menores en comparación con una prueba de horno estándar.

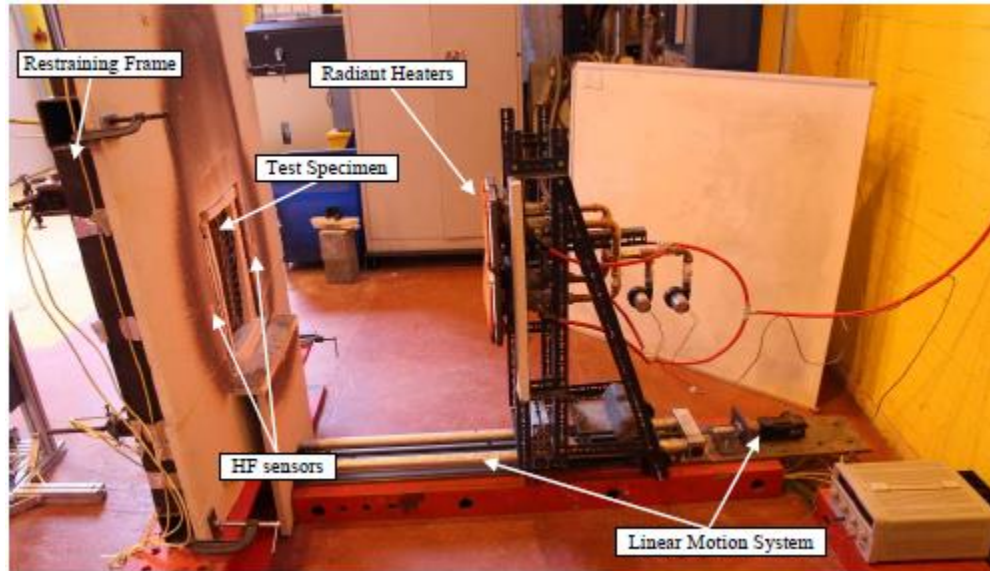


Figura 1.1 Banco de Pruebas a Simular

Fuente: Maluk C, Bisby L, Terrasi G, Krajcovic M and Torero JL. 2012. Novel Fire Testing Methodology: Why, how and what now?

Al controlar la distancia entre los emisores infrarrojos y la superficie expuesta de la muestra, el banco de pruebas es capaz de reproducir cualquier posible curva de tiempo con respecto al flujo de calor absorbido (sujeto al flujo máximo de calor incidente que puede aplicarse, que está en el rango de 100 Kw/m^2). Así, se pueden realizar ensayos para reproducir la energía térmica absorbida, o flujo de calor absorbido, igual al experimentado por materiales o especímenes en una prueba estándar de resistencia al fuego en cualquier horno de ensayo específico. El modelo inverso calcula la energía térmica absorbida por los especímenes probados en una prueba de resistencia al fuego estándar, usando lecturas experimentales de temperatura como entrada al modelo y calculando lo absorbido (es decir, el tiempo-historial de la energía térmica absorbida) que genera el gradiente de temperatura observada.

1.3.4 Resistencia a la Compresión de los Especímenes de Prueba

1.3.4.1 Concreto

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa para concreto residencial hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 170 MPa y más.

Según la norma ASTM C31 "Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo" las probetas sometidas a ensayos de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma anteriormente mencionada. Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos de curado en campo. Las probetas se someten a ensayo de acuerdo a la norma ASTM C39, "Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas de concreto". Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayos a la misma edad, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días.

1.3.4.2 Madera

Los factores que influyen en la resistencia a la compresión son los siguientes:

- **Inclinación de la fibra:** existe una diferencia entre las resistencias correspondientes a las direcciones longitudinales y transversales, siempre menor que en la resistencia a tracción.
- **Humedad:** la influencia es prácticamente nula por encima del punto de saturación de las fibras y aumenta a partir de dicho punto, al disminuir la humedad. Entre el 8 y el 18% de humedad, se considera que la variación es lineal.
- **Temperatura;** la resistencia decrece linealmente al aumentar la temperatura.
- **Nudos:** su influencia es menor que en la tracción.
- **Constitución química:** las maderas con mayor cantidad de lignina, como las tropicales, resisten mejor a la compresión. Las bolsas de resina no tienen influencia, pero como hacen aumentar el peso específico hacen que baje la cota de calidad.

En madera clasificada de coníferas (madera con defectos), la resistencia a compresión es mayor que su resistencia a tracción, a la vez que la diferencia entre las dos direcciones (paralela y perpendicular) es menos acusada. Existen escasos estudios sobre esta propiedad. Así, los valores característicos de resistencia a compresión se sitúan entre 18 y 25 MPa.

1.3.5 Parámetros a considerar para las pruebas

1.3.5.1 Curva Temperatura – Tiempo

La realización de pruebas de fuego para materiales de construcción se controlará mediante la curva estándar temperatura – tiempo tal y como se muestra en la figura 1.2. Los puntos en la curva que determinan su comportamiento son:

Tabla 1.5 Puntos en la curva tiempo-temperatura.

1000°F (538°C)	at 5 min
1300°F (704°C)	at 10 min
1550°F (843°C)	at 30 min
1700°F (927°C)	at 1 h
1850°F (1010°C)	at 2 h
2000°F (1093°C)	at 4 h
2300°F (1260°C)	at 8 h or over

Fuente: ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials Page 4

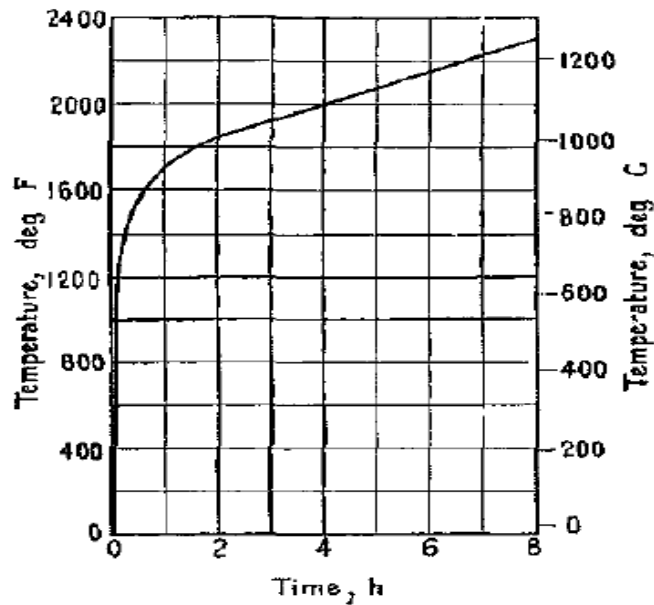


Figura 1.2 Curva tiempo-temperatura

Fuente ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials Page 4

Las lecturas de la temperatura se tomarán a intervalos no superiores a 15 minutos hasta que se haya obtenido una lectura superior a 212 °F (100 °C) en cualquier punto. Posteriormente, las lecturas se pueden tomar con más frecuencia dependiendo de la probeta, pero los intervalos no necesitan ser menores de 5 minutos.

1.3.5.2 Condiciones Ambientales

Antes de realizar la prueba de fuego, se deben simular las condiciones objetivas para proporcionar una condición de humedad dentro de la muestra

similar a la de una construcción de un edificio. Para fines de normalización, esta condición se establece en equilibrio cuando se tiene una atmósfera ambiente de 50% de humedad relativa a 73 °F. Sin embargo, para algunas construcciones es difícil o imposible lograr tales condiciones de uniformidad. De acuerdo a esto, donde sea el caso, los especímenes son probados con la parte más húmeda de la estructura, una porción de 6 pulgadas (152 mm) por debajo de la superficie de las construcciones masivas ha alcanzado un contenido de humedad correspondiente al equilibrio del secado con el aire en el intervalo de 50 a 75% de humedad relativa a 73 ± 5 °F (23 ± 3 °C).

1.3.5.3 Probeta

El siguiente estudio fue obtenido del paper *Development and Application of a Novel Test Method for Studying the Fire Behaviour of CFRP Prestressed Concrete Structural Elements* – Cristián H. Maluk Zedán – *The University of Edinburgh 2014* – Capítulo 5.3 página 187. Las probetas a escala de concreto no reforzados se moldearon con secciones transversales de 45 x 200 mm^2 y una longitud de 500 mm. En todas las probetas el proceso de mezcla y colada se llevó a cabo de acuerdo con los estándares de fabricación de elementos prefabricados de hormigón a gran escala, lotes de hormigón de 250 litros. Mientras que los parámetros de las mezclas de hormigón fueron predefinidos, manteniendo todos los demás sin cambios, se requerían variaciones suaves durante el proceso de mezclado de hormigón para obtener las características óptimas de autocompactación requeridas para la construcción (un caudal mínimo de 750 mm). Esto se atribuyó principalmente a las condiciones variables durante la colada (por ejemplo, contenido de humedad de los agregados utilizados, temperatura ambiente, humedad ambiente, etc.). Estos cambios no se consideran significativos. Para la probeta de madera se considerarán las mismas medidas.

1.3.5.4 Parámetros máquina de ensayos universales

El ensayo se realizará por aplastamiento de la probeta entre dos superficies planas y paralelas. Este se ejecutará en dirección axial, en función del

tamaño de las probetas. Los parámetros que se muestran a continuación en la tabla 1.6 corresponden a los que ingresaremos a la máquina de ensayos universales en la parte de compresión y los utilizaremos para los ensayos con las probetas de concreto y de madera, se los irá modificando según sea la necesidad de los resultados que necesitemos obtener.

Tabla 1.6 Parámetros a ingresar en la máquina de ensayos universales.

	PARÁMETROS	NORMA UNE	NORMA ASTM
PARÁMETROS DE CONTROL DE LA MAQUINA	VELOCIDAD DE MOVIMIENTO	100 mm/min	100 mm/min
	DETECCIÓN DE ROTURA	10%	15%
PARÁMETROS DEL ENSAYO	CÉLULA	100 KN	100 KN
	LÍMITE MÁXIMO FUERZA	103 KN	103 KN
	VELOCIDAD	1 KN/s	2 KN/s

Fuente: Álvaro Pérez Ortega, Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM, Universidad de Valladolid Campus de Palencia, septiembre 2014

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este capítulo se mostrarán las diferentes alternativas de diseño que se analizaron para la elaboración del diseño de forma del banco de pruebas. Se mostrarán los criterios que se utilizaron para la selección de los irradiadores de calor y del sistema motriz por medio de una matriz de decisión además de todos los cálculos necesarios para la selección del material estructural a utilizar, diseño de ejes, sistema de alimentación de gas para los irradiadores de calor, material aislante para la estructura y de todos los parámetros utilizados para la selección de la máquina de ensayos universales que completará nuestro diseño del banco de pruebas.

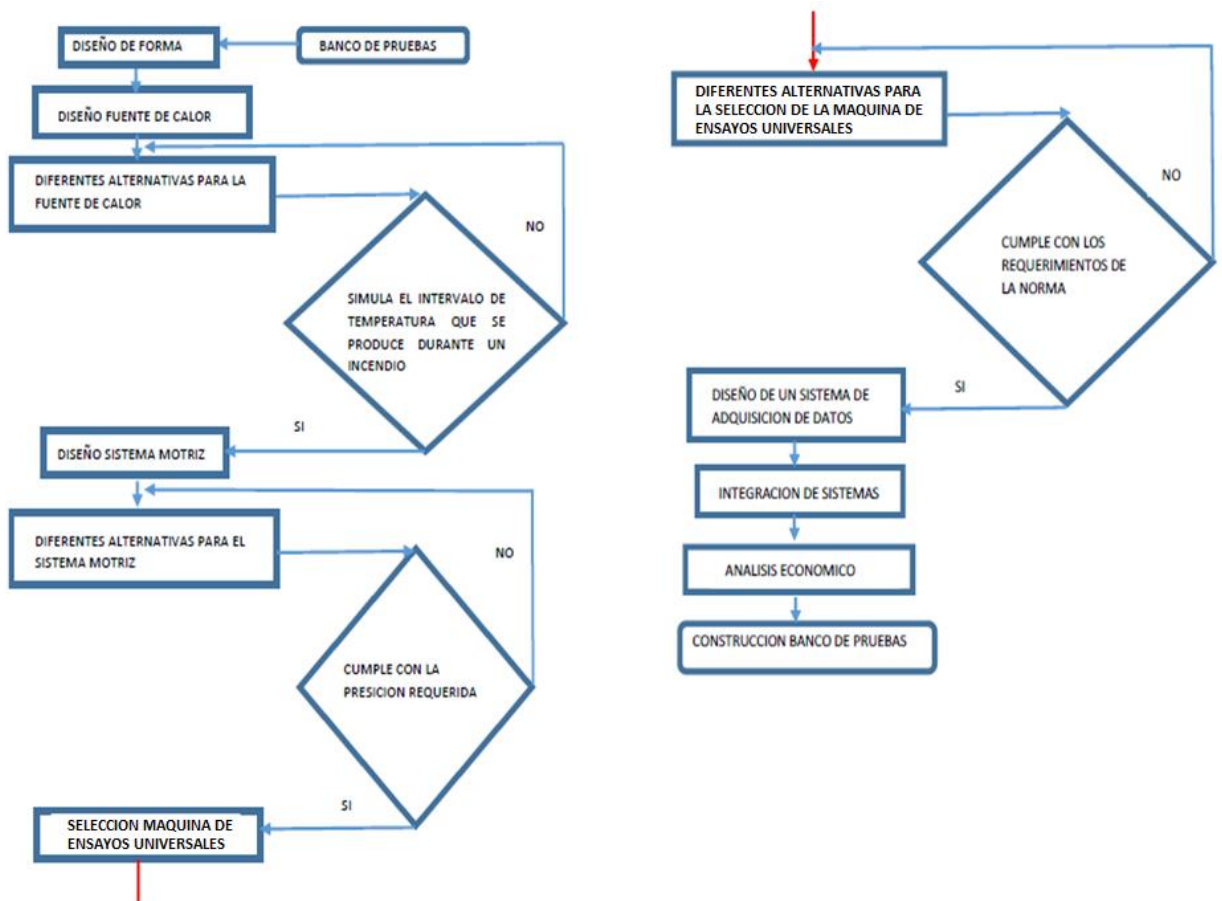


Figura 2.1 Diagrama de flujo para el diseño del banco de pruebas

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.1 se muestra el correspondiente diagrama de flujo que se manejará para el diseño del banco de pruebas, todo esto con la finalidad de mantener una metodología ordenada para poder encontrar la solución más indicada y eficiente a nuestro problema. El diagrama se lo elaboró partiendo de una idea general hacia una más específica, es decir primero se elaboró el diseño de forma en base a las necesidades para luego en base a ese diseño buscar las alternativas disponibles en el mercado o en su defecto crear una alternativa que satisfaga el requerimiento de la necesidad.

2.1 Diseño de forma

La figura 2.2 muestra el diseño del banco de pruebas de manera general en donde se detalla el arreglo móvil para los irradiadores de calor y la máquina de ensayos universales, en la siguiente sección se explorará a detalle las alternativas que se seleccionaron de cada parte para el diseño final del banco de pruebas.

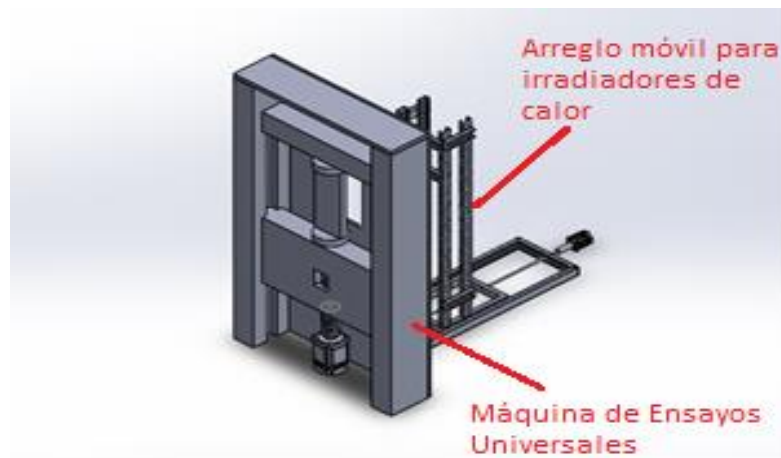


Figura 2.2 Diseño de forma del banco de pruebas.

Fuente: elaboración propia

2.2 Análisis de alternativas de diseño

En la presente sección se analizará a detalle cada una de las alternativas que se manejan para el diseño del banco de pruebas, principalmente en el caso de los irradiadores de calor (emisores infrarrojos), el tipo de sistema motriz a utilizar y de la correcta selección de la máquina de ensayos universales a utilizar en base a los parámetros obtenidos mediante los cálculos.

2.2.1 Emisores Infrarrojos

Los emisores infrarrojos sobresalen por su alta eficiencia, especialmente en los procesos de calentamiento ya que se obtiene una gran rentabilidad a través de ellos, todo esto gracias a que la energía producida por el calor se transmite por medio de emisiones electromagnéticas. El cuerpo expuesto absorbe la emisión infrarroja y la convierte en calor. A continuación, se muestran las tres alternativas de emisores infrarrojos que se manejan para el banco de pruebas propuesto.

2.2.1.1 Emisor Infrarrojo eléctrico: Alternativa 1

Las pantallas emisoras de infrarrojos de cuarzo que es el emisor seleccionado en esta clase proporcionan un calentamiento por radiación de infrarrojos en una longitud de onda media entre 1,4 y 8 μm . Son los más adecuados para aplicaciones industriales que requieren calefactores de onda media de reacción rápida. Las pantallas pueden instalarse en reflectores, proyectores o paneles para mejorar su eficacia. En instalaciones de calefactores móviles, los elementos deben instalarse con los tubos dispuestos en ángulo recto a la dirección del movimiento.

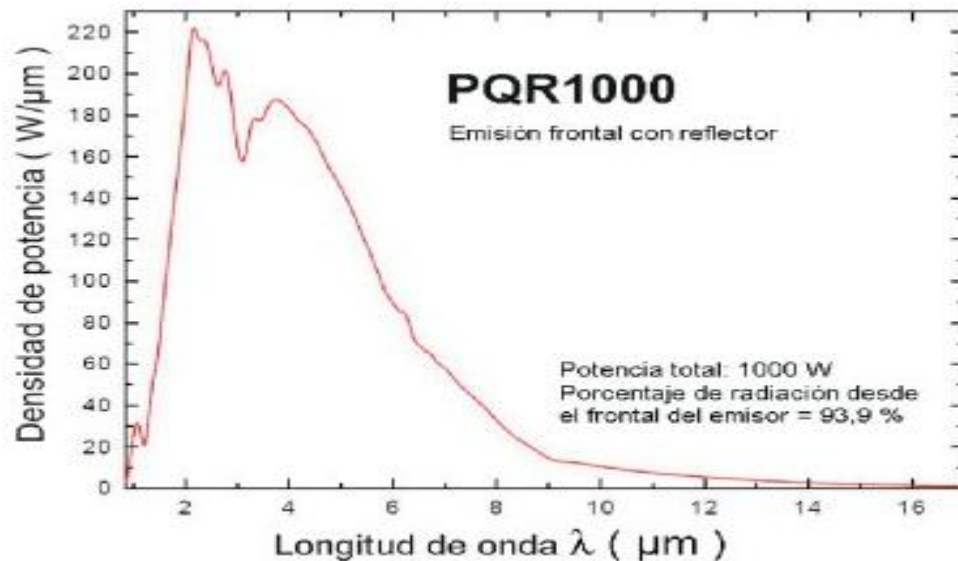


Figura 2.3 Gráfica densidad de potencia vs Longitud de onda.

Fuente: Catálogo Electricfor página 93 – Rubí-Barcelona-España – Electricfor

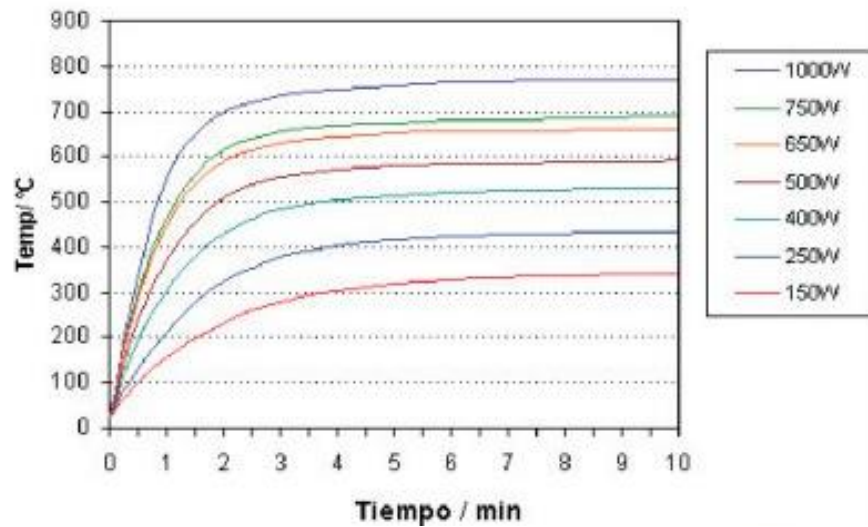


Figura 2.4 Gráfica temperatura vs tiempo.

Fuente: Catálogo Electricfor página 93 – Rubí-Barcelona-España – Electricfor

Tabla 2.1 Características técnicas del emisor infrarrojo.

Código	Voltios	Wattios	Máxima densidad de potencia KW/m ²	Temperatura superficial media	Longitud de onda	Peso En Kg
PQR150	~230 V	150	9	343 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR250	~230 V	250	15	438 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR400	~230 V	400	24	542 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR500	~230 V	500	30	593 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR650	~230 V	650	39	664 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR750	~230 V	750	45	690 °C	1,5 a 8 μm	0,39
PQR1000	~230 V	1000	60	772 °C	1,5 a 8 μm	0,39

Fuente: Catálogo Electricfor página 93 – Rubí-Barcelona-España – Electricfor

En la figura 2.3 se observa el comportamiento de la densidad de potencia versus el tamaño de longitud de onda para este tipo de emisor, mientras que para la figura 2.4 observamos la curva temperatura versus tiempo para las distintas potencias disponibles en este tipo de emisores, a más de poder observar que la curva para un emisor cuya potencia máxima es de 1000 W posee un tiempo de respuesta mayor que el resto. Por último, en la Tabla 2.1 encontramos las características técnicas de cada emisor por lo que para el modelo que seleccionaremos en esta alternativa que sería el que se encuentra marcado, podemos obtener 1000 Wattios y cuya densidad máxima

de potencia es de 60 KW/m^2 alcanzando una temperatura superficial máxima de $772 \text{ }^\circ\text{C}$ a una longitud de onda de entre $1,5$ a $8 \text{ }\mu\text{m}$. Esto según la potencia del equipo nos representa un consumo mensual de \$ 36,40 considerando que el equipo trabajará 4 horas al día de lunes a viernes y que el KW/h en Ecuador tiene un costo de \$ 0,091.

2.2.1.2 Emisor Infrarrojo a gas: Alternativa 2

Se emplean únicamente para combustibles gaseosos, una parte del aire necesario para la combustión (aire primario) se induce en el propio quemador por el chorro de gas salido de un inyector; el aire restante (aire secundario) se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo costo, La regulación del gas se obtiene por variación de la presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas).

Tabla 2.2 Características técnicas del emisor infrarrojo a gas.

Potencias y versiones					
	Potencia [kW]		Consumo		Presión de trabajo [mbar]
	GLP	GN	Gas Propano [g/h]	Gas Natural [m ³ /h]	
Kroms 6 BP	5,60	6,10	18/406	0.026/0.5	50/300
Kroms 6 HP	6,20		18/446		50/1400
Kroms 12 BP	11,80	12	18/852	0.26/0.98	50/300
Kroms 12 HP	11,90		18/867		50/1400

Fuente: kromschroeder – Radiadores Infrarrojos

En la tabla 2.2 observamos las características técnicas del emisor infrarrojo a gas. Se procedió con la selección del emisor que cumplía con los requisitos que necesitamos para esta alternativa, con lo que podemos concluir: trabajando con el equipo seleccionado cuya potencia es de 5,60 KW y su

consumo de gas propano es de 18-406 g/h con un régimen de trabajo de 4 horas al día de lunes a viernes durante un mes y considerando que utilizamos un tanque de gas de 15 Kg cuyo precio es de \$2,50, tenemos un consumo de alrededor de 11 tanques mensuales lo que económicamente nos representa \$27,50.

2.2.1.3 Emisor Infrarrojo poroso a gas: Alternativa 3

El quemador de combustión en medios porosos funciona bajo el principio en el cual la combustión de un combustible gaseoso se produce por el contacto con el aire en el interior de un medio sólido poroso. Parte de la energía liberada por el combustible se transfiere por radiación y conducción al medio poroso y este a la vez lo transfiere a la pre-mezcla aire-combustible sin quemar, lo anterior permite tener un modo de combustión conocido como combustión súper adiabática. Porosidades bajas brindan retención del calor, útil para zonas de precalentamiento, mientras que las porosidades altas mejoran la transferencia de calor. En la Figura 2.5 se muestra un esquemático de un quemador poroso en el que podemos observar que en la sección de ingreso de la mezcla de gas-aire que la denominamos Región A, está conformada por tamaños de poros pequeños que permiten que esta región se convierta en una región de precalentamiento, en la Región C tenemos un tamaño de poro más grande por lo que se forma la región de combustión.

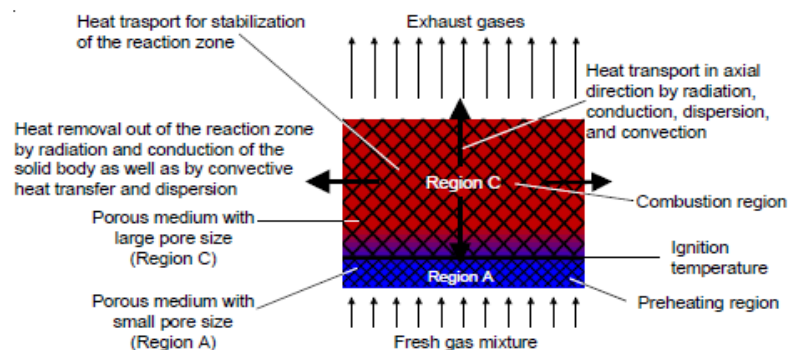


Figura 2.5 Características de un calentador poroso.

Fuente: Gogas - short wave burners – porous burners RADIMAX

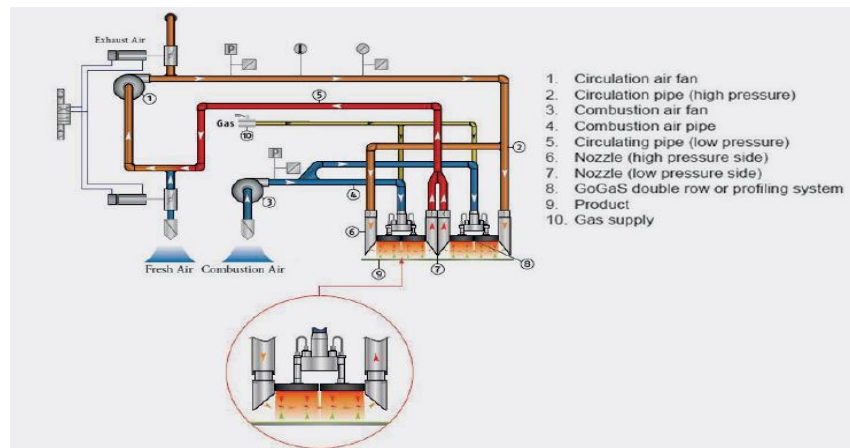


Figura 2.6 Detalle de instalación de un calentador poroso.

Fuente: Gogas – Michael Angersteing - Infrared drying with porous burners in industrial environments.

La Figura 2.7 nos muestra un ejemplo de la estructura de la unidad de gas infrarrojo, los quemadores individuales son alineados en serie para obtener la longitud de onda deseada. Notar que el suministro del calentador es alimentado con gas y aire de combustión de manera separada y el sistema de circulación es completamente independiente del sistema de circulación del aire ambiente. Aire de combustión y gas son suministrados al quemador, las superficies calientes del quemador emiten una muy pareja radiación infrarroja que luego es usada para secar o calentar. Los gases calientes del proceso de combustión y los solventes evaporados en el proceso de secado – usualmente vapor – son colectados vías ductos de succión.

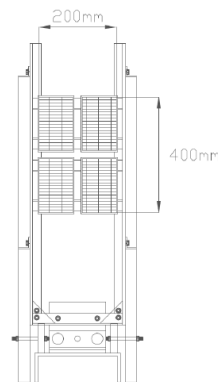


Figura 2.7 Esquema del arreglo del quemador poroso.

Fuente Maluk C, Bisby L, Terrasi G, Krajcovic M and Torero JL. 2012. Novel Fire Testing Methodology: Why, how and what now?

En la tecnología de combustión de un medio poroso el proceso de combustión no toma lugar en un flujo de gas puro como sucede en una combustión convencional. En este caso la combustión toma lugar en un medio poroso inerte, con un proceso efectivo de transporte de calor 100 veces más alto que una combustión con una llama de combustión libre. Como se muestra en la Figura 2.7 se expone una superficie de 200 x 400 mm a flujos de calor de entre 5 a 100 KW/m² con una homogeneidad mejor del 90% y producir temperaturas mayores a los 1400 °C.



Figura 2.8 Datos técnicos del quemador poroso.

Fuente: Gogas - Process heat and drying technology - Plant construction

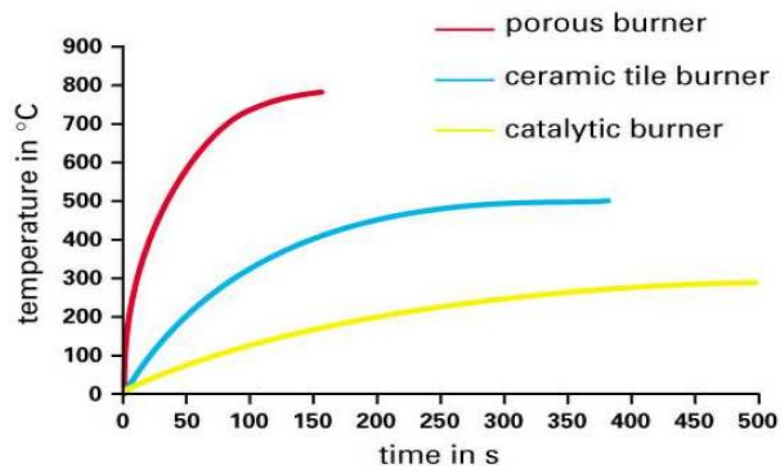


Figura 2.9 Comparación de los tiempos en los que los distintos quemadores alcanzan su temperatura máxima.

Fuente: Gogas - short wave burners – porous burners RADIMAX

2.2.2 Transmisión de potencia

En esta sección se detallará un poco sobre las dos alternativas de transmisión de potencia que se están manejando en el diseño del banco de pruebas, que son: la transmisión de potencia por cadena y la transmisión de potencia por medio de tornillo sin fin.

2.2.2.1 Transmisión por cadena

Los sistemas de transmisión por cadena se utilizan generalmente como su nombre mismo lo indica para transmitir movimiento entre dos ejes semejantes que se encuentran distanciados entre sí. Si bien la finalidad sistema depende de la configuración de sus elementos, el sistema puede servir como sistema de transmisión de movimiento, sistema transportador o como sistema de elevación. La condición que les da la capacidad de transmisión, es que los dientes de las ruedas dentadas no permiten que la cadena se resbale, por lo que esto la constituye como uno de los métodos más eficientes empleados en la transmisión de potencia.



Figura 2.10 Sistema de transmisión por cadena.

Fuente: Mecanismos – Elisa Calvo Villanueva – marzo 2016

2.2.2.2 Transmisión por tornillo de potencia

Los tornillos de potencia por lo general se utilizan para convertir un movimiento angular o de giro, en un movimiento de traslación o lineal, complementado por una transmisión de esfuerzo. Son muy frecuentes en muchas aplicaciones, como tornillos de avance en máquinas herramientas,

mordazas, gatos mecánicos para elevación de vehículos, prensas y dispositivos de elevación de carga de manera general, máquinas de ensayos universales, todo esto debido a que permiten desarrollar grandes fuerzas a lo largo de su respectivo eje.

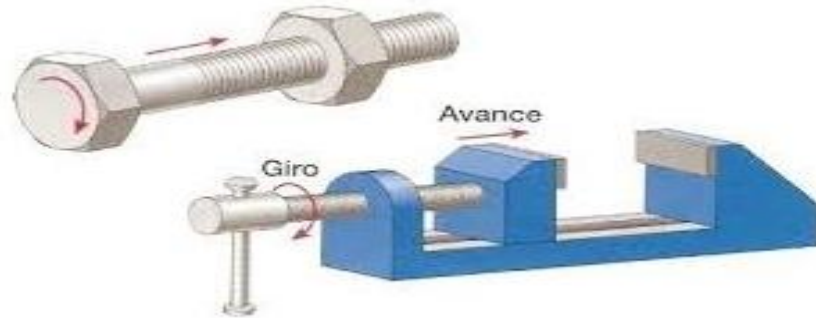


Figura 2.11 Sistema de transmisión por tornillo de potencia.

Fuente: ingemecanica - tutorial número 131

2.3 Criterios de selección

Se conoce como criterios de selección a los requisitos y restricciones que se deberán tomar en cuenta y que generalmente son impuestos por la aplicación del sistema, así como otras consideraciones generales. Para el caso de los emisores infrarrojos cada uno posee características y configuraciones diferentes, en esta sección se procederá a elaborar un criterio para seleccionar la fuente adecuada para nuestro banco de pruebas realizando una comparación entre ellas.

- **Potencia máxima:** Es un criterio muy importante para tener en cuenta ya que de la potencia máxima de radiación depende la simulación de los peores casos en un incendio y así se podrán evaluar de una manera más rigurosa los materiales, se ha decidido darle un valor de 35%.
- **Tiempo de respuesta:** Para aplicaciones móviles como es el caso de nuestro banco de pruebas es de vital importancia obtener un encendido rápido, así como una respuesta oportuna a cambios de cargas térmicas. Se ha decidido que su valor sea de 25%.

- Ahorro energético: Para todo proyecto es importante considerar el ahorro energético que este produce, ya que esto implica un ahorro de dinero a la hora de estimar los gastos de operación del banco de pruebas. Se le ha dado un valor del 25%.
- Mantenimiento: Uno de los criterios que siempre se debe considerar es el mantenimiento, ya que mientras el banco de pruebas (para nuestro caso) sea más fácil de darle mantenimiento más rápido se lo puede volver a poner en marcha, esto produce un ahorro en el tiempo y de dinero. Se le ha dado un valor del 15%.

Para el caso del sistema motriz se presentan dos opciones como transmisión por cadena y transmisión por tornillos de potencia.

- Precisión del sistema: Es un criterio muy importante para la captación de datos, ya que dependiendo de eso podemos medir el avance del equipo y poder plasmar los datos correctamente en la gráfica temperatura vs distancia 30%.
- Mantenimiento: Uno de los criterios que siempre se debe considerar es el mantenimiento, ya que mientras el banco de pruebas (para nuestro caso) sea más fácil de darle mantenimiento más rápido se lo puede volver a poner en marcha 20%.
- Confiabilidad: Debe asegurar un óptimo funcionamiento, ya que va a estar sometido a grandes temperaturas durante un tiempo considerable (la mayor de las pruebas dura 8 horas) 20%.
- Estética: Este criterio lo consideramos debido a que el sistema que escojamos debe tener una buena apariencia para poder ser presentado en el laboratorio 10%.
- Costos: Se debe presentar la alternativa más económica y optima 20%

2.4 Análisis mediante matriz de decisión

Con las alternativas enunciadas y los criterios definidos y ponderados es posible definir la alternativa que satisface la mayoría de los criterios mediante el método de la matriz de decisión, en la cual se analiza detalladamente cada configuración propuesta en base a los criterios como Temperatura Superficial Máxima, Potencia máxima y otros. En la tabla 2.3 se observa el desarrollo de la matriz de decisión y es importante notar que la alternativa 3 que corresponde al irradiador poroso posee una mayor calificación que el resto ya que dos de los tres criterios más importantes (temperatura, potencia y ahorro) posee un valor más elevado.

Tabla 2.3 Matriz de decisión emisores infrarrojos.

Emisores	Potencia máxima	Tiempo de respuesta	Ahorro energético	Mantenimiento	Total
	35/35	25/25	25/25	15/15	100/100
Gas	25/35	18/25	15/25	12/15	70/100
Eléctrico	20/35	23/25	20/25	12/15	75/100
Gas-Poroso	32/35	24/25	20/25	12/15	88/100

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar para todos los casos se tiene que los valores de temperatura y potencia máxima son iguales, ya que como se mencionó al momento de detallar los criterios estos están claramente relacionados, por lo que a mayor temperatura superficial máxima se obtendrá una mayor potencia máxima de emisión. Para el caso del tiempo de respuesta y de ahorro energético podemos observar que los emisores eléctricos y de gas-poroso obtienen calificaciones parecidas debido a que según las curvas que se presentan en el detalle de cada uno presentan valores que son aproximadamente iguales por lo que no presentarían mayor diferencia entre cada uno. Y por último todos tienen la misma ponderación en el criterio de mantenimiento debido a que, todos los sistemas que completan la alimentación de los emisores son simples, y no se incurriría en mucho gasto en lo que a tiempo y dinero respecta, a continuación, en

la tabla 2.4 se observa la comparación entre las dos alternativas del sistema matriz en donde la precisión del sistema es la que más ponderación tiene debido a la importancia que implica al momento de la captación de datos.

Tabla 2.4 Matriz de decisión Sistema Matriz.

Sistema Matriz	Precisión del sistema	Mantenimiento	Confiabilidad	Estética	Costos	Total
	30/30	20/20	20/20	10/10	20/20	100/100
Transmisión por cadena	10/30	20/20	7/20	5/10	15/20	57/100
Transmisión por tornillo de potencia	25/30	15/20	15/20	10/10	10/20	75/100

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Requerimiento previo al diseño

2.5.1 Balance de energía en la combustión

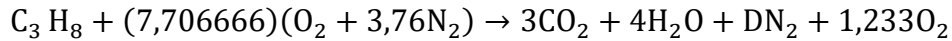
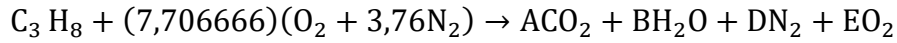
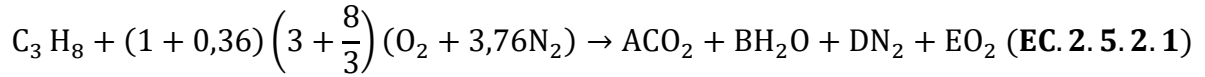
Para conocer el flujo de gas necesario para poner al máximo las fuentes de calor, es necesario hacer un balance de energía con las especificaciones de las fuentes de calor en forma de radiación, en donde se realizará un balance químico estequiométrico para conocer la relación aire combustible, y conocer el flujo de aire y combustible, además nos ayudara con la selección de bombonas de suministro de gas propano, se escoge el exceso de aire que sugiere la tabla 2.5, para el Propano $C_3H_8 \rightarrow$ exseso de aire 36%.

Tabla 2.5 Relación Aire Combustible.

PROPANO	OXIGENO	AIRE
1 m ³	5 m ³	23,9 m ³
1 kg	2,55 m ³	12,15 m ³
1 kg	3,64 kg	15,7 kg
BUTANO	OXIGENO	AIRE
1 m ³	6,5 m ³	31,1 m ³
1 kg	2,51 m ³	12,02 m ³
1 kg	3,59 kg	15,5 kg

Fuente: SIAFA – Seguridad, Higiene y Medio Ambiente – Ladislao Díaz Moreno.

2.5.2 Cálculo estequiométrico.



$$C \rightarrow A=3$$

$$H \rightarrow 8=2B; \quad B=4$$

$$O \rightarrow 2(7,706666) = 2A + B + 2E; \quad E=2,7066$$

$$N \rightarrow 2(7,706666)(3,76) = 2D; \quad D=57,954$$

$$\frac{A}{F} = 24; \text{ Razón aire combustible. (EC. 2. 5. 2. 2)}$$

Tabla 2.6 Poder Calorífico de Combustibles Gaseosos.

Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Gas natural	(*)	39900	44000	Gas de agua	0'711	14000	16000
Gas de hulla	0'50		46900	Gas ciudad	0'650	26000	28000
Gas de coquería	0'56	31400	35250	Gas de agua carburado	0'776	26400	27200
Gas de aire	----	10000	12000	Propano	506 (l) 1'85 (g)	46350	50450
Hidrógeno	0'0899	120011	141853	Butano	580 (l) 2'4 (g)	45790	49675

Fuente: biblioteca.uns.edu.pe

2.5.3 Cálculo de balance de energía en los irradiadores.

Datos de los irradiadores.

- $L=0,2$ m. lado de la fuente
- $X=0,1$ m. ancho de la fuente
- $R=120$ KW/m² radiación máxima
- $AR=4(L*X)$ área de radiación
- $Rm_2=R*(AR)$ calor de radiación
- $PCI=46350$ KJ/Kg poder calorífico inferior
- $Q_{in}=PCI*mf$ calor de entrada
- $n=0,8$ eficiencia
- $n=(Rm_2) / Q_{in}$
- $A/F=19,44$
- $ma= (A/F) *(mf)$

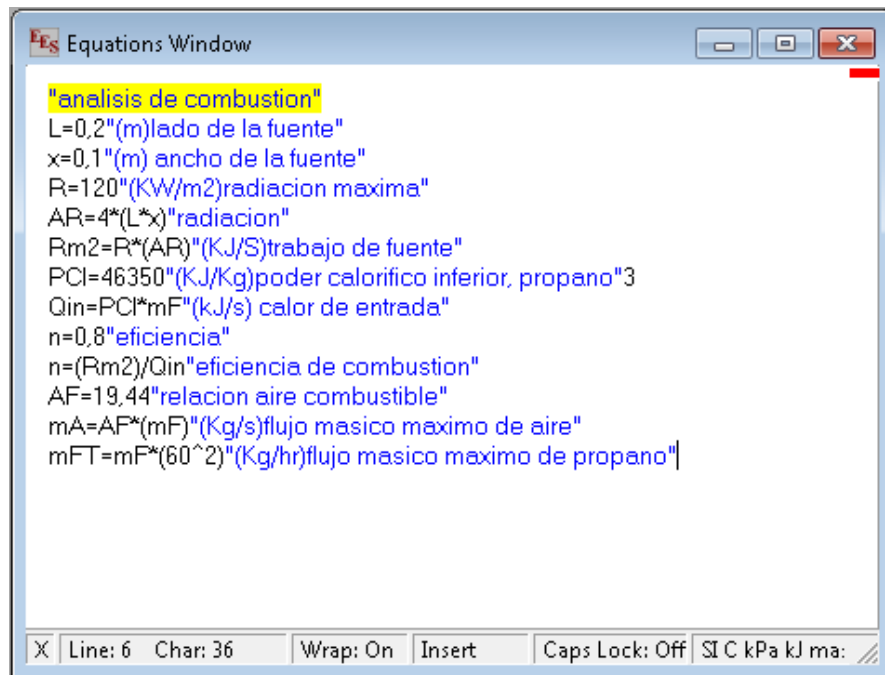


Figura 2.12 Planteamiento de ecuaciones de balance de energía
Fuente: elaboración propia

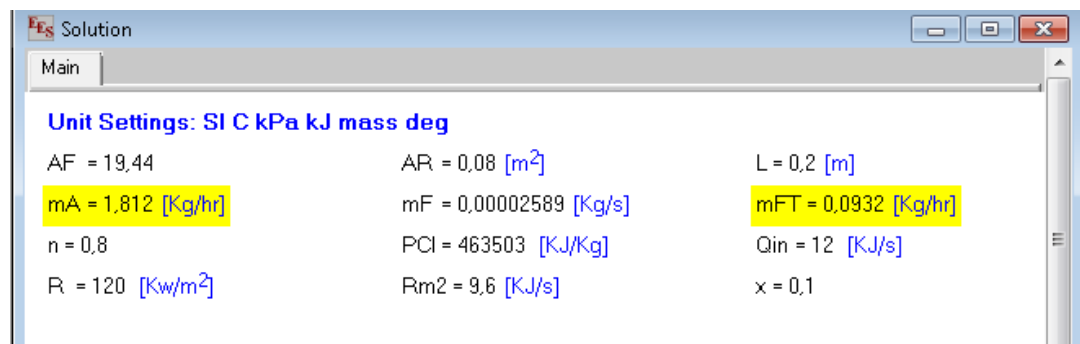


Figura 2.13 Convergencia y solución de ecuaciones
Fuente: elaboración propia.

Con este análisis se pudo determinar el flujo de gas y aire necesario para realizar ensayos a la máxima combustión, en donde según la figura 2.13 podemos observar que el flujo másico máximo de aire necesario para realizar la prueba es de $1.812 \frac{Kg}{hr}$ y el máximo flujo másico de gas propano es de $0.0932 \frac{Kg}{hr}$.

2.5.4 Cálculos representativos alimentación del irradiador

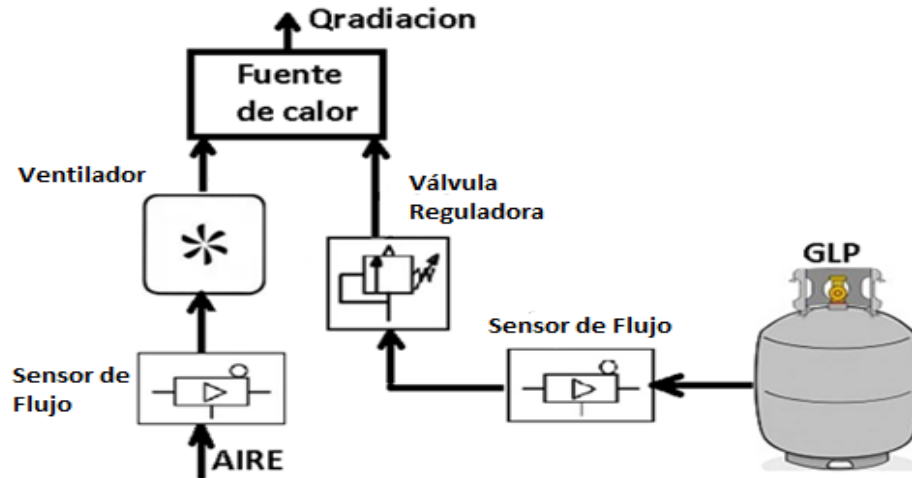


Figura 2.14 Sistema de alimentación del irradiador de gas poroso

Fuente: elaboración propia.

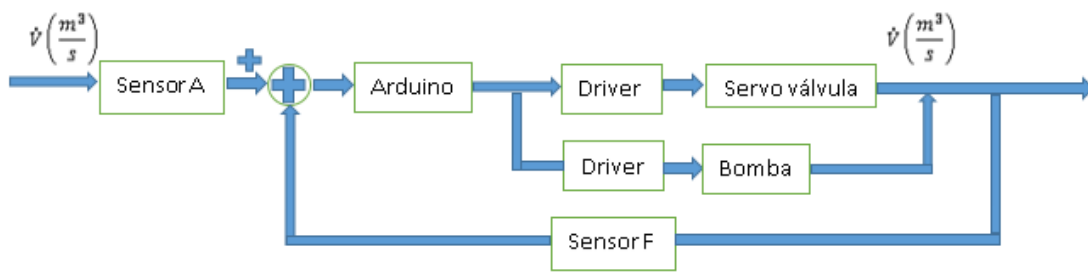


Figura 2.15 Lazo de control sistema de alimentación del irradiador

Fuente: elaboración propia.

Para suministrar el flujo de GLP para la máxima combustión, es necesario el suministro de una bombona de GLP de tipo industrial de 15 kg, con condiciones de transferencias de calor estables, para realizar el análisis del comportamiento del flujo en una bombona de GLP se necesitará conocer las siguientes variables:

- **Tens**= tiempo por cada ensayo
- **Mxglp**= masa de GLP por cada bombona
- **MFT**= flujo máximo de GLP
- **RV**= relación bifásica de GLP

- **Pmax**= presión interna máxima.
- **VT**= volumen máximo de cada bombona
- **VM**= volumen máximo mojado.
- **VAP**= flujo de vaporización(Kg/h)
- **Tens**= 4 horas
- **mGLP**= 15 kg
- **MFT**= 0,0932kg/h
- **RV**= 1 galón de líquido equivale a 71,75 galones gaseoso
- **Pmax**= 1,73 MPa en una bombona
- **VT**= 0,11 m³
- **VM**= 0,85 VT

Además, se puede utilizar esta ecuación:

$$VAP=P*S*K*\left(\frac{T_e-T_g}{CLV}\right); \text{ (EC. 2. 5. 4. 1)}$$

Donde;

- **P**= es la superficie del depósito en contacto con el líquido, o superficie mojada (m²).
- **S**= superficie total exterior del depósito (m²).
- **K**= coeficiente de transferencia de calor entre las paredes de la bombona
k=0,2 KW/m² °C
- **T_e**= temperatura exterior mínima del ambiente donde está instalada la bombona.
- **T_g**= temperatura del gas en el interior del depósito, que a 1,7 MPa T_g= -10 °C
- **CLV**= calor latente de vaporización del propano comercial
CLV=0,11Kw*h/Kg.
- **D**= diámetro del cilindro (m).
- **H**= altura del cilindro (m).
- **VC**= volumen del cilindro (m³).
- **Vcas**= volumen de las partes semielipsoidales (m³)
- **VT**= volumen total de la bombona (m³)
- **Ac**= área cilíndrica (m²).
- **AM**= área mojada (m²).
- **Aex**= área exterior del cilindro (m²).
- **P**=AM (m²).
- **S**=Aex (m²).

Datos geométricos del tanque

Se asume que la parte del casco inferior queda sin evaporar.

$$D = \frac{300}{1000}$$

$$VC = 3,1415 \cdot \left[\frac{D}{2} \right]^2 \cdot H \quad (\text{EC. 2.5.4.2})$$

$$V_{\text{cas}} = 2 \cdot 0,19 \cdot VT \quad (\text{EC. 2.5.4.3})$$

$$VT = VC + V_{\text{cas}} \quad (\text{EC. 2.5.4.4})$$

$$AC = 3,1415 \cdot D \cdot H \quad (\text{EC. 2.5.4.5})$$

$$AM = AC + \frac{V_{\text{cas}}}{2} \quad (\text{EC. 2.5.4.6})$$

$$A_{\text{ex}} = 1,15 \cdot (AC + V_{\text{cas}}) \quad (\text{EC. 2.5.4.7})$$

$$P = AM$$

$$s = A_{\text{ex}}$$

$$K = 0,2$$

$$T_e = 24$$

$$T_g = -10$$

$$CLV = 0,11$$

$$m_{\text{Vap}} = P \cdot s \cdot K \cdot \left[\frac{T_e - T_g}{CLV} \right] \quad (\text{EC. 2.5.4.8})$$

$$\rho_{\text{hog}} = 1,85$$

$$W_{\text{Vap}} = \frac{m_{\text{Vap}}}{\rho_{\text{hog}}} \quad (\text{EC. 2.5.4.9})$$

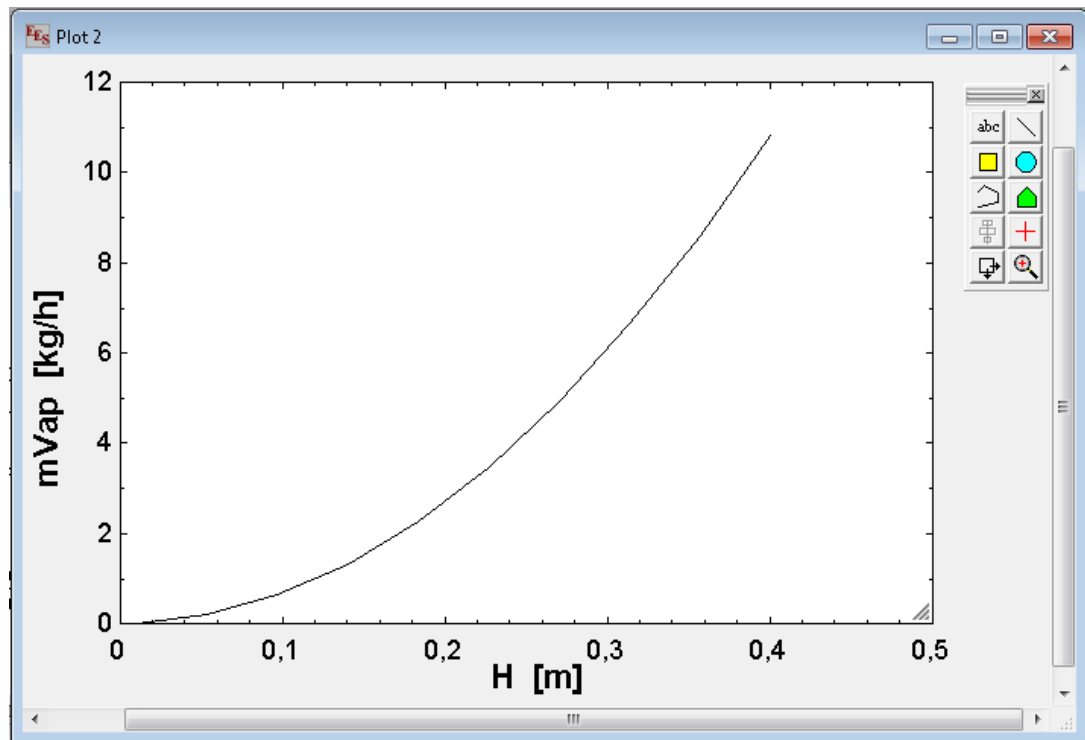


Figura 2.16 Comportamiento del flujo de GLP con respecto al nivel de líquido

Fuente: elaboración propia.

Del resultado del análisis del flujo de GLP, según la Figura 2.16 se puede demostrar que el flujo de gas no es superado por el flujo de GLP máximo, además, la masa de gas se divide para el flujo crítico y resulta que existe GLP para 161 horas de funcionamiento.

2.5.5 Análisis de radiación para rieles

Se analizará si la temperatura máxima de trabajo del riel supera las condiciones de diseño, para realizar el análisis de radiación que incide en los rieles es necesario saber las propiedades térmicas y geometría de los rieles, como lo indica la Figura 2.17

Composición Química (Valores Típicos)				
%C	%Mn	%Si	%P	%S
≤ 0,26	0,80 -1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm ²)		Elongación
(Kg/mm ²)	MPa	(Kg/mm ²)	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Mínimo Radio Interior de Plegado en Frío		
Espesor E (mm.)		
Hasta 20 mm. (Incl.)	Sobre 20 mm. hasta 25 mm. (Incl.)	Sobre 25 mm. hasta 50 mm. (Incl.)
1,5 X E	1,5 X E	1,5 X E

Figura 2.17 Propiedades de los materiales estructurales del riel

Fuente: elaboración propia.

$h= 60\text{mm}$

$b=30\text{mm}$

$c=10\text{mm}$

$e=1,5\text{mm}$

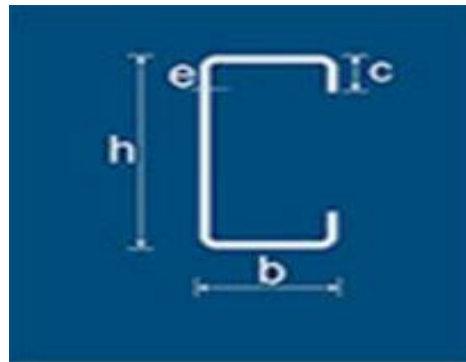


Figura 2.18 Geometría de un riel

Fuente: Novacero –catálogo de productos.

A continuación, se modelará la incidencia de radiación en uno de los rieles y las pérdidas de energía por convección, como se muestra en la figura 2.19, además se trabajará con la máxima tasa de radiación para ver si las condiciones de trabajo son las adecuadas.

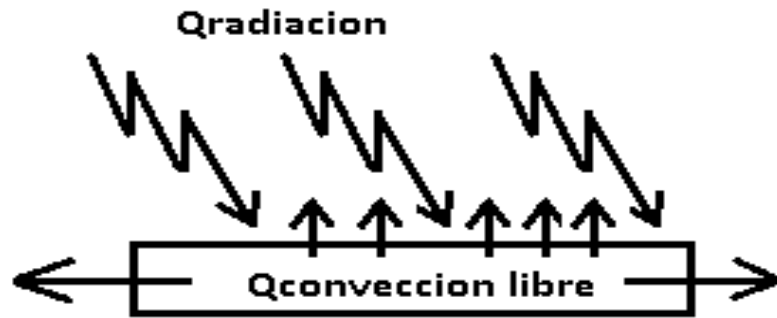


Figura 2.19 Esquema de incidencia de calor en un riel

Fuente: elaboración propia.

Se modela la incidencia de calor como un recinto de radiación como muestra la figura 2.20

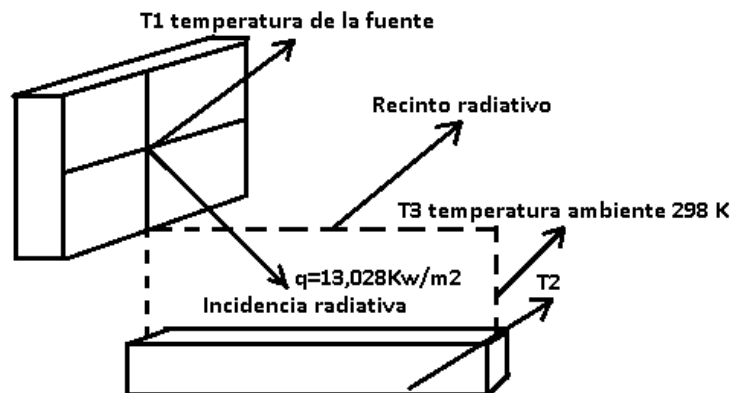


Figura 2.20 Distribución de energía

Fuente: elaboración propia.

2.5.6 Análisis de radiación

Es necesario establecer un balance de energía con respecto a la geometría del riel, en las cuales se establecen las siguientes ecuaciones.

- Q_2 ; calor del riel
- C_p ; calor específico del material del riel
- ΔT ; Diferencial de temperatura antes de iniciar la prueba y la máxima temperatura en el transcurso de la prueba.
- T_2 ; Máxima temperatura superficial de la prueba.
- T_1 ; Temperatura de la fuente de radiacion.

- T_3 ; Temperatura del ambiente
- $Q_{\text{fuente radiativa}}$; Calor que interactúa entre la fuente de calor y la superficie del riel.
- $Q_{\text{radiacion del ambiente}}$; Calor que interactúa la fuente de calor y el ambiente
- $Q_{\text{conv horizontal}}$; Calor por convección natural de las paredes horizontales del riel
- $Q_{\text{conv vertical}}$; Calor por convección natural de las paredes verticales del riel
- J ; flujo de calor por radiación.
- A_2 ; Área horizontal del riel.
- $F_{2,1}$; Factor de forma de radiación.
- $F_{2,3}$; Relación de factor de forma de $F_{2,1}$

$$Q_2 = m \cdot C_p \cdot \Delta T = (2,8 \text{Kg}) \cdot (434 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}) \cdot (T_2 - 298 \text{K}) \quad (\text{EC. 2. 5. 6. 1})$$

$$Q_2 = Q_{\text{fuente radiativa}} + Q_{\text{radiacion del ambiente}} - Q_{\text{conv horizontal}} - Q_{\text{conv vertical}} \quad (\text{EC. 2. 5. 6. 2})$$

$$Q_2 = \left\{ \frac{J_2 - J_1}{A_2 (F_{2,1})} \right\} + \left\{ \frac{J_2 - J_3}{A_2 (F_{2,3})} \right\} - Q_{\text{conv horizontal}} - Q_{\text{conv vertical}} \quad (\text{EC. 2. 5. 6. 3})$$

$$Q_2 = \left\{ \frac{\sigma T_2^4 - \sigma T_1^4}{0,24 \text{m}^2 (0,5)} \right\} + \left\{ \frac{\sigma T_2^4 - \sigma T_3^4}{0,24 \text{m}^2 (0,5)} \right\} - Q_{\text{conv horizontal}} - Q_{\text{conv vertical}} \quad (\text{EC. 2. 5. 6. 4})$$

$$Q_2 = \left\{ \frac{5,67 \times 10^{-11} (T_2^4 - (1673^4))}{0,24 \text{m}^2 (0,5)} \right\} + \left\{ \frac{5,67 \times 10^{-11} (T_2^4 - (298^4))}{0,24 \text{m}^2 (0,5)} \right\} - Q_{\text{conv horizontal}} - Q_{\text{conv vertical}}$$

2.5.6.1 Análisis de convección horizontal.

- T_2 = se asume para para permitir la iteración.
- T_f = Temperatura fílmica
- R_{al} = Número de Rayleigh
- β = Coeficiente de expansión.
- L = Longitud de superficie.
- K = conductividad térmica.
- T_3 = 298 K

$$T_f = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad T_f \rightarrow (\gamma, \alpha, K, \beta, Pr) \quad \rightarrow Ra_{al} = \frac{(9,8)(\beta)(T_2 - T_3)L^3}{\nu * \alpha}$$

$$Q_{conv \text{ horizontal}} = \left(\frac{K}{\frac{b}{2}} (0,15 (Ra_{al})^{1/3}) \right) * (T_2 - T_3) * A_{horizontal} \quad (\mathbf{EC. 2. 5. 6. 5})$$

2.5.6.2 Análisis de convección vertical

- T_2 =asumir para iterar
- $T_3=298 \text{ K}$
- $A_{vertical}$; Área vertical del riel

$$T_f = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad T_f \rightarrow (\gamma, \alpha, K, \beta, Pr) \quad \rightarrow Ra_{al} = \frac{(9,8)(\beta)(T_2 - T_3)}{\gamma * \alpha}$$

$$\overline{Nu} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(Ra_{al})^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (\mathbf{EC. 2. 5. 6. 6})$$

$$Q_{conv \text{ horizontal}} = 2 \left\{ \left(\frac{K}{h} (\overline{Nu}) \right) * (T_2 - T_3) * A_{vertical} \right\} \quad (\mathbf{EC. 2. 5. 6. 7})$$

Iterando en EES $T_2 = 40 \text{ °C}$

2.5.6.3 Iteración de las ecuaciones de radiación de calor.

```

Equations Window
"Datos de la viga"
L=2"(m)longitud de la viga C"
h=0,06"(m) altura de la viga C"
b=0,03 "(m) base de l viga C"
P=1,49"(kg/m) peso por unidad de ongitud de la viga"
Ar=L*(2*h)+b "(m2) area promedio expuesta a radiacion"

"Datos de temperatura de recinto en radiacion"
T1=1673"(k)Temperatura de la fuente"
T3=298"(k)Temperatura del ambiente"
T2=313,25"(k)Temperatura superficial de la viga"
es=5,67*10^(-11)"(Kw/m^2 K^4)constante de Stefan Boltzmann"
Rfm=120"(Kw/m2) radiacion media en la viga"
F21=0,5"Factor de forma de radiacion"
F23=1-F21"Factor de forma de radiacion"

"Datos para conveccion libre placa horizontal"
Tf=(T2+T3)/2
mu1=Viscosity(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
rho1=Density(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
V=mu1/rho1
Pr=Prandtl(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
k1=Conductivity(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
Ralh=(9,8*(Tf^(-1))*(T2-T3)*((b*L)/((2*b)+(2*L)))^3)/V^2
QconvH=(k1/(b/2))*(0,54*(Ralh)^(1/4))*(b*L)*(T2-T3)

```

Figura 2.21 Planteos de ecuación de radiación

Fuente: elaboración propia

```

Equations Window
"Datos para conveccion libre placa horizontal"
Tf=(T2+T3)/2
mu1=Viscosity(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
rho1=Density(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
V=mu1/rho1
Pr=Prandtl(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
k1=Conductivity(Air_ha,T=Tf,P=101,32)
Ralh=(9,8*(Tf^(-1))*(T2-T3)*((b*L)/((2*b)+(2*L)))^3)/V^2
QconvH=(k1/(b/2))*(0,54*(Ralh)^(1/4))*(b*L)*(T2-T3)

"Datos para conveccion libre placa vertical"
Ralv=(9,8*(Tf^(-1))*(T2-T3)*(h)^3)/(V^2)
Qconvv=((k1/(h))*(0,68+((0,67*(Ralv)^(1/4))/(1+(0,492/Pr)^(9/16)))^(4/9))))*(2*h*L)*(T2-T3)

"Balance de energia"
m=P*L
c=437"(J/kg*k) calor especifico del acero ASTM A36"
T=(Q2/m*c)+T3

"ecuacion general"
Q2=(Rfm*Ar)+(es*(T2^4))/(1/(Ar*F21))+(es*(T2^4-T3^4))/(1/(Ar*F23))-QconvH-Qconvv

```

Figura 2.22 Planteos de ecuación de radiación

Fuente: elaboración propia

Main			
Unit Settings: SI K kPa kJ mass deg			
$A_r = 0,3 \text{ [m}^2\text{]}$	$b = 0,03 \text{ [m]}$	$c = 437 \text{ [J/kg}^*\text{K]}$	$es = 5,670E-11 \text{ [kw/m}^2\text{*K}^4\text{]}$
$F_{21} = 0,5$	$F_{23} = 0,5$	$h = 0,06 \text{ [m]}$	$k_1 = 0,0268 \text{ [W/m-K]}$
$L = 2 \text{ [m]}$	$m = 2,98 \text{ [Kg]}$	$\mu_{u1} = 0,00001881 \text{ [kg/m-s]}$	$P = 1,49 \text{ [Kg/m]}$
$Pr = 0,7067$	$Q_2 = 6,121 \text{ [w]}$	$Q_{convH} = 7,754 \text{ [m-K]}$	$Q_{convv} = 22,22 \text{ [w]}$
$R_{alh} = 5952 \text{ [k}^2\text{-s}^2\text{/m]}$	$R_{alv} = 398323 \text{ [k}^2\text{-s}^2\text{/m]}$	$R_{fm} = 120 \text{ [kw/m}^2\text{]}$	$\rho_{ho1} = 1,155 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
$T = 1196 \text{ [K]}$	$T_1 = 1673 \text{ [K]}$	$T_2 = 313,3 \text{ [K]}$	$T_3 = 298 \text{ [K]}$
$T_f = 305,6 \text{ [K]}$	$V = 0,00001628 \text{ [m}^2\text{/s]}$		

Figura 2.23 Resultado de la iteración

Fuente: elaboración propia

Con el resultado de la iteración que se muestra en la figura 2.23, se puede concluir que los rieles y materiales que forman parte de la estructura del carro portador de las fuentes, no serán afectados por algún significativo incremento de temperatura.

2.5.7 Cálculo cinemático y dinámico del carro portador de las fuentes

Para seleccionar el motor que generará movimiento del carro portador de las fuentes de calor, es necesario realizar un análisis general cinemático y dinámico, en donde las ecuaciones de sumatoria de fuerzas, cinemáticas, momento y potencia, convergen para hallar la fuerza lineal del motor (F_6), la cual nos proporcionará la potencia necesaria para sacar del reposo al carro portador de la fuente.

- Masa por unidad de Longitud de rieles cuadrados de 4,62 kg/1m.
- Peso de vigas verticales con carga 85 kg.
- Capacidad de peso del carro móvil 89,62 kg.

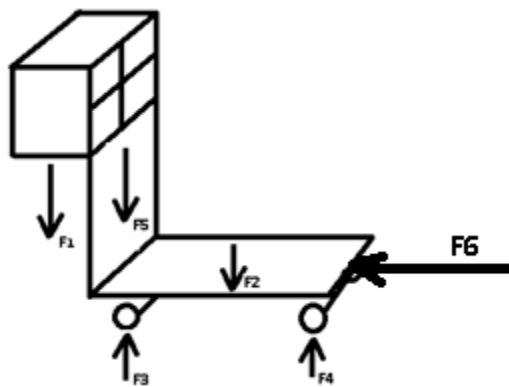


Figura 2.24 fuerzas en el carro

Fuente: elaboración propia

Carga de diseño para eje

$$F1 = (20\text{kg}) * (9,8\text{m/s}) = 196\text{N}$$

$$F2 = (4,62\text{kg}) * (9,8\text{m/s}) = 45,276\text{N}$$

$$F5 = (9,2\text{kg}) * (9,8\text{m/s}) = 90,16\text{N}$$

F6

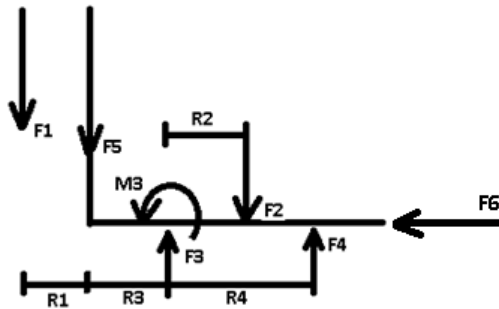


Figura 2.25 DCL del carro

Fuente: elaboración propia

$$R1=0,1\text{m}$$

$$R2=0,1\text{m}$$

$$R3=0,1\text{m}$$

$$R4=0,3\text{m}$$

$$r=\text{radio de la rueda}=0,028\text{m}$$

$$\sum M_3 = r * F6 - r * m * r * \alpha \quad (\text{EC. 2. 5. 7. 1})$$

$$F1(R1+R3) + F5(R3) + F4(R4) - F2(R2) = r * F6 - (r * m * r * \alpha)$$

$$833\text{N}(0,02\text{m}) + 90,16\text{N}(0,01\text{m}) + F4(0,03) - 45,276\text{N}(0,01\text{m}) = (0,028) (F6) - (0,028)^2 (0,804\text{kg}) \left(\frac{0,45\text{m/s}^2}{0,028\text{m}} \right)$$

$$F4 = F6(9,33) - 536,6$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F3 + F4 - F1 - F2 - F5 = 0 \quad (\text{EC. 2. 5. 7. 2})$$

$$F3 = (-F6(9,33) + 536,6) + 833\text{N} + 45,276\text{N} + 90,16\text{N}$$

$$F3 = -F6(9,33) + 1505,036\text{N}$$

2.5.7.1 Cálculo de velocidad angular y lineal del carro

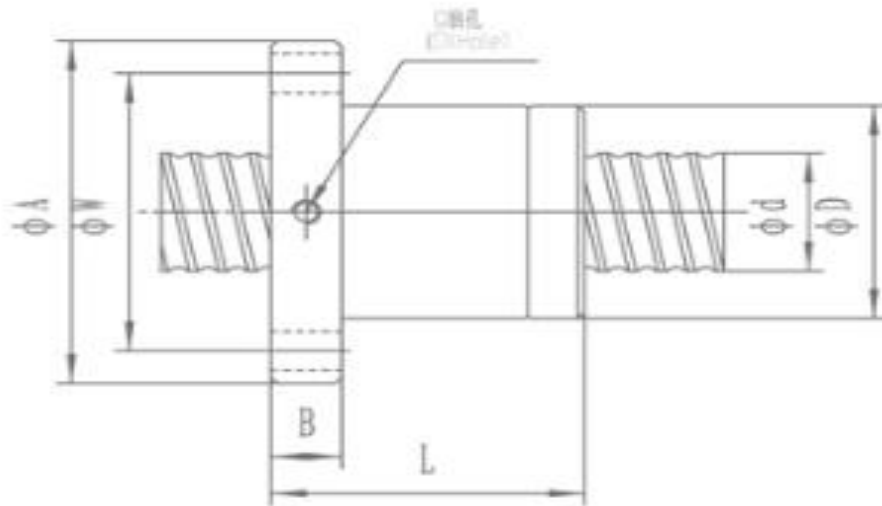


Figura 2.26 Mango transformador de movimiento circular a lineal de paso 2,8

Fuente: elaboración propia

- V_f =velocidad lineal de operación
- L/rev = longitud recorrido por cada revolución del motor o paso.
- Rev = revoluciones del motor.
- $V_f=0,03m/s$
- $L/rev=2,8 \text{ mm} \times rev$
- $Rev=\left(\frac{V_f \cdot 1000}{L/rev}\right) \cdot 60$
- $Rev=642 \text{ rev / min}$ velocidad dentro del rango, para un motor de paso.
Es necesario girar 357,14 rev para recorrer 1m

2.5.7.2 Análisis Cinemático del Carro

$$a = \frac{(0,03m/s)^2}{2\left(\frac{1mm}{1000}\right)} = 0,45m/s^2 \quad (\text{EC. 2. 5. 7. 2. 1})$$

$$\text{Tiempo de aceleración} = \left(\frac{V_f}{a}\right) = \frac{0,03m}{0,45m/s^2} = 0,06s \quad (\text{EC. 2. 5. 7. 2. 2})$$

2.5.7.3 Análisis Dinámico de las Ruedas

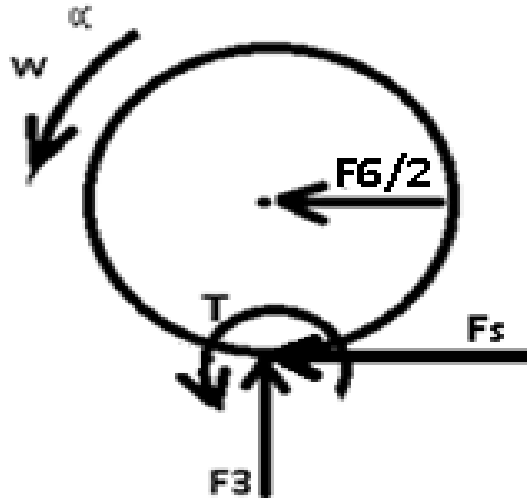


Figura 2.27 DCL de las ruedas del carro

Fuente: elaboración propia.

$$\sum x = ma \quad (\text{EC. 2.5.7.3.1})$$

μ ; coeficiente de fricción entre materiales metálicos.

$$2F_s + \left(\frac{F_6}{2}\right) = ma \rightarrow 2((\mu) F_3) + 2((\mu) F_4) + F_6 = (98,82\text{Kg})(0,45\text{m/s}^2)$$

$$2 \cdot 0,74(F_6(9,33) - 1505,036\text{N}) + (F_6(9,33) - 536,6) + F_6 = (98,82\text{Kg})(0,45\text{m/s}^2)$$

$$\mathbf{F_6 = 107,1\text{N}}$$

$$T = r * F_6 = (0,028) (490,5\text{N}) = \mathbf{13,73 \text{ Nm}} \quad (\text{EC. 2.5.7.3.2})$$

$$P = T * W = (3 \text{ N*m}) * \left(\frac{2 * \pi * 170\text{rpm}}{60}\right) = \mathbf{0,1025 \text{ HP}} \quad (\text{EC. 2.5.7.3.3})$$

```

Equations Window
"datos del carro"
mf=20"(kg)masa de la fuente de calor y sistema de distribucion de gas"
mc=mf+4,62+9,2"(kg)masa total del carro"
F1=(mf)*(9,8)"N"
F2=(4,62)*(9,8)"N"
F5=(9,2)*(9,8)"N"
R1=0,1"m"
R2=0,1"m"
R3=0,1"m"
R4=0,3"m"
coefros=0,74
r=0,028"m"
F1*(R1+R3)+F5*(R3)+F4*(R4)-F2*(R2)=((F6)*(r))-((r)^2)*(0,804)*((a)/(r))
F3+F4-F1-F2-F5=0
"calculo de revoluciones del tornillo de potencia"
Vf=0,00248 "(m/s)velocidad de desplazamiento del carro"
d=0,04"m distancia de aceleracio del carro"
relrevlong=0,0028"(m/rev) ralacion distancia revolucion"
Rev=((1/relrevlong)/(1/(Vf**60)))"(rpm) velocidad angular del motor del carro"
a=((Vf)^2)/(2*(d))"(m/s^2) aceleracion"
" analisis dinamico"
-2*((coefros)*F3)- 2*((coefros)*F4)+F6=(mc)*(a)
T=r*F6
P=((T*(2*3,1415*Rev)/60))*1,3410221)/1000

```

Figura 2.28 planteos generales de las ecuaciones de fuerzas y movimiento
Fuente: elaboración propia.

Unit Settings: SI K kPa kJ mass deg			
a = 0,00007688 [m/s ²]	coefros = 0,74	d = 0,04 [m]	F1 = 196 [kg]
F2 = 45,28 [N]	F3 = 431,3 [N]	F4 = -99,85 [N]	F5 = 90,16
F6 = 490,5 [N]	mc = 33,82 [Kg]	mf = 20 [kg]	P = 0,1025 [kg]
r = 0,028 [m]	R1 = 0,1 [m]	R2 = 0,1 [m]	R3 = 0,1 [m]
R4 = 0,3 [m]	relrevlong = 0,0028 [m/rev]	Rev = 53,14 [Rpm]	T = 13,73 [N*m]
Vf = 0,00248 [m/s]			

Figura 2.29 Solución y Convergencia de Ecuaciones
Fuente: elaboración propia.

Con los resultados de potencia y torque se selecciona el motor de la Figura 2.30

Electrical Specifications (85BYGH).

电机型号 Model	步距角 Step angel (°)	机身長 Motor Length L(mm)	相电压 Rate Voltage (V)	相电流 Rate Current (A)	相电阻 Phase Resistance (Ω)	相电感 Phase Inductance (mH)	静转矩 Holding Torque (N.m)	引线数 Lead Wire (NO.)	转动惯量 Rotor Inertia (kg.cm ²)	重量 Motor Weight (kg)
85BYGH450A-001	1.8	75	4.4	2	2.2	10	2.1	8	1.4	2.3
85BYGH450A-002	1.8	75	3	3	1	4.4	2.1	8	1.4	2.3
85BYGH450B-002	1.8	113	6.4	2	3.2	12	4.1	8	2.7	3.6
85BYGH450B-004	1.8	113	1.9	3.5	0.53	6.5	5.1	4	2.7	3.6
85BYGH450B-008	1.8	113	2.6	6	0.43	2.5	4.1	8	2.7	3.6
85BYGH450C-001	1.8	151	7.8	2	3.9	20	6.4	8	3.6	5
85BYGH450C-012	1.8	151	5.7	3	1.9	22	11.2	4	3.6	5

Figura 2.30 Selección de Motor Generador de Movimiento

Fuente: wan tai motor – product – stepper motor

2.6 Diseño del tornillo de potencia

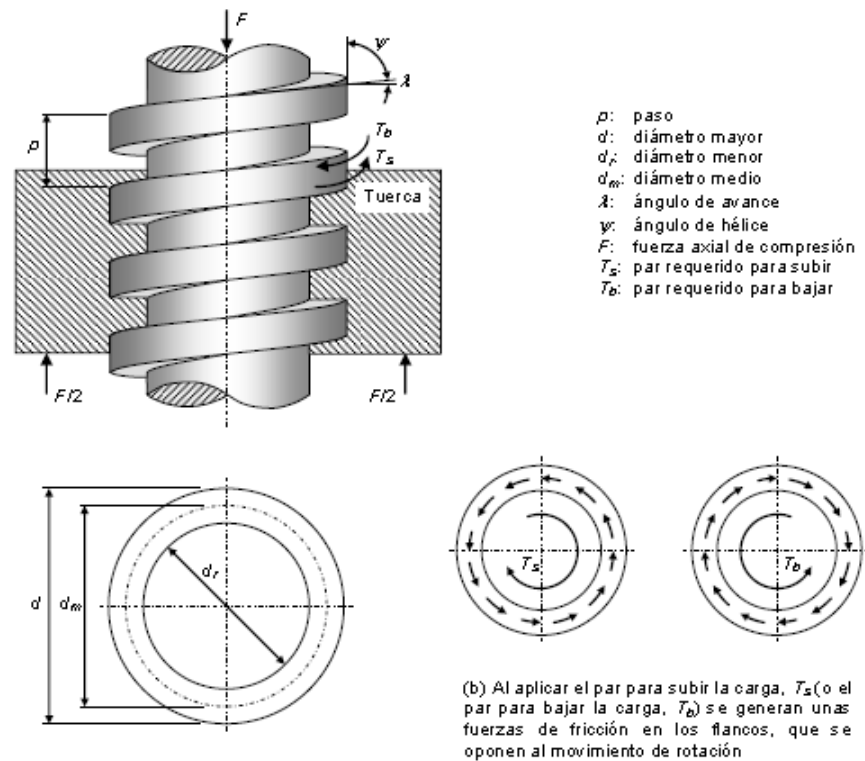


Figura 2.31 Tornillo de potencia

Fuente: elaboración propia.

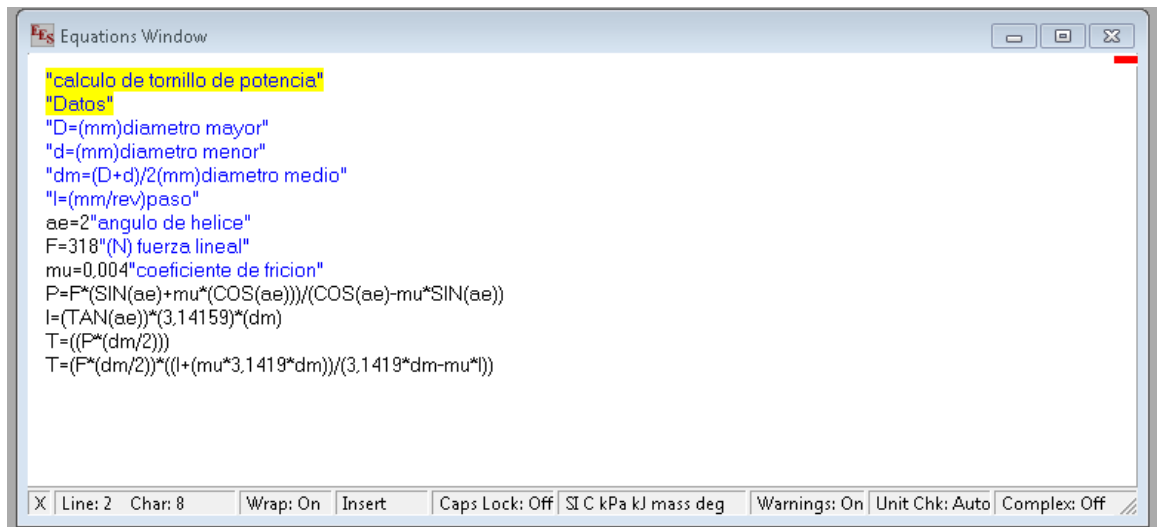


Figura 2.32 Ingreso de parámetros en EES

Fuente: elaboración propia.

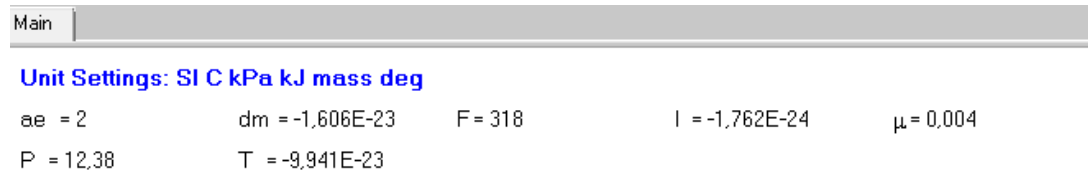


Figura 2.33 Ingreso de parámetros en EES

Fuente: elaboración propia.

- S_t = esfuerzo axial.
- S_{sT} = esfuerzo de torsión.
- S_y = Resistencia a la fluencia.
- $S_{ys} = 0,577S_y$ = esfuerzo de fluencia de Von Mises
- T'_s = torque máximo aplicado al tornillo.
- N = factor de seguridad.
- F_6 = fuerza axial aplicada al tornillo.
- A_t = área promedio del tornillo.
- d = diámetro externo del tornillo.
- d_r = diámetro menor del tornillo.
- $dm = (d+d_r)/2$; diámetro medio.

Se seleccionará el material de un tornillo de clase 8,8 medio o bajo carbón templado y revenido.

- **F6**= 490,5 N
- **T**= 13,73 Nm
- **S_y**= 660MPa
- **d**= 14,1mm/1000=0,0141m
- **d_r**= 11,3mm/1000=0,0113m
- **dm**= 12,7mm/1000 =0,0127m

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_m - d_r}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{0,0127\text{m} - 0,0113\text{m}}{2} \right)^2 = 3,848 \times 10^{-7} \text{m}^2 \quad (\text{EC. 2. 6. 1})$$

$$S_t = \frac{F_6}{A_t} = \frac{490,5 \text{ N}}{3,848 \times 10^{-7}} = 1274538769 \text{ Pa} \quad (\text{EC. 2. 6. 2})$$

$$S_{sT} = \frac{16T}{\pi d_r^3} = \frac{16(13,73 \text{ Nm})}{\pi 0,0113\text{m}^3} = 6188,2 \text{ Pa} \quad (\text{EC. 2. 6. 3})$$

$$N = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{S_t}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{S_{sT}}{S_{ys}}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1274538769 \text{ Pa}}{660000000 \text{ Pa}}\right)^2 + \left(\frac{6188,2 \text{ Pa}}{0,577(660000000 \text{ Pa})}\right)^2}} \quad (\text{EC. 2. 6. 4})$$

N=31867,37.

2.7 Diseño de pernos para la fuente de calor

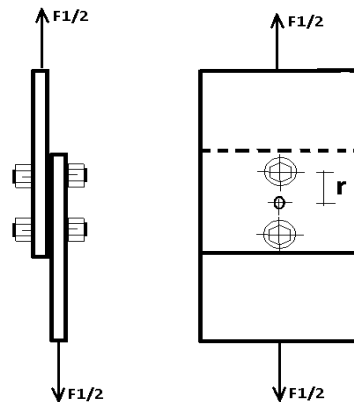


Figura 2.34 Diagrama de fuerzas para los pernos que soportan las fuentes de calor

Fuente: elaboración propia.

Para diseñar los pernos que soportan la carga de las fuentes de calor es necesario saber las variables que dependen del acero de medio carbono templado y revenido de clase 9,8 la cual corresponde a pernos métrico.

- $\frac{F1}{2} = 98 \text{ N}$ como se muestra en la figura# 31.
- $F=49\text{N}$, sería la fuerza que actúa en cada perno.
- $S_y=720 \text{ Mpa}$, resistencia de fluencia mínima a la tracción.
- $D_p=0,00635\text{m}$; diámetro de perno o de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

$$S_{ys} = 0,577 * S_y \text{ (EC. 2. 7. 1)}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{49\text{N}}{\frac{\pi}{4}(0,00635^2\text{m})} = 1547243,79 \text{ Pa} \text{ (EC. 2. 7. 2)}$$

$$N_S = \frac{S_{ys}}{\tau} = \frac{0,577 * S_y}{386810,947 \text{ Pa}} = \frac{0,577 * (720000000)}{1547243,79 \text{ Pa}} = 268 \text{ (EC. 2. 7. 3)}$$

N_S , es el factor de seguridad para ecuaciones de diseño en cortante puro, lo cual nos da un resultado muy satisfactorio usando pernos de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro.

2.8 Diseño del sistema de control para el sistema motriz

El sistema de control que se utilizará para el banco de pruebas debe estar en capacidad de controlar todos los parámetros de ingreso para todos los experimentos que se vayan a realizar, es decir, al principio del ensayo debe medir las condiciones ambientales presentes en el recinto en donde se vaya a realizar el experimento, luego de esto según sea el comportamiento de la curva de temperatura vs tiempo - temperatura vs distancia que se quiera lograr, se debe programar al sistema motriz para que el experimento se realice mediante un movimiento continuo o en un movimiento por tramos iguales. Por último, el sistema de alimentación de gas debe manejar el comportamiento de la válvula de flujo de gas, es decir a medida que se vaya perdiendo presión en el tanque conforme se vaya realizando la prueba, el sistema debería de modular la válvula para que esta se vaya abriendo dependiendo del flujo de gas y presión que se necesite. En la figura 2.35 se muestra la interfaz del sistema de control en donde se muestra el cuadro selector de puerto de comunicación, en el que se selecciona el puerto usb bajo el que se va a trabajar la conexión con la tarjeta arduino, el porcentaje de humedad relativa que es unos de los parámetros iniciales que se debe de sensar al inciar la prueba, al igual que la temperatura ambiente, dependiendo de lo que se quiera evaluar se presentan varios

botones que muestran el desplazamiento que se le quiera dar al sistema motriz, al igual que el botón automático que hace que el sistema avance a una velocidad de $0.03 \frac{mm}{s}$ para que complete el recorrido total establecido para la prueba en un tiempo de una hora. Para el desarrollo de la prueba se tienen los acumuladores de desplazamiento cuya función es mostrar de manera gráfica y numérica el avance total de sistema motriz, para la medición de temperatura se muestran dos medidores que plasman las lecturas de las termocupas acopladas al sistema. Por último, se muestra una gráfica temperatura vs tiempo, en donde el parámetro de la temperatura es el promedio de las lecturas de las termocupas acopladas al sistema.

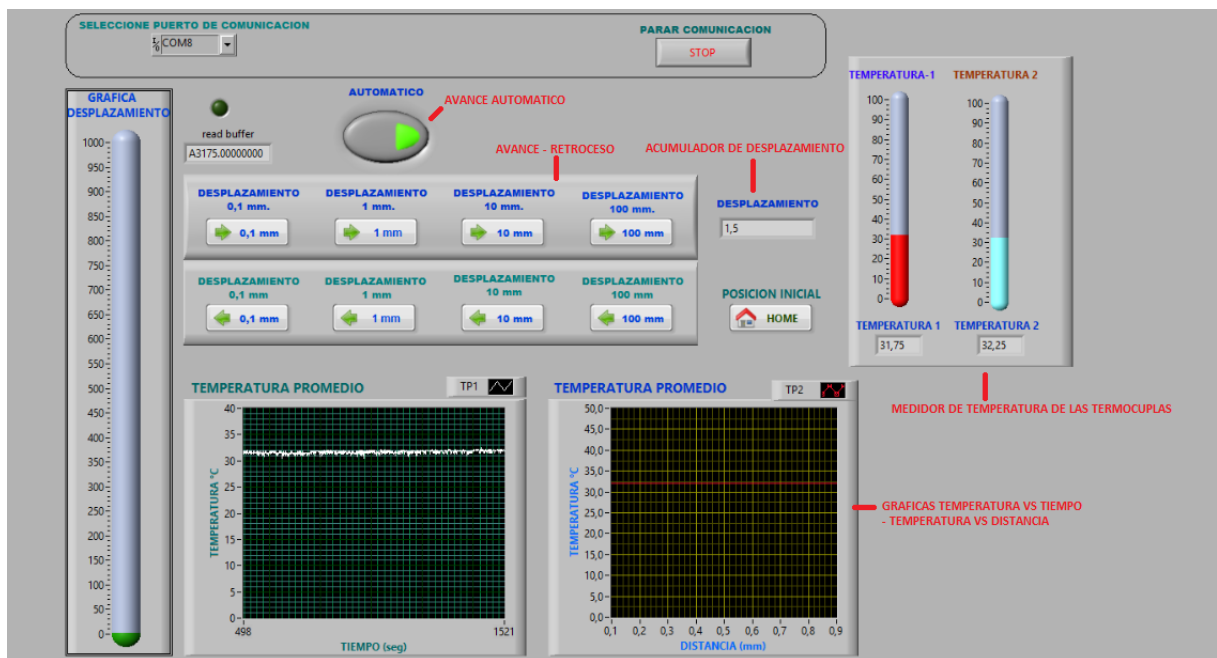


Figura 2.35 Interfaz del programa de control del sistema

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3

3 Simulación

En el presente capítulo, en las dos primeras secciones se mostrarán las simulaciones correspondientes a la parte estructural y térmica en las que se trabajará con una probeta de concreto. En el caso estructural se simulará un ensayo de compresión para ver el comportamiento de la probeta después de un determinado período de tiempo. Para la simulación térmica se evaluarán dos escenarios para la evaluación del comportamiento de la probeta y determinar cuál podría ser el más cercano a la realidad.

3.1 Simulación estructural del banco de pruebas

En la figura 3.1 se muestran los parámetros iniciales, en los que durante un tiempo de 5 segundos se someterá a la probeta a un esfuerzo de 30 KN para observar la tendencia de su comportamiento.

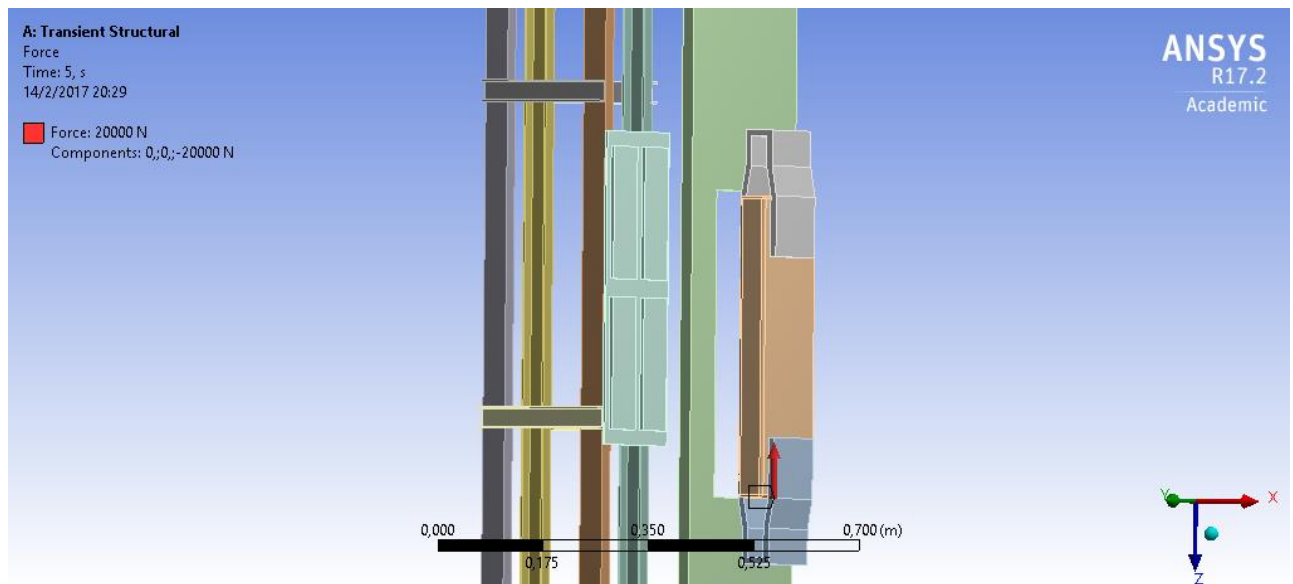


Figura 3.1 Parámetros iniciales

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.2 observamos el tipo de mallado que se generó antes de correr con la respectiva solución de la simulación.

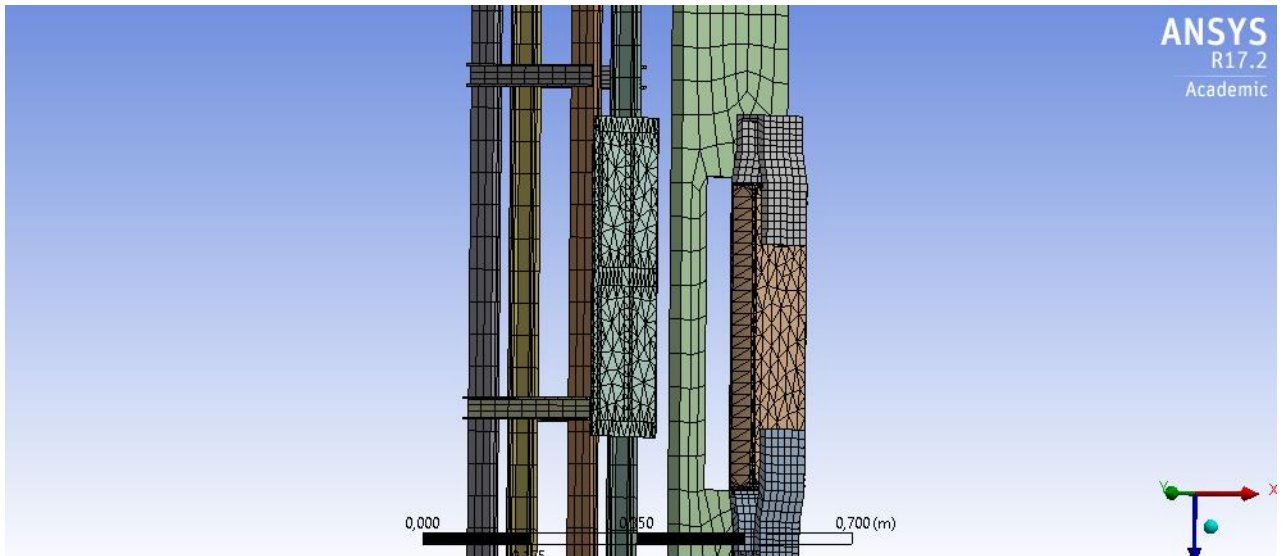


Figura 3.2 Mallado en el sistema

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.3 se puede mostrar el comportamiento del esfuerzo equivalente en la probeta en un tiempo de 5 segundos, en donde podemos observar que el esfuerzo máximo alcanza un valor de 7.631 MPa.

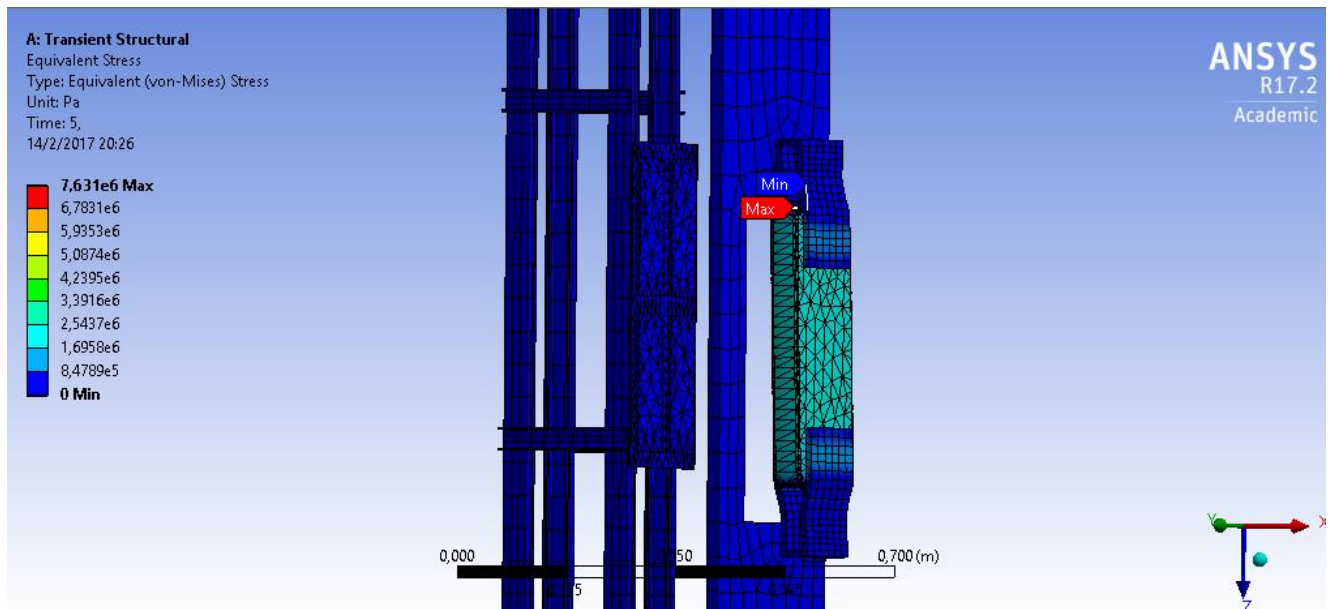


Figura 3.3 Esfuerzo equivalente

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.4 podemos observar la deformación total de la probeta en un tiempo de 5 segundos y cuyo valor máximo es de 5.46 MPa. La máxima deformación se

produce en la cara inferior de la probeta que es la parte que está expuesta a la fuerza que está ejerciendo la máquina de ensayos universales, mientras que la parte superior es la cara que únicamente está soportando las reacciones.

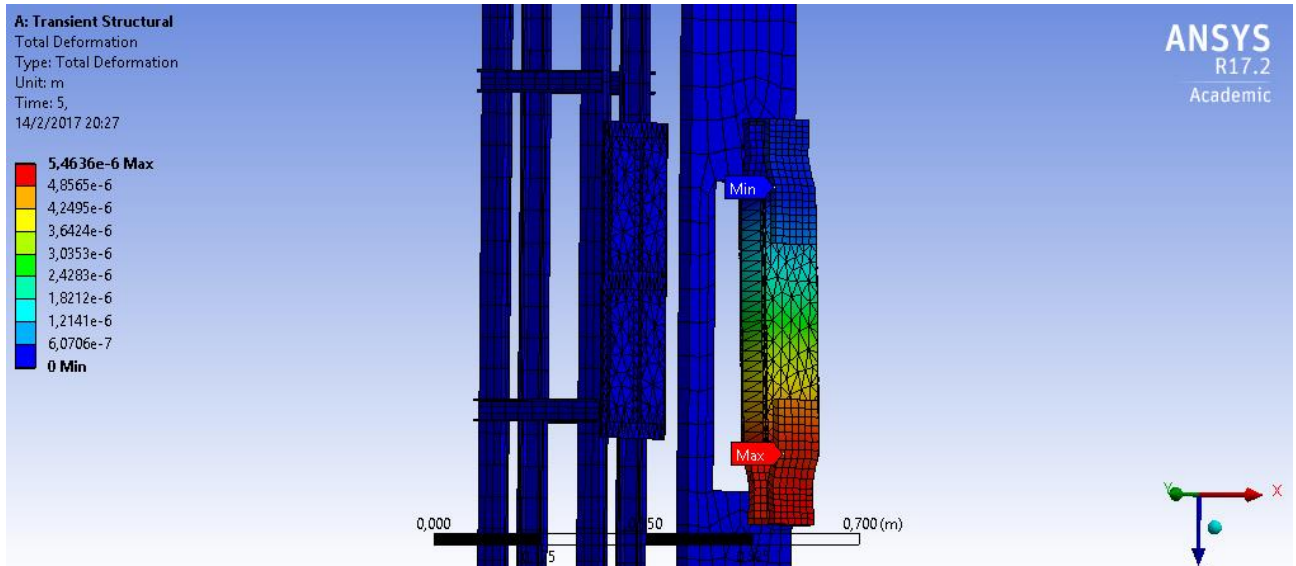


Figura 3.4 Deformación total

Fuente: elaboración propia.

3.2 Simulación térmica del banco de pruebas

Con respecto al análisis de temperatura en estado transiente vamos a presentar dos tipos de resultados, los primeros corresponden a la simulación bajo las condiciones de que la probeta recibe toda la radiación producida por el emisor infrarrojo, mientras que para el segundo caso se simulará un estado en el que el emisor infrarrojo no emita toda la radiación hacia la probeta, sino que aquí se considerarán todas las posibles pérdidas hacia el ambiente. Todo esto para observar el comportamiento de la probeta. En la figura 3.2.1 se mostrará el primer comportamiento explicado, en este caso la probeta alcanza una temperatura máxima de 278.93 °C en un tiempo de 60 segundos.

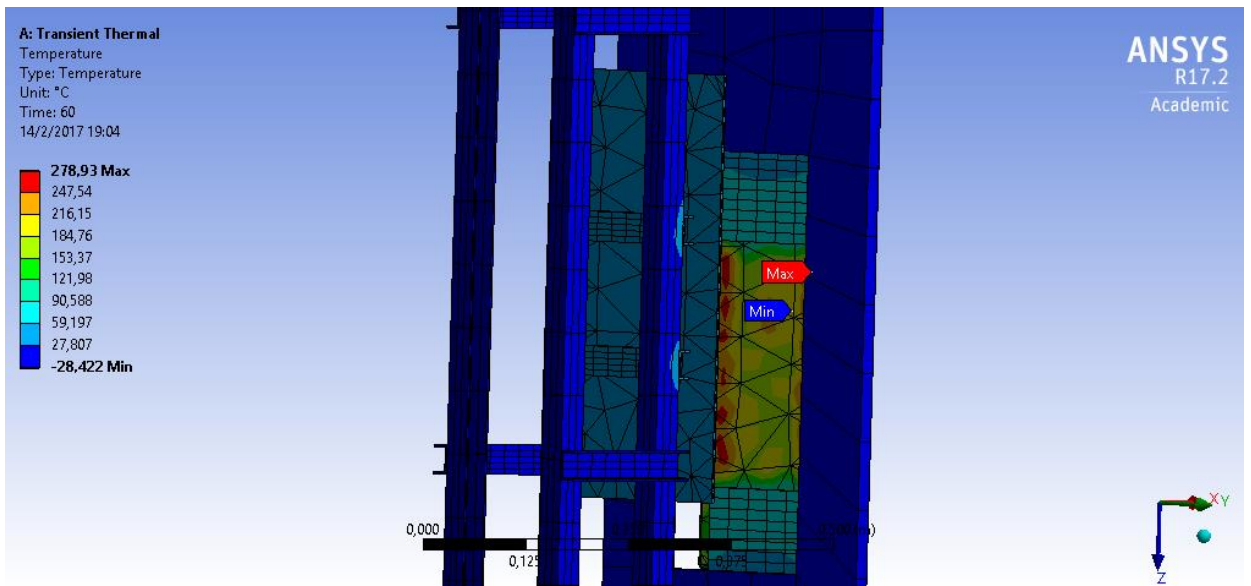


Figura 3.5 Comportamiento de la probeta con respecto a la temperatura

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.6 observamos mediante una gráfica el comportamiento de la temperatura máxima de la probeta con respecto al tiempo.

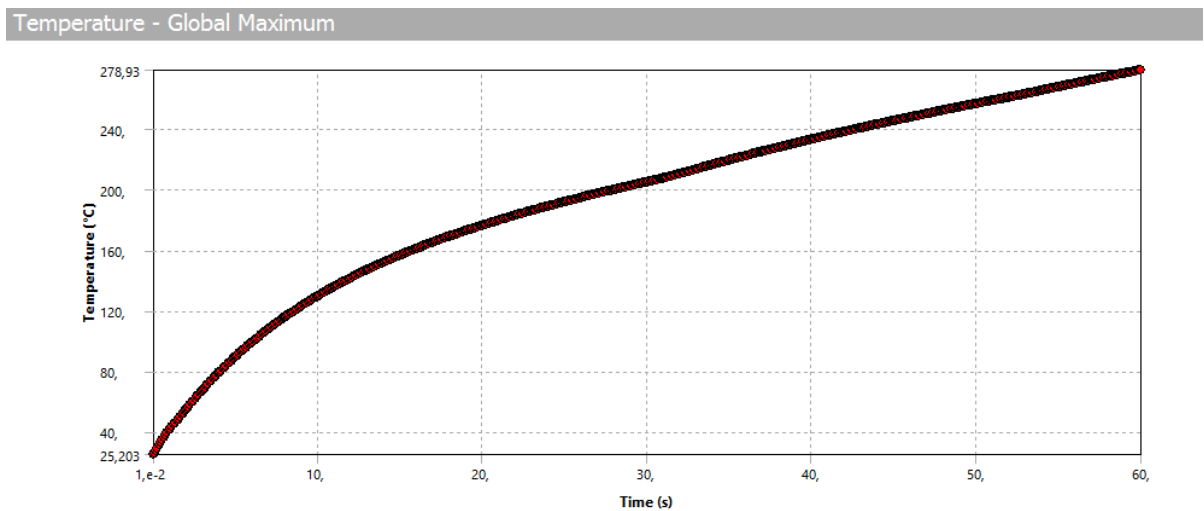


Figura 3.6 Comportamiento de la temperatura de la probeta con respecto al tiempo

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.7 podemos observar el comportamiento de la segunda consideración, en la que podemos observar resultados más satisfactorios.

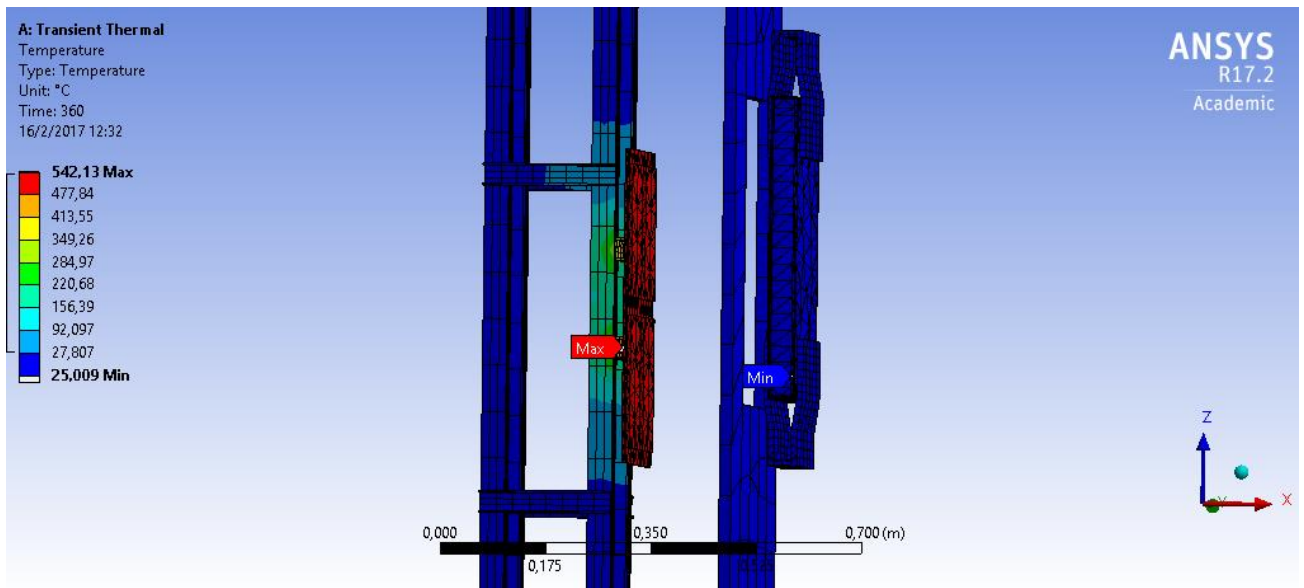


Figura 3.7 Comportamiento de la probeta con respecto a la temperatura

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.8 podemos observar el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo, y vemos como al tiempo de 360 segundos o 5 minutos llega a un máximo valor de 542.13 °C.

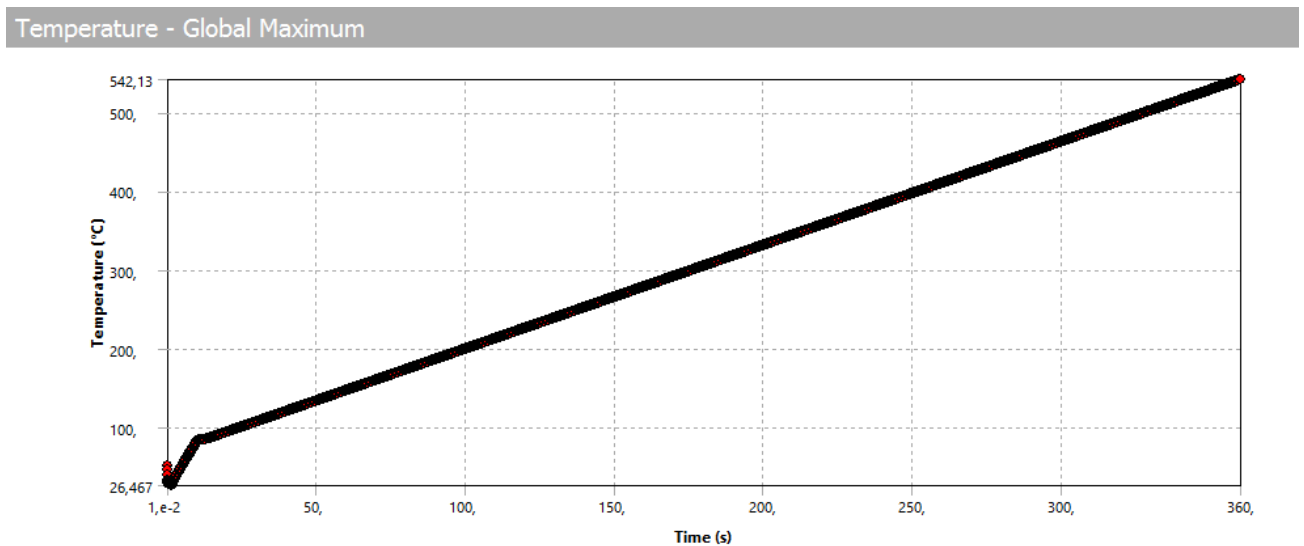


Figura 3.8 Comportamiento de la temperatura de la probeta con respecto al tiempo

Fuente: elaboración propia.

3.3 Análisis de resultados

De las alternativas de emisores infrarrojos que se manejaron, como fue el caso del emisor infrarrojo eléctrico, el emisor infrarrojo a gas y el emisor infrarrojo a gas poroso se decidió trabajar con el emisor infrarrojo a gas poroso ya que por su proceso efectivo de transporte de calor 100 veces más alto que una combustión con una llama de combustión libre, con el que obtenemos un flujo de calor de entre 5 a $100 \frac{KW}{m^2}$ con una homogeneidad mayor al 90% y produce temperaturas de hasta 1450 °C. Adicional en la tabla 2.3 se muestran los criterios bajo los cuales se realizó la respectiva comparación entre los tres tipos de emisores infrarrojos.

Para el desarrollo de esta prueba se requiere un flujo constante de gas y de aire, por lo que nos vimos en la necesidad de determinar los flujos máximos requeridos para el desarrollo de la misma. Aplicando un balance de energía a los irradiadores se obtuvo que el flujo de aire y gas necesario para realizar ensayos a la máxima combustión es de $1,812 \frac{Kg}{h}$ y $0,0932 \frac{Kg}{h}$ respectivamente. Según la figura 2.12 se puede demostrar que el flujo de gas no es superado por el flujo de GLP máximo, además, la masa de gas se divide para el flujo crítico y resulta que existe GLP para 161 horas de funcionamiento.

Para que la estructura del carro transportador y de la estructura del sistema en general no se vea afectada por algún cambio significativo en la temperatura se vio la necesidad de realizar un análisis de radiación y lo que obtuvimos fue que para la construcción del sistema se utilizaron vigas tipo C, ASTM A-36 para la estructura del carro transportador, mientras que según el análisis cinemático y dinámico mostrado en la sección 2.5.7 se tiene que para mover el sistema se requiere de un motor de 0,1025 HP por lo que se utilizó un motor de paso de $\frac{1}{4}$ HP lo que nos da potencia de sobra para el sistema. Para el tornillo sin fin según lo calculado se seleccionó un tornillo de clase 8,8 medio o bajo carbón templado y revenido.

El sistema de control que se utilizará debe estar en capacidad de controlar todos los parámetros de ingreso para los experimentos que se vayan a realizar, es decir, al principio del ensayo debe medir las condiciones ambientales del recinto en donde se vaya a realizar el mismo, luego de esto se debe programar al sistema motriz para que el ensayo se realice mediante un movimiento continuo o en un movimiento por tramos iguales. Por último, el sistema de alimentación de gas debe manejar el comportamiento de la válvula de flujo de gas, es decir a medida que se vaya perdiendo presión en el tanque conforme se vaya realizando la prueba, el sistema debería de modular la válvula para que esta se vaya abriendo dependiendo del flujo de gas y presión que se necesite. En la figura 2.35 se muestra la interfaz del sistema de control en donde se muestra el cuadro selector de puerto de comunicación, en el que se selecciona el puerto usb bajo el que se va a trabajar la conexión con la tarjeta Arduino.

En la interfaz gráfica del programa del sistema de control se presentan varios botones que muestran el desplazamiento que se le quiera dar al sistema motriz, al igual que el botón automático que hace que el sistema avance a una velocidad de $0.03 \frac{mm}{s}$ para que complete el recorrido total establecido para la prueba en un tiempo de una hora. Para el desarrollo de la prueba se tienen los acumuladores de desplazamiento cuya función es mostrar de manera gráfica y numérica el avance total de sistema motriz, para la medición de temperatura se muestran dos medidores que plasman las lecturas de las termocuplas acopladas al sistema. Por último, en la interfaz del programa de control se muestra una gráfica temperatura vs tiempo, en donde el parámetro de la temperatura es el promedio de las lecturas de las termocuplas acopladas al sistema.

Para el caso de la simulación estructural se trabajó con una fuerza inicial aplicada de 30 KN durante un tiempo de 5 segundos y se observó una tendencia que se muestra en la figura 3.4 en la que pudimos observar que la deformación total de la probeta en un tiempo de 5 segundos y cuyo valor máximo es de 5.46 MPa. La máxima deformación se produce en la cara inferior de la probeta que es la parte que está

expuesta a la fuerza que está ejerciendo la máquina de ensayos universales, mientras que la parte superior es la cara que únicamente está soportando las reacciones. Según este criterio en un tiempo más prolongado podremos observar la respectiva deformación que ocurre en toda la probeta y en especial por la otra cara en donde actúa la respectiva fuerza de reacción.

Con respecto al caso de la simulación térmica, se manejaron dos opciones para observar cuál de los dos comportamientos obtenidos se acercaba más a la realidad. Para el primer caso se trabajó con la estimación de que toda la radiación constante producida por el emisor infrarrojo era absorbida por la probeta, los resultados que se obtuvieron muestran que la temperatura máxima a la que llegó la probeta fue de 278.93 °C, pero existía una incongruencia en la que obteníamos una temperatura mínima de -28.42 °C. En el segundo caso se trabajó con la idea de que el emisor infrarrojo vaya aumentando de manera gradual su temperatura y que la radiación producida no vaya directamente hacia la probeta, sino que existían pérdidas en el ambiente hasta llegar a la probeta, además de que se controló la temperatura mediante una tabla con respecto al tiempo. Los valores graduales de temperatura que se ingresaron se obtuvieron de la gráfica temperatura vs tiempo correspondiente a la norma ASTM E119 durante los primeros 5 minutos, cuyos resultados obtenidos son más satisfactorios ya que corresponden un poco más a la realidad, en el que la temperatura máxima del irradiador es de 542.13 °C durante un tiempo de 360 segundos o 5 minutos y la mínima es de 25 °C.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó de un banco de pruebas, que permita evaluar el comportamiento de los materiales de construcción como lo son el concreto y la madera (para nuestro caso en particular) durante un incendio. Mediante la aplicación de emisores infrarrojos a gas poroso se suministró un flujo incidente de calor que estuvo en el rango de 5 a $100 \frac{KW}{m^2}$ todo esto se consiguió mediante la aplicación de la simulación de la prueba estándar de resistencia contra incendios, en la que según los parámetros de la tabla 1.5 y obtenidos de la norma ASTM E119 se replicó la curva tiempo vs temperatura (Figura 1.2).

Se diseñó un sistema que proporcione flujo constante y variable de calor sobre el material, es decir se diseñó un sistema alimentación de gas propano para los emisores infrarrojos. Para conocer el flujo de gas necesario para poner al máximo las fuentes de calor, se realizó un balance químico estequiométrico en donde por medio de la tabla 2.5 se obtiene un exceso de aire del 36% correspondiente al C_3H_8 y con esto se obtuvo una relación de aire - combustible de 24 y así obtener los flujos de aire y gas mostrados anteriormente.

Se diseñó un arreglo móvil para los emisores infrarrojos (fuente), con la finalidad de realizar variaciones de temperatura con respecto a la distancia. Este arreglo fue diseñado para cumplir su recorrido en un lapso de una hora por lo que tiene una precisión de $0,03 \frac{mm}{s}$ con el objetivo de tener una mayor sensibilidad en lo que corresponde a captación de datos.

Se diseñó un sistema de adquisición de datos que pueda reflejar curvas de flujo de calor vs distancia y flujo de calor vs tiempo, adicionalmente una vez que la prueba haya finalizado todos los datos obtenidos serán mostrados en una tabla. Las termocuplas utilizadas en este prototipo son de tipo K por lo que tienen un rango de medición de temperatura de entre 0°C a 1024°C con una resolución al momento de captación de datos de 0,25°C o 12 BIT.

Se realizó la integración de todos los sistemas por medio de un sistema de control basado en la elaboración de un programa cuya interfaz nos permitirá controlar todos los parámetros antes, durante y al final de la prueba tabular todos los resultados obtenidos.

La máxima temperatura a la que se llega durante un ensayo estándar de resistencia contra incendio es de 1260°C por lo que para fines didácticos la capacidad de las termocuplas que es de 1024°C está dentro de un rango aceptable para el estudio del comportamiento de distintos materiales durante un incendio.

La finalidad del proyecto es la de mejorar la calidad de los materiales utilizados en la industria de la construcción mediante la evaluación del comportamiento de los mismos en condiciones extremas. No solo de materiales de construcción como el concreto y la madera, que fueron los mostrados en este documento, sino que, progresivamente ir aumentando la lista de materiales sometidos a estudio con la idea de abarcar la totalidad de los utilizados en la industria de la construcción.

4.2 Recomendaciones

Los beneficios del banco de pruebas se verán reflejados una vez que se haya comenzado con las respectivas pruebas, todo esto con la finalidad de verificar la importancia de los mismas. Esto permitirá realizar experimentos más exhaustivos sobre los materiales propuestos en este documento. Se recomienda ampliar la gama de materiales de construcción a experimentar con el fin de que, en base a la

información obtenida se puedan seleccionar mejor los materiales a utilizar durante una construcción.

Se recomienda mantener un ambiente controlado durante la realización de las pruebas por lo que, dependiendo de las condiciones ambientales como la velocidad del aire, humedad relativa y temperatura ambiente el comportamiento de la curva temperatura vs tiempo y temperatura vs distancia van a variar.

La probeta debe estar recubierta por una rejilla de seguridad, ya que en algunos casos no sabemos cómo podría responder ante las elevadas temperaturas y esfuerzos de compresión. Para el caso del concreto, al estar sometido a elevadas temperaturas tiende a reventar, por lo que para cuestiones de seguridad del operador y observadores de la prueba se recomienda colocar una pequeña rejilla de seguridad alrededor de la probeta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Buchanan, A., Structural Design for Fire Safety, Wiley & Sons, New York, 2002. American Society of Civil Engineers, Structural Fire Protection, ASCE, New York, (1992).
2. American Concrete Institute, ACI 216H- 89, Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements, ACI, (2001) ,American Concrete Institute, ACI 216.1- 97, Standard Method for Determining the Fire Resistance of Concrete Masonry
3. Construction Assemblies, ACI, 1997. SFPE The Code Official's Guide to Performance- Based Design Review, of The Society of Fire Protection Engineering, Bethesda, MD, (2004).
4. Concrete In Focus Magazine, Fall, Teach Talk_Fire Resistance of Concrete Structures, Erin Ashley, Ph.D., Director of Codes and Sustainability, NRMCA, (2007).
5. Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil – Sección Noticias – Estadísticas de Emergencia- Recuperado de [http:// www.bomberosguayaquil.gob.ec](http://www.bomberosguayaquil.gob.ec)
6. Código de Práctica ecuatoriano, Instituto ecuatoriano de Normalización, Protección Contra Incendios, CPE INEN 5 , (1986).
7. Maluk C, Bisby L, Terrasi G, Krajcovic M and Torero JL. Novel Fire Testing Methodology: Why, how and what now? Proceedings of the Mini Symposium on Performance-based Fire Safety Engineering of Structures as part of the 1st International Conference on Performance Based and Life Cycle Structural Engineering, (2012), Hong Kong, pp. 448-458.
8. Cristián H. Maluk Zedán. Development and Application of a Novel Test method for Studying the fire Behaviour of CFRP Prestressed Concrete Structural Elements. The University of Edinburgh 2014.
9. IMCYC, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Pruebas de Resistencia a la Compresión del Concreto, (2006).
10. ASTM C31, C39, C617, C1077, C1231, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, Recuperado de <http://www.astm.org>.

11. Alvaro Pérez Ortega, Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM, Universidad de Valladolid Campus de Palencia, (2014).
12. ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
13. ASTM NTP 251.014.
14. William Herschel – Rayos Infrarrojos – Recuperado de [http:// www.electrofred.net](http://www.electrofred.net)
15. Catálogo Electricfor – Rubí-Barcelona-España– Recuperado de <http://electricfor@electricfor.com>
16. Radiadores Infrarrojos (2016 – 2017) -Recuperado de [http:// www.kromschroeder.es](http://www.kromschroeder.es)
17. Short wave burners – porous burners RADIMAX Recuperado de <http://www.gogas.com> -
18. www.gogas.com – Michael Angersteing - Infrared drying with porous burners in industrial environments.
19. Consejería de Educación y Ciencia I.E.S. Pando – Oviedo - Recuperado de <http://www.iespando.com> - Mecanismos – Elisa Calvo Villanueva, (2016)
20. Tutorial número 131 Recuperado de <http://www.ingemecanica.com>
21. SIAFA – Seguridad, Higiene y Medio Ambiente – Ladislao Díaz Moreno – Argentina.
22. Termodinámica y Termotecnia – Tabla tema 3: combustible, Recuperado de <http://biblioteca.uns.edu.pe>
23. Novacero -catálogo de productos– Recuperado de <http://www.novacero.com>
24. Wan Tai Motor – product – stepper motor - Recuperado de <http://www.wantmotor.com>

APÉNDICES

APÉNDICE A
Planos Esquemáticos

APÉNDICE B
Norma ASTM E119

APÉNDICE B

Valores tomados de la curva estándar temperatura – tiempo para el control de pruebas contra incendio correspondientes a la norma ASTM E119.

TABLE X1.1 STANDARD TIME-TEMPERATURE CURVE FOR CONTROL OF FIRE TESTS

Time h:min	Temperature, °F	Area Above 55°F Base		Temperature, °C	Area Above 20°C Base	
		°F-min	°F-h		°C-min	°C-h
0:00	68	00	0	20	00	0
0:05	1 000	2 350	39	538	1 290	22
0:10	1 300	7 740	129	704	4 300	72
0:15	1 399	14 150	236	760	7 860	131
0:20	1 482	20 970	350	795	11 650	194
0:25	1 510	26 050	468	821	15 590	260
0:30	1 550	35 960	589	843	19 650	328
0:35	1 584	42 860	714	862	23 810	397
0:40	1 613	50 510	842	878	28 060	468
0:45	1 638	58 300	971	892	32 390	540
0:50	1 661	68 200	1 103	905	36 780	613
0:55	1 681	74 220	1 237	916	41 230	687
1:00	1 700	82 330	1 372	927	45 740	762
1:05	1 718	90 540	1 509	937	50 300	838
1:10	1 735	98 830	1 647	946	54 910	915
1:15	1 750	107 200	1 787	955	59 560	993
1:20	1 765	115 650	1 928	963	64 250	1 071
1:25	1 779	124 180	2 070	971	68 990	1 150
1:30	1 792	132 760	2 213	978	73 760	1 229
1:35	1 804	141 420	2 357	985	78 560	1 309
1:40	1 815	150 120	2 502	991	83 400	1 390
1:45	1 826	158 860	2 648	996	88 280	1 471
1:50	1 835	167 700	2 795	1 001	93 170	1 553
1:55	1 843	176 550	2 942	1 006	98 080	1 635
2:00	1 850	185 440	3 091	1 010	103 020	1 717
2:10	1 862	203 830	3 389	1 017	112 960	1 882
2:20	1 875	221 330	3 689	1 024	122 960	2 049
2:30	1 888	239 470	3 991	1 031	133 040	2 217
2:40	1 900	257 720	4 295	1 038	143 180	2 386
2:50	1 912	276 110	4 602	1 045	153 390	2 556
3:00	1 925	294 610	4 910	1 052	163 670	2 728
3:10	1 938	313 250	5 221	1 059	174 030	2 900
3:20	1 950	332 000	5 533	1 066	184 450	3 074
3:30	1 962	350 890	5 848	1 072	194 940	3 249
3:40	1 975	369 890	6 165	1 079	205 500	3 425
3:50	1 988	389 030	6 484	1 086	216 130	3 602
4:00	2 000	408 280	6 805	1 093	226 820	3 780
4:10	2 012	427 670	7 128	1 100	237 580	3 960
4:20	2 025	447 180	7 453	1 107	248 430	4 140
4:30	2 038	466 810	7 780	1 114	259 340	4 322
4:40	2 050	486 560	8 110	1 121	270 310	4 505
4:50	2 062	506 450	8 441	1 128	281 360	4 689
5:00	2 075	526 450	8 774	1 135	292 470	4 874
5:10	2 088	546 590	9 110	1 142	303 660	5 061
5:20	2 100	566 840	9 447	1 149	314 910	5 248
5:30	2 112	587 220	9 787	1 156	326 240	5 437
5:40	2 125	607 730	10 129	1 163	337 630	5 627
5:50	2 138	628 380	10 473	1 170	349 090	5 818
6:00	2 150	649 120	10 819	1 177	360 620	6 010
6:10	2 162	670 000	11 167	1 184	372 230	6 204

TABLE X1.1 Continued

Time h:min	Temperature, °F	Area Above 68°F Base		Temperature, °C	Area Above 20°C Base	
		°F-min	°F-h		°C-min	°C-h
6:20	2 175	691 010	11 517	1 191	393 900	6 398
6:30	2 188	712 140	11 889	1 198	395 640	6 594
6:40	2 200	733 400	12 223	1 204	407 450	6 791
6:50	2 212	754 780	12 560	1 211	419 330	6 989
7:00	2 225	776 290	12 938	1 218	431 270	7 188
7:10	2 238	797 920	13 299	1 225	443 290	7 388
7:20	2 250	819 680	13 661	1 232	455 380	7 590
7:30	2 262	841 560	14 026	1 239	467 540	7 792
7:40	2 275	863 570	14 393	1 246	479 760	7 996
7:50	2 288	885 700	14 762	1 253	492 060	8 201
8:00	2 300	907 960	15 133	1 260	504 420	8 407

APÉNDICE C

Ficha técnica Máquina de Ensayos Universales

APÉNDICE C

Especificaciones técnicas de la máquina de ensayos universales requerida.

ENSAYO DE MATERIALES – MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS CONTROLADA POR PC WDW-300E (ISO7500-1999)



Especificaciones:

Modelo Nº	WDW-300E (MUE 300kN totalmente controlada por PC)
Tipo de Máquina	Piso, Estructura de doble columna
Capacidad Máxima de Carga	300 kN [0.4% a 100% de la carga de ensayo máxima (1.2kN a 300kN)]
Tipos Básicos de Ensayo	Tracción, compresión, doblado, etc.
Forma de las Probetas	Planas, redondas, bloques, etc.
Velocidad de desplazamiento de la travesa	0.005 mm/min a 500 mm/min con control de pasos fijos o ajustable
Exactitud	Mejor que 1%
Exactitud de los Tornillos de Bola de las Columnas	16 µm/300 mm Clase E
Resolución del Desplazamiento	0.001 mm
Dimensiones del Marco de Fuerza	1110 mm x 785 mm x 2525 mm
Peso neto del Cuerpo Principal	2000 kg
Alimentación Eléctrica	3 fases 50 Hz (380V u otro a especificar) 5kW

Transductor de Fuerza de Alta Exactitud con protección de sobrecarga (Celda de carga)

Límites de carrera para desplazamiento de la travesa. Transductor fotoeléctrico no tangencial seguro y fácil de controlar

Mordazas tipo cuña para tracción, sujetan firmemente la probeta.

Se incluye una caja de control separada. Permite controlar el movimiento de la travesa, arriba / abajo, y parada de emergencia.

Encoder fotoeléctrico de alta exactitud.

Software de control amigable, de operación simple.

Tarjeta de control PCI, compatible con todos los PC y tarjetas madre. Medición y circuito de control totalmente digital. Provisto con canales de medición diferentes para carga, desplazamiento y deformación. Lazo de control cerrado mediante configuración simple del software.

Accesorios Estándar

Tracción tipo cuña

Compresión

Doblado

Provisión Estándar para la serie WDW

Mordazas para mordientes tipo cuña, de accionamiento hidráulico, con bomba de aceite	1 juego
Cuñas para probetas redondas. Diámetros: 9 a 14mm, 14 a 20mm y 20 a 26mm)	4 piezas c/u
Cuñas para probetas planas. Espesores: 0 a 7mm, 7 a 14mm y 14 a 21mm	4 piezas c/u
Dispositivo para ensayos de compresión	1 juego
Dispositivo para ensayos de doblado	1 juego
Dispositivo para ensayos de cizalle (opcional)	1 juego
Bolso de herramientas	1 juego
Extensómetro (50mm, 20% de deformación)	1 unidad
Encoder fotoeléctrico	1 unidad
Celda de carga (300 kN de capacidad)	1 unidad
Sistema de procesamiento de datos (controlador TIME incorporado en PC)	1 unidad
Software TIME V 1.90.P (o versión superior)	1 unidad
Impresora	1 unidad
Mesa para computadora	1 unidad
Servo sistema para ajuste de velocidad para DWD	1 unidad
Servo motor para ajuste de velocidad para DWD	1 unidad







APÉNDICE D

Ficha técnica Termocuplas y Arduino

APÉNDICE E
Ficha técnica Emisor Infrarrojo

APÉNDICE E

Tabla tomada de la ficha de especificaciones correspondientes a los emisores infrarrojos (www.gogas.com), el que nosotros utilizaremos es el de onda corta (short wave).

	Long-wave		Medium-wave			Short-wave
						
Type	DSL low-intensity heater	Catalytic burner	Ceramic burner	Metal fibre burner Knitted surface	Metal fibre burner Sintered surface	Porous burner RADIMAX
Wavelength	3.3-5 µm	3.3-5 µm	2.4 µm	2.2 µm	2.2 µm	1.7 µm
Max. Burner temperature	600 °C / 1112 °F	600 °C / 1112 °F	950 °C / 1742 °F	1050 °C / 1922 °F	1050 °C / 1922 °F	1450 °C / 2642 °F
Max. thermal surface effect	17 kW/m ² 5400 BTU/ft ²	30 kW/m ² 9500 BTU/ft ²	120 kW/m ² 38000 BTU/ft ²	200 kW/m ² 63400 BTU/ft ²	250 kW/m ² 79200 BTU/ft ²	1000 kW/m ² 317000 BTU/ft ²
Dimensions mm / Inch	Min. length: 6500 mm / 256" Max. length: 18000 mm / 709"	800 mm x 800 mm / 23.6 x 23.6" 450 mm x 1200 mm / 17.7 x 47.2" 450 mm x 1.500 mm / 17.7 x 59.0"	140 mm x 375 mm / 5.5 x 14.75" 100 mm x 270 mm / 4.0 x 10.6" 100 mm x 400 mm / 4.0 x 15.75" 100 mm x 535 mm / 4.0 x 21.0" 100 mm x 800 mm / 4.0 x 31.5"	140 mm x 375 mm / 5.5 x 14.75" 100 mm x 270 mm / 4.0 x 10.6" 100 mm x 400 mm / 4.0 x 15.75" 100 mm x 535 mm / 4.0 x 21.0" 100 mm x 800 mm / 4.0 x 31.5" 300 mm x 400 mm / 11.8 x 15.75"	150 mm x 200 mm / 5.9 x 7.9"	150 mm x 200 mm / 5.9 x 7.9"
	Special lengths on request	Special sizes on request		Special sizes on request		
Paper drying	-	-	-	✓	✓	✓
Textile drying	-	-	✓	✓	✓	-
Paint drying	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Curing of powder coating	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coil coating	-	✓	-	✓	✓	✓
Warming and defrosting process	✓	✓	✓	✓	✓	✓

APÉNDICE F

Programación para los Arduinos y Termocuplas