

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un irradiador para un banco de pruebas de flujo
controlado”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Erik Alexander Lema Salao

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor que me ha guiado en el desarrollo de este proyecto, y asimismo al MSc. Garavito.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Erik Alexander Lema Salao* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



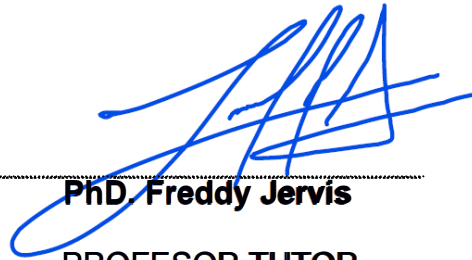
Erik Alexander Lema Salao

EVALUADORES



PhD. Angel Ramirez

PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Freddy Jarvis

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El estudio de estructuras bajo una carga de fuego es complejo, debido a los diferentes fenómenos físicos que intervienen como, por ejemplo, convección, radiación, y conducción. Entonces, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar un irradiador para un banco de pruebas de flujo de calor controlado, el cual evalúa el comportamiento de materiales bajo la incidencia de una carga, donde se pretende que el calor de incidencia en la probeta tenga una uniformidad al menos del 90%.

Se empezó realizando un estudio teórico del factor de vista entre la probeta y el irradiador, de esto se obtuvo el dimensionamiento del irradiador y posteriormente se simuló lo propuesto.

Se obtuvo un 89% en CFD, mientras que en la parte teórica un 90% de uniformidad de calor de incidencia en la probeta a 1 metro de distancia, por otra parte, se observó que a medida que el irradiador se acerca a la probeta la uniformidad disminuye.

Se concluye que la configuración adecuada de trabajo es a un metro de separación entre la probeta y el irradiador, sin embargo, si se requiere mayores calores de incidencia en la probeta se debe disminuir la separación a costa de disminuir la uniformidad.

Palabras clave: Irradiador, Radiación, Uniformidad, Calor.

ABSTRACT

The study of structures under a fire load is complex, due to the different physical phenomena that intervene, such as convection, radiation, and conduction. Therefore, the present project aims to design an irradiator for a controlled heat flow test bench, which evaluates the behavior of materials under the incidence of a load, where it is intended that the incidence heat in the specimen has a uniformity at least 90%.

A theoretical study of the view factor between the test tube and the irradiator was started from this the sizing of the irradiator was obtained and later what was proposed was simulated.

89% was obtained in CFD, while in the theoretical part a 90% uniformity of incidence heat in the specimen at 1-meter distance, on the other hand, it was observed that as the irradiator approaches the specimen the uniformity decreases.

It is concluded that the proper working configuration is one meter apart between the specimen and the irradiator, however, if higher heats of incidence are required in the specimen, the separation must be reduced at the cost of reducing uniformity.

Keywords: *Irradiator, Radiation, Uniformity,*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Radiación	3
1.4.2 Irradiación	3
1.4.3 Factor de vista.....	4
1.4.4 Convección libre.....	5
1.4.5 Combustión	5
1.4.6 Quemadores	6
1.4.7 Standard fire curve	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1 Diseño conceptual	8

2.1.1	Procedimiento esquemático	8
2.1.2	Requerimientos de diseño	9
2.1.3	Identificación de las alternativas de diseño.....	11
2.1.4	Selección de la alternativa.....	13
2.2	Diseño preliminar	15
2.3	Diseño detallado	16
2.3.1	Dimensionamiento de la superficie de irradiación.....	16
2.4	Diseño del sistema de alimentación.....	19
2.4.1	Diseño del sistema de alimentación de GLP	19
2.4.2	Diseño del sistema de alimentación de Aire	21
2.5	Diseño del soporte del quemador poroso.....	22
2.6	Mapeo de uniformidad de irradiación sobre la probeta	23
2.7	Estudio teórico: Comportamiento térmico de una probeta de concreto	23
2.7.1	Análisis en régimen estacionario	24
2.7.2	Análisis en régimen transitorio.....	26
2.8	Simulación: Comportamiento termo-mecánico del irradiador y la probeta....	29
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados y análisis	31
3.1	Estudio de variaciones y mapeo de uniformidad de irradiación.....	31
3.2	Estudio teórico: Comportamiento térmico de la probeta.....	35
3.2.1	Régimen estacionario.....	35
3.2.2	Régimen transitorio	36
3.3	Simulación: Comportamiento termo-mecánico del irradiador y la probeta....	39
3.3.1	Simulación del flujo de calor de incidencia en la probeta.....	39
3.3.2	Simulación de régimen transitorio de una probeta de concreto	42
3.3.3	Simulación del soporte del irradiador.....	43

3.4	Planos de construcción	44
3.5	Análisis económico del proyecto	45
CAPÍTULO 4.....		48
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	48
4.1	Conclusiones	48
4.2	Recomendaciones	48
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
GLP	Gas Licuado de Petróleo
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales

SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
kg	Kilogramo
h	hora
min	minuto
s	segundos
Q	Caudal
V	Velocidad
Pa	Pascal
W	Vatios
K	Kelvin
°C	Grados Celsius
PCI	Poder Calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
%	Porcentaje
P	Presión
D	Diámetro
H	Altura
T	Temperatura de superficie

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Irradiación en una superficie.....	4
Figura 2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño	9
Figura 2.2 Quemador radiante metálico.....	12
Figura 2.3 Quemador poroso.....	12
Figura 2.4 Radiador infrarrojo eléctrico	13
Figura 2.5 Diagrama de un quemador poroso.....	16
Figura 2.6 Dimensiones de la probeta estandarizada.	16
Figura 2.7 Área del irradiador vs Área de la probeta, a una distancia fija.....	17
Figura 2.8 Área del irradiador vs Área de la probeta, a un porcentaje fijo	18
Figura 2.9 Configuración de los quemadores.....	18
Figura 2.10 Distribución del factor de vista entre la probeta y el irradiador	19
Figura 2.11 Diagrama de cuerpo libre para el soporte	22
Figura 2.12 Coeficiente de convección vs temperatura de superficie.....	24
Figura 2.13 Esquema de la probeta.	25
Figura 2.14 Esquema para el análisis unidimensional de la probeta.....	27
Figura 2.15 Esquema para el análisis bidireccional de la probeta.....	28
Figura 2.16 Calor de incidencia en la superficie de la probeta vs distancia.....	30
Figura 3.1 Uniformidad de la probeta vs distancia	31
Figura 3.2 Mapeo de uniformidad en la probeta.....	32
Figura 3.3 Factor de vista promedio.....	33
Figura 3.4 Poder emisivo promedio	34
Figura 3.5 Diferencia de poder emisivo.....	34
Figura 3.6 Temperatura de estabilización vs Calor de radiación	35
Figura 3.7 Tiempos mínimos de estabilización	36
Figura 3.8 Análisis unidimensional de la probeta de concreto.....	37
Figura 3.9 Análisis bidimensional de la probeta de concreto.....	38
Figura 3.10 Simulación Irradiador-Probeta para un flujo de calor constante.	39
Figura 3.11 Calor de incidencia en la probeta vs Calor del irradiado	40
Figura 3.12 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 1 metro.	40
Figura 3.13 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 0.5 metros	41
Figura 3.14 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 0.2 metros.....	41

Figura 3.15 Respuesta transitoria de una probeta de concreto.	42
Figura 3.16 Análisis en el elementos finitos - Esfuerzo de Von Mises.....	43
Figura 3.17 Primera tensión.....	43
Figura 3.18 Deformación del soporte del irradiador	44
Figura 3.19 Factores de seguridad para el diseño del soporte del irradiador.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Alternativas de diseño	11
Tabla 2.2 Criterios de evaluación.....	14
Tabla 2.3 Criterio de ponderación cuantitativo.	14
Tabla 2.4 Matriz de decisión para la fuente de energía.....	15
Tabla 2.5 Peso de los elementos del irradiador.	22
Tabla 3.1 Costos de la estructura del soporte del quemador.	45
Tabla 3.2 Costos de la tubería de alimentación de aire.	45
Tabla 3.3 Costos del Sistema de alimentación de GLP	46
Tabla 3.4 Costos de Quemador Poroso.....	46
Tabla 3.5 Análisis presupuestal del Irradiador para el banco de prueba.	46

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1. Plano de construcción de la estructura de soporte del quemador poroso

PLANO 2. Plano de construcción de la tubería de admisión de aire.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones son esenciales en la vida las personas puesto que sirven de albergue, asimismo como lugar de trabajo o para desarrollar alguna actividad. Entonces, se busca que las edificaciones sean lo más seguras posibles, es decir, que las mismas sean capaces de soportar movimientos telúricos, incendios, y entre otros. Por lo cual, se necesita una mejora continua en los materiales que se usan en las construcciones.

1.1 Definición del Problema

En el año 2017 el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil registro 2342 incendios en la ciudad de Guayaquil, donde la mayoría de estos se debieron a cortocircuitos y combustión de materiales inflamables. Estos eventos conllevan un daño a la seguridad y bienestar de las personas, asimismo implican un daño social, económico y global. Puesto que en algunos casos las edificaciones ya no son habitables debido a que se ha perdido las propiedades mecánicas correspondientes. Entonces, para lograr evaluar materiales bajo condiciones de flujo de calor extremo, se conducen pruebas con flujo de calor impuesto en bancos de prueba y así poder evaluar como los materiales se comportan. En este proyecto, se analiza el diseño de un irradiador dentro de un banco de pruebas que logre simular diferentes curvas de calentamiento que sean más representativas de lo que puede ocurrir durante incendios. El propósito será evaluar la resistencia del material en diferentes condiciones de flujo de calor.

1.2 Justificación del proyecto

Existe la necesidad de evaluar como diferentes materiales se comportan cuando se propaga la llama durante combustión. Para poder reflejar las condiciones óptimas en las que puede existir más peligro se desea medir diferentes parámetros como son la velocidad del frente de combustión, concentración de oxígeno, calor disipado, temperatura y producción de gases

durante la combustión de diferentes materiales. Normas de construcción hoy en día requieren regulaciones más estrictas para materiales en distintas aplicaciones y solo pueden ser evaluadas utilizando bancos de prueba apropiados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un irradiador para un banco de pruebas el cual evalúa el comportamiento de materiales durante flujo de calor variables.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Seleccionar y simular el funcionamiento de los elementos mínimos necesarios que componen el irradiador de flujo de calor
2. Simular un calentamiento e irradiación uniforme sobre un material sometido a un flujo de calor variable para lograr imponer una curva de calentamiento representativa de un incendio.
3. Diseñar a detalle los elementos estructurales mecánicos para la construcción del irradiador.
4. Realizar un estudio económico y factibilidad de construcción del irradiador en base a la disponibilidad local de insumos

En el presente trabajo se presenta el diseño de un irradiador para un banco de pruebas de flujo controlado, por lo cual se espera obtener un plano detallado del irradiador con todos los elementos que conforman el mismo, paralelamente a eso se requiere realizar un estudio de variaciones y mapeo de uniformidad de irradiación sobre el área de la probeta. Posteriormente, se requiere una simulación donde se muestre el comportamiento termo-mecánico del irradiador y la probeta con un flujo de calor impuesto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Radiación

La radiación térmica es un fenómeno de transferencia de calor que no requiere un medio para que la misma se propague, y que sólo requiere que el cuerpo se encuentre a una temperatura superior al cero absoluto para que este cuerpo emita radiación. “Esta radiación es generada por el movimiento acelerado, producto de la agitación térmica, de las cargas eléctricas que se encuentran cerca de la superficie”. (Clocchiatti, 2017) Este movimiento mencionado se encuentra sujeto a la energía interna del cuerpo. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

En el estudio de la radiación se presenta cuatro flujos que se puede representar la misma, tal como se muestra en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Flujos de radiación en todas las longitudes de onda y en todas las direcciones. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

Flujo [$\frac{W}{m^2}$]	Descripción	Comentario
Poder Emisivo, E	Tasa a la que se emite la radiación de una superficie por unidad de área	$E = \epsilon\sigma T_s^4$
Irradiación, G	Tasa a la que la radiación incide sobre una superficie por unidad de área	La irradiación puede reflejarse, absorberse o transmitirse
Radiosidad, J	Tasa a la que la radiación sale de una superficie por unidad de área	Para una superficie opaca $J = E + \rho G$
Flujo neto de radiación, $q''_{rad} = J - G$	Tasa neta de radiación que sale de una superficie por unidad de área	Para una superficie opaca $q''_{rad} = \epsilon\sigma T_s^4 - \alpha G$

1.4.2 Irradiación

La irradiación, tal como se aprecia en la Tabla 1.1, es la tasa a la que el flujo de radiación incide sobre una superficie sobre unidad de área, y la

misma luego puede reflejarse ρ , transmitirse τ , o absorberse α dentro del cuerpo, tal como se aprecia en la figura 1.1 (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

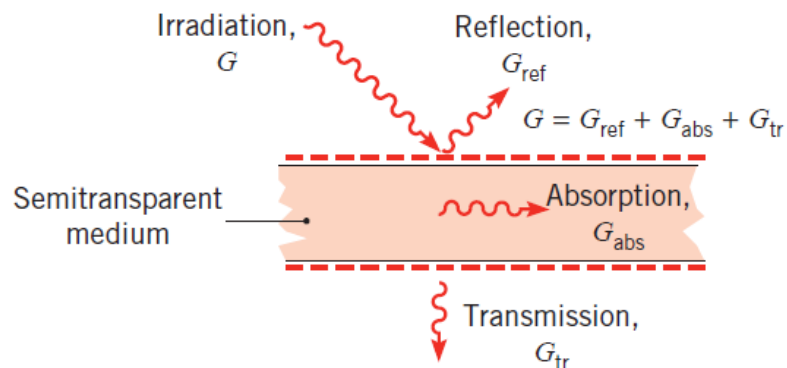


Figura 1.1 Irradiación en una superficie. Reflectividad, absorptividad, y transmisividad para un cuerpo semitransparente. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

1.4.3 Factor de vista

El factor de vista es un valor adimensional, que sólo depende de la geometría y orientación entre dos cuerpos que se encuentren sujetos a transferencia de calor por radiación. Por ejemplo, al medio día no es lo mismo recibir la radiación solar acostado o parado, puesto que al encontrarse acostado la exposición solar es más alta al haber mayor superficie expuesta. (Yunus & Afshin, 2011)

La expresión que representa el factor de vista entre una superficie 1 a una superficie 2 es:

$$F_{12} = F_{A_1 \rightarrow A_2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_2} \int_{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (1.1)$$

Donde

A_1 : Área de la superficie 1 [m^2]

A_2 : Área de la superficie 2 [m^2]

θ_1 : Ángulo entre la normal de la superficie 1 y la recta que conecta a las superficies

θ_2 : Ángulo entre la normal de la superficie 2 y la recta que conecta a las dos superficies

r : Es la magnitud de la recta que conecta a las dos superficies

1.4.4 Convección libre

La convección libre es un fenómeno de transferencia de calor que se presenta cuando no hay la presencia de un ente externo que mueva un fluido para que este enfríe una superficie caliente, o a su vez que la superficie no experimente un movimiento relativo con el fluido debido a que sea el cuerpo el que se mueva. Lo que genera este fenómeno son los gradientes de temperatura que se forman entre la superficie de un cuerpo y el aire circundante, puesto que las masas de aire más cercanas a las superficies se encuentran más calientes con lo cual la densidad de estas masas será menor que las que se encuentran alejadas, con lo cual por efectos de gravedad las masas más calientes van a ascender lo que produce corrientes de convección libre. (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

La convección libre para una placa vertical se encuentra representada por diferentes correlaciones experimentales, pero Churchill and Chu han recomendado para el número de Nusselt la siguiente:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (1.2)$$

Donde:

Ra_L : Número de Rayleigh

Pr : Número de Prandtl

1.4.5 Combustión

La combustión es “Una reacción química, en la cual se oxida rápidamente un combustible y se libera una gran cantidad de energía” (Cengel & Boles, 2012)

Los combustibles se clasifican en sólidos, líquidos o gaseosos, donde todos estos se caracterizan en la capacidad de calor que pueden liberar en la reacción. Por una parte, los combustibles sólidos se encuentran representado por el carbón, biomasa, residuos sólidos y entre otros. Si bien es cierto, que años atrás los combustibles sólidos eran los que predominaban hoy en día han sido remplazados por los combustibles líquidos y de gas. Con respecto a los combustibles líquidos, estos se encuentran caracterizados por los derivados del petróleo. (Márquez, 2005)

1.4.6 Quemadores

Los quemadores se definen como “Dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable” (Márquez, 2005) En otras palabras, es el que se encarga de realizar la mezcla adecuada para extraer la potencia calorífica requerida de manera eficiente. Al igual que los tipos de combustibles, los quemadores se clasifican en quemadores de gas, de combustibles líquidos o sólidos. (Márquez, 2005)

1.4.6.1 Quemadores industriales de gas

Este se encuentra sujeto a diferentes criterios como: Temperatura que se requiere alcanzar, los productos que se espera obtener, flexibilidad de funcionamiento, flexibilidad de regulación, y ruido. El sistema de clasificación que se presenta a continuación es en base al modo de alimentación del gas y aire. En primer lugar, se tiene a los quemadores de premezcla, que a su vez se dividen en quemadores de premezcla a presión, quemadores atmosféricos y quemadores oxi-gas. Por otra parte, se encuentran los quemadores especiales, los cuales se subdividen en quemadores radiantes, quemadores jet y quemadores de vana de aire. En adición, para los quemadores de combustibles líquidos se tiene: Quemadores de gasificación o vaporización y los quemadores de pulverización. Para finalizar, los quemadores para combustibles sólidos se clasifican en: Quemadores de carbón pulverizado, cámaras de combustión tipo ciclón, parrillas, y cámaras de combustión de lecho fluido. (Márquez, 2005)

1.4.7 Standard fire curve

Son curvas estandarizadas de tiempo-temperatura de una especie en incidencia al fuego, estas curvas se encuentran sujetas a la norma ASTM E 119.

Análogo a esto se encuentra la DIN EN 1993-1-2 para acero.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El estudio de las variaciones y el mapeo de uniformidad de irradiación sobre la probeta se encuentra sujeto al estudio del factor de vista entre la probeta y el irradiador puesto que con esto se puede determinar el tamaño adecuado del irradiador de tal manera que la variación de temperatura entre el centro de la probeta y un externo no exceda en un 10%. Es decir, a través de un mapeo mientras se va variando las dimensiones del irradiador se puede obtener las dimensiones adecuadas para que el sistema sea lo más eficiente posible.

2.1 Diseño conceptual

2.1.1 Procedimiento esquemático

La metodología que se ha seguido para el desarrollo de este proyecto ha sido el que se muestra en la Figura 2.1 el cual empieza con la definición del problema, en el cual se abarca los requerimientos de diseño, seguido se plantea las alternativas de diseño y posteriormente se procede a realizar el diseño conceptual en el cual se obtiene la mejor alternativa a través de la matriz de decisión, posteriormente de esta se realiza el diseño preliminar y posteriormente se simula este último, si los resultados concuerdan con los esperados se realiza el diseño detallado y si no se realiza de nuevo el diseño conceptual. Finalmente se realiza el informe final, en el cual se incluye los planos de construcción.

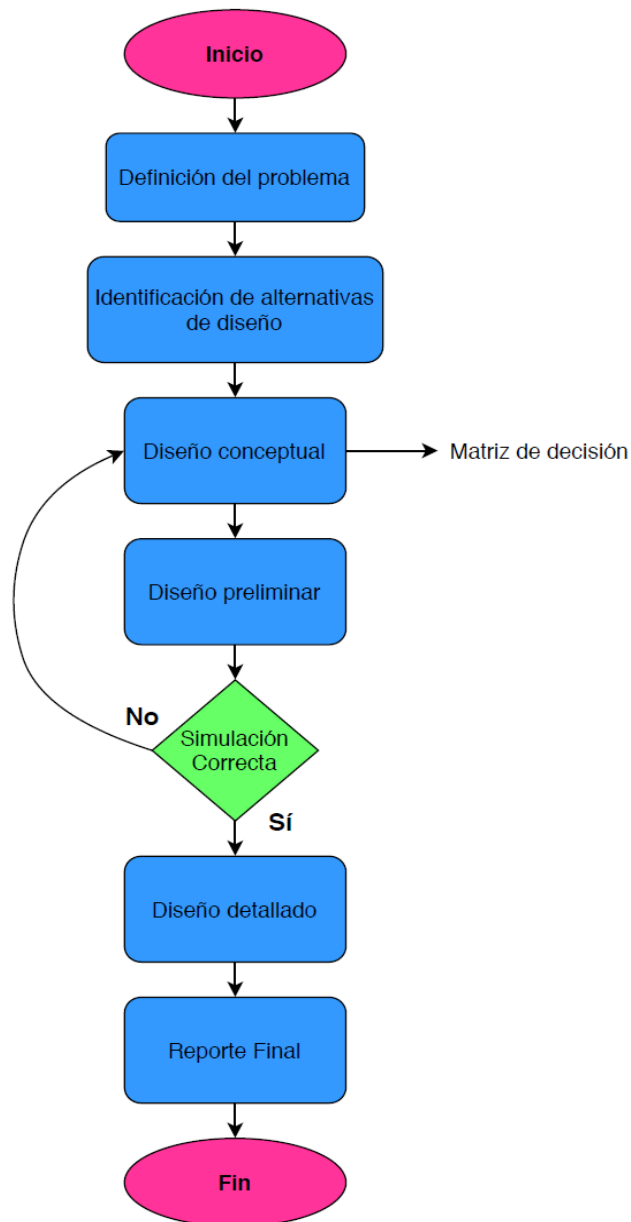


Figura 2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.
[Elaboración Propia]

2.1.2 Requerimientos de diseño

2.1.2.1 Costo

El diseño del irradiador propuesto debe ser en lo posible el menos costoso, en relación con otras alternativas, o este no debe exceder en gran medida con los irradiadores que se encuentran en el mercado. Por otra parte, no sólo se debe tener en cuenta el costo de instalación si no también el costo a largo plazo, es decir, cuánto dinero se requiere para mantener operativo el equipo mensualmente.

2.1.2.2 Espacio

El tamaño del irradiador debe estar restringido a la eficiencia del sistema, es decir, se debe incrementar el tamaño del irradiador hasta que la variación de temperatura entre el centro y una esquina en la probeta no cambie considerablemente, o hasta llegar a un porcentaje de variación de temperatura entre 10%. Por otra parte, se debe considerar que el equipo se encuentra inmerso en un banco de prueba y este a su vez se encuentra dentro de un laboratorio de investigación.

2.1.2.3 Disponibilidad

Los elementos con los que se piensa construir el irradiador en lo posible se deben encontrar en el mercado local. Por otra parte, se debe considerar si los insumos que requiere el equipo para funcionar son accesibles para conseguir localmente.

2.1.2.4 Alcance

El irradiador una vez puesto en el banco de pruebas tiene que generar las curvas estandarizadas de fuego. Para lo cual se ha tomado como referencia al paper: "A Heat-Transfer Rate Inducing System (H-TRIS) Test Method" de Cristian Maluk, en el cual el irradiador del banco de prueba tiene un rango de irradiación de $5 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ a $1000 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$.

2.1.2.5 Sensibilidad

Se espera que la respuesta dinámica del sistema sea rápida, es decir, una vez que se haya cambiado el nivel de irradiación el irradiador debe alcanzar lo más rápido posible dicha demanda porque de esta manera se puede obtener las curvas de calentamiento estandarizadas.

2.1.2.6 Seguridad

Se debe tener en cuenta la seguridad del investigador al operar el equipo, es decir, que el irradiador no presente en gran magnitud en peligro para el investigador, ya sea por el uso de insumos tóxicos, o alguna explosión de algún elemento.

2.1.2.7 Medio ambiente

El irradiador diseñado debe ser en lo posible lo más amigable con el planeta.

2.1.2.8 Vida útil

Se refiere a la vida del irradiador trabajando en óptimas condiciones.

2.1.3 Identificación de las alternativas de diseño

En primer lugar, como se mencionó en el capítulo anterior hay tres posibles familias a escoger, por una parte, se tiene a los quemadores de gas, de combustible sólido y de combustible líquido. Sin embargo, se escogió los quemadores de gas y a su vez a los quemadores de altas temperatura puesto que con eso se puede alcanzar los requerimientos técnicos.

Tabla 2.1 Alternativas de diseño [Elaboración Propia]

Tipo de Irradiador
Quemador radiante con malla metálica
Quemador Poroso radiante
Radiador Infrarrojo Eléctrico

2.1.3.1 Quemador radiante con malla metálica

Este quemador se encuentra se encuentra constituido con placas cerámicas sólidas, las cuales tienen una matriz de pequeños agujeros, entre 1.2 y 1.6 [mm] de diámetro, en los cuales pasa la mezcla aire-gas. Esta placa base por lo general es hecha de carburo de silicio.

La superficie que se usa en el quemador es metálica o de pantallas metálicas, está última se encuentra tejida con hilos de metal. Se tiene que mencionar que este equipo por lo general falla por fatiga térmica debido a que los hilos de metal son muy delgados, por tanto, el tiempo de vida de este es más corto con respecto a otros irradiadores. (Estados Unidos Patente nº US7726967B2, 2005)

Este tipo de quemador depende del exceso de aire en la combustión, y es capaz de alcanzar potencias entre 300 y 500 $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$. Por otra parte, se

tiene que mencionar que cuando el quemador trabaja con llama azul el sistema es muy inestable.



Figura 2.2 Quemador radiante metálico [Fuente: Quemadores AEM]

2.1.3.2 Quemador poroso radiante

Este quemador convierte la energía química de la combustión del combustible en entalpia del producto y finalmente en radiación dirigida. La gran ventaja que ofrece este irradiador en contraste con otros es que se tiene una mayor salida de energía de radiación térmica y un mínimo de contaminantes. (Amatachaya & Krittacom, 2017) El material usado es una superficie de ceramica porosa.



Figura 2.3 Quemador poroso [Fuente GoGas]

Este quemador pertenece a la familia de quemadores de muy alta temperatura, y muy elevada eficiencia puesto que son capaces de alcanzar temperaturas mayores a 1400°C y eficiencias entre 35 y 60%. A diferencia de otros quemadores, este no opera con llamas libres, por el contrario, la combustión tiene lugar en cavidades distribuidas

tridimensionalmente en un medio poroso, de tal manera que la apariencia de este es netamente radiante. En el interior del material la transferencia de calor se da por la acción combinada de radiación, convección y conducción.

Este tipo de quemador se encuentra compuesto de dos capas muy diferenciadas, las cuales son: una estructura porosa que normalmente es de carburo de silicio es espuma, y la placa base es construida con Oxido de Silicio. La potencia alcanzada con este quemador se encuentra dentro de un rango de 200 – 2000 $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$, además se tiene que mencionar que la respuesta de este es rápida.

2.1.3.3 Radiador infrarrojo eléctrico

Los quemadores infrarrojos industriales se encuentran caracterizados por las pantallas emisoras de infrarrojos de cuarzo, estas pantallas pueden alcanzar temperaturas hasta los 760°C y límite de potencia de 60 $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$ este tipo de irradiador tiene un tiempo de respuesta mayor que el resto. Su coste de instalación es bajo.

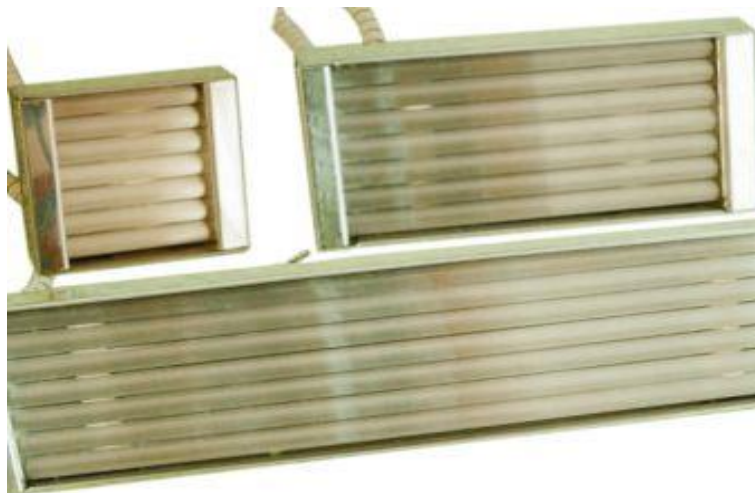


Figura 2.4 Radiador infrarrojo eléctrico [Fuente: Electricfor]

2.1.4 Selección de la alternativa

En primer lugar, se pondera los criterios descritos anteriormente.

Tabla 2.2 Criterios de evaluación. [Elaboración Propia]

Tipo de Irradiador	
Criterio	Ponderación
Costo	15 %
Espacio	5 %
Disponibilidad	10 %
Alcance	15 %
Sensibilidad	15 %
Seguridad	10 %
Medio ambiente	5 %
Vida útil	25 %

A continuación, se realiza la ponderación cuantitativa según el grado de importancia de manera ascendente.

Tabla 2.3. Criterio de ponderación cuantitativo. [Elaboración Propia]

Condición	Calificación
Malo	1
Regular	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Seguido, se ha determinado la mejor alternativa para el tipo del quemador.

Tabla 2.4 Matriz de decisión para la fuente de energía.
[Fuente: Elaboración propia]

Criterios de selección para alternativas	Factor de Peso	Alternativa A (Quemador radiante metálico)		Alternativa B (Quemador poroso)		Alternativa C (Radiador Eléctrico)	
		/5	Peso	/5	Peso	/5	Peso
Costo	15 %	4	0.60	3	0.45	2	0.30
Espacio	5 %	3	0.15	4	0.20	3	0.15
Disponibilidad	10 %	5	0.50	3	0.30	4	0.40
Alcance	15 %	4	0.60	5	0.75	2	0.30
Sensibilidad	15 %	4	0.60	4	0.60	5	0.75
Seguridad	10 %	3	0.30	3	0.30	4	0.40
Medio ambiente	5 %	3	0.15	3	0.15	4	0.20
Vida útil	25 %	3	0.75	5	1.25	4	1.00
		Total A	3.65	Total B	4.00	Total C	3.50

2.2 Diseño preliminar

La síntesis del diseño de un irradiador poroso se muestra en la Figura 2-4, donde se tiene el ingreso de aire y GLP a través de válvulas, seguido se tiene los medidores de flujo para controlar la cantidad de fluido que se va a suministrar, luego se encuentra la zona de premezcla y posteriormente en la cámara de inyección se precalienta la mezcla, después esta mezcla pasa al quemador poroso y por medio de una fuente de inyección se realiza la combustión. Por otra parte, se tiene que mencionar que para mejorar la entrada de aire es común el uso de ventiladores. En la zona de inyección también es común encontrar un sensor de temperatura con lo cual se puede controlar si el equipo se encuentra trabajando en las condiciones establecidas.

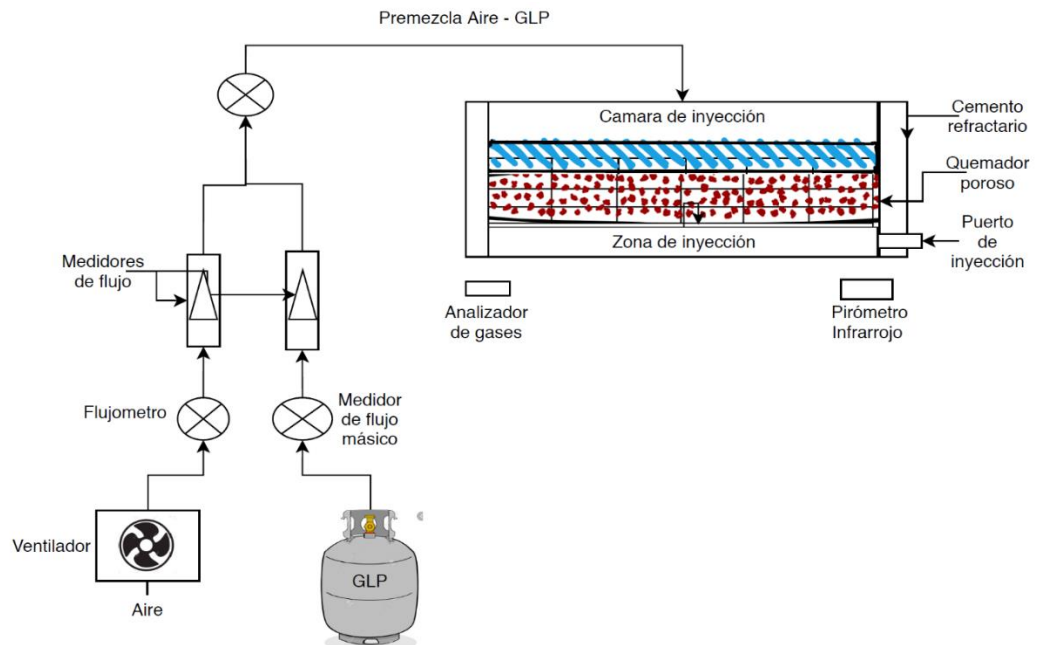


Figura 2.5 Diagrama de un quemador poroso. [Elaboración propia]

2.3 Diseño detallado

2.3.1 Dimensionamiento de la superficie de irradiación

El tamaño de superficie de la probeta se encuentra estandarizada como se muestra en la Figura 2-6, entonces el área expuesta al irradiador es de $0.1 \text{ [m}^2\text{]}$, con una relación de 2.5 entre altura y ancho de la misma. Se ha establecido que la máxima diferencia de poder emisivo que recibe la superficie de la probeta no debe exceder un 10%, donde esta máxima diferencia ocurre entre el centro de la probeta y la esquina más alejada del centro.

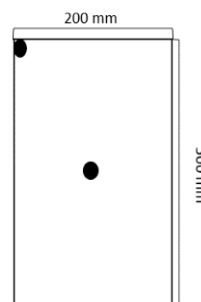


Figura 2.6 Dimensiones de la probeta estandarizada. [Fuente: Elaboración Propia]

Para el desarrollo de esto se sacó una expresión general del factor de vista entre el irradiador y la probeta, para lo cual se hizo uso de la ecuación 1,

donde se subdividió la probeta en áreas muy pequeñas con respecto al área del irradiador. Entonces la expresión final del factor de vista entre el irradiador y un área pequeña de cualquier parte de la probeta es:

$$F_{ij} = 2 \int_0^y \int_0^x \frac{L^2}{\pi(x^2+y^2+L^2)^2} dx dy \quad (2.1)$$

Como primer análisis se supuso que la superficie tanto del irradiador como de la probeta tienen una relación de 2.5

El primer estudio que se hizo fue fijar una distancia de separación entre probeta e irradiador de 1[m] q ir variando el porcentaje uniformidad de la probeta, entonces se obtuvo la Figura 2.7 donde se observó que a medida que se incrementa el área del irradiador el tamaño de la probeta se va incrementando.

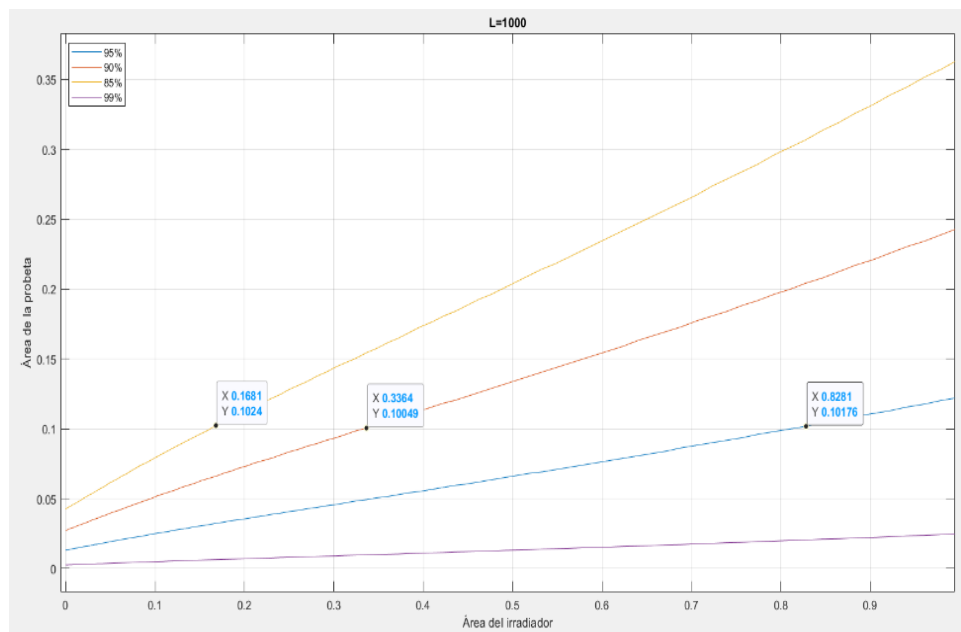


Figura 2.7 Área del irradiador vs Área de la probeta, a una distancia fija. [Elaboración propia]

El segundo estudio, consistió en fijar un porcentaje de variación de %10 e ir variando la distancia entre el irradiador y la probeta, entonces se obtuvo la Figura 2.8 donde se observa que al igual que la Figura 2.7 la curva se incrementa a medida que el área de irradiación aumenta.

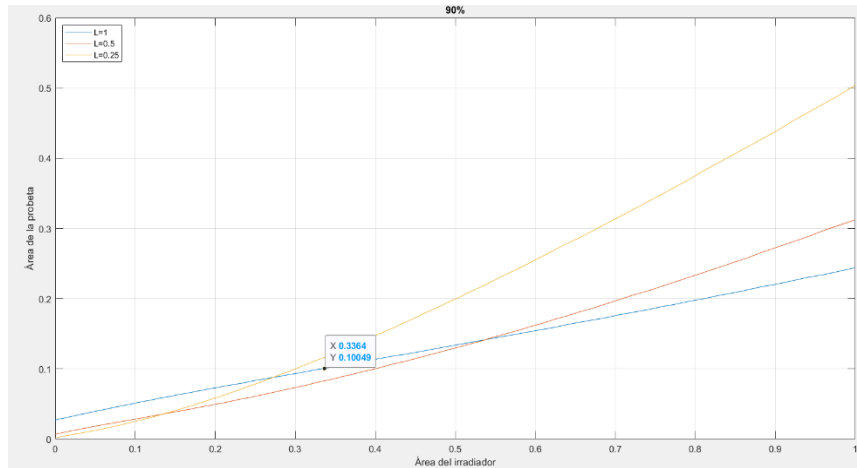


Figura 2.8 Área del irradiador vs Área de la probeta, a un porcentaje fijo. [Elaboración propia]

De acuerdo con el primer estudio el área adecuada para el irradiador debe ser de $0.32[m^2]$ que corresponde a dimensiones de altura y ancho de $890[mm]$ y $360[mm]$ correspondientemente. Sin embargo, estas dimensiones no se pudieron formar con los quemadores porosos que ofrecen los fabricantes, puesto que los mismos individualmente tienen dimensiones de $150[mm]$ x $200[mm]$, entonces se procede a aproximar dichas dimensiones y se revisa si los requerimientos establecidos se cumplen.

El arreglo de los quemadores porosos establecida es: 4 filas x 2 columnas, formando de tal manera una superficie con dimensiones de $800[mm]$ x $300[mm]$ tal como se aprecia en la Figura 2.9

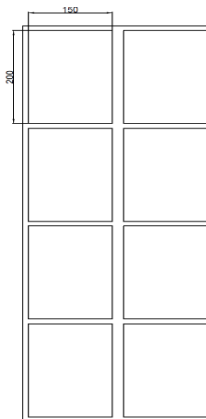


Figura 2.9 Configuración de los quemadores. [Fuente: Elaboración propia]

Con las dimensiones de la Figura 2.9 se procede a verificar que se cumpla los requerimientos de diseño establecido.

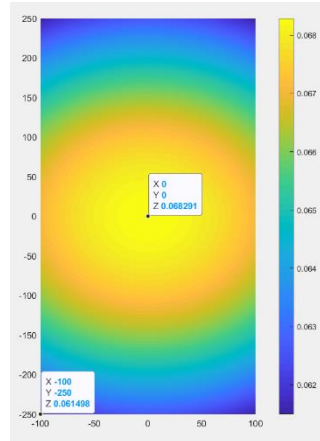


Figura 2.10 Distribución del factor de vista entre la probeta y el irradiador.
[Fuente: Elaboración propia]

Con las dimensiones establecidas se ha conseguido una uniformidad en la probeta del 90.12% con un factor de vista promedio entre la probeta y el irradiador de 0.0657.

2.4 Diseño del sistema de alimentación

El sistema de alimentación del sistema está conformado por el sistema de alimentación de GLP y el sistema de alimentación de aire.

2.4.1 Diseño del sistema de alimentación de GLP

Se calculó el flujo másico que requiere el quemador, para lo cual se escogió el punto de carga máxima que según el fabricante es de $1000 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ y se usó el poder calorífico inferior y la eficiencia del GLP

$$\dot{m}_{GLP} = \frac{q}{PCI * \eta} = \frac{1000 \left[\frac{kW}{m^2} \right]}{45700 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 0.8} * (0.3[m] * 0.8[m]) = 6.56 \left[\frac{g}{s} \right]$$

Este sistema está conformado por la tubería de alimentación que va desde el tanque de combustible de GLP hasta el banco de prueba junto a sus accesorios, para esto se ha tomado una distancia máxima de recorrido de 12[m] de longitud. Haciendo uso de la ecuación cuadrática de Renouard que establece la norma UNE 60621, entonces:

$$P_1^2 - P_2^2 = 51.2 * s * L_e * Q^{1.82} * D^{-4.82} \quad (2.2)$$

Donde:

P_1 : Presión absoluta inicial (b)

P_2 : Presión absoluta inicial (bar)

s : Densidad ficticia o de cálculo

L_e : Longitud equivalente del tramo [m]

Q : Caudal de gas $\left[\frac{m^3}{h}\right]$

D : Diámetro interno de la tubería

Considerado que la distancia entre el tanque de GLP y el irradiador es de 2 metros, la densidad ficticia es de $s = 1.16$, se establece una presión máxima de conexión de 28[bar] con una caída máxima de presión de 10%. Por otra parte, se va a calcular el caudal en función del poder calorífico superior del GLP 24600 $\left[\frac{kcal}{m^3}\right]$ en una mezcla 70-30.

$$Q = \frac{P}{PCS} = \frac{1000 [kW]}{36 \left[\frac{kWh}{m^3}\right]} = 27.78 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

Entonces, el diámetro mínimo que se requiere es de:

$$D = 4.82 \sqrt{\frac{51.2 * 1.16 * 12 * 27.78^{1.82}}{(30.8^2 - 28^2)}}$$

$$D = 4.76[mm]$$

Este valor es menor que la medida mínima que establece la norma UNE 53.539 para tubos flexibles que corresponde a un valor de 9[mm], por tanto, se escogió como diámetro al que se encuentra normalizado. Luego, se verificó que la velocidad sea inferior a los 20[m/s] que establece la norma.

$$V = \frac{378 * 27.78}{28 * 9^2}$$

$$V = 4.63 \left[\frac{m}{s} \right]$$

2.4.2 Diseño del sistema de alimentación de Aire

Se calcula el flujo másico de aire, a través de la relación aire combustible.

$$\dot{m}_{aire} = 0.00656 \left[\frac{kg}{s} \right] * 15.63 = 0.103 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Para una densidad de 0.95 [kg/s] y para un arreglo de dos quemadores, se tiene un caudal de trabajo de 94.59 $\left[\frac{m^3}{h} \right]$. Por otra parte, la longitud equivalente para la tubería de alimentación para dos quemadores es de 2.21[m], seguido se hace uso de la ecuación de Renouard para tuberías de aire comprimido y se determina el diámetro interior de la tubería de aire.

$$D = 4.82 \sqrt{\frac{3.47 * 2.21 * 94.59^{1.82}}{0.14}}$$

$$D = 12.79[mm]$$

Posteriormente se revisa que se cumpla la velocidad máxima de transporte, que corresponde a 10[m/s]

$$V = \frac{378 * 94.59}{7 * 12.79^2}$$

$$V = 31 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Debido a que la velocidad no se encuentra dentro del rango de trabajo que establece la norma ISO 8573.1 entonces se escoge otra medida de diámetro interno. La medida seleccionada ha sido de 1[in], la cual cumple con todos los requerimientos.

2.5 Diseño del soporte del quemador poroso

El arreglo de los quemadores porosos es de 4 en fila y 2 en columna, por lo cual, si la base del irradiador se divide en 4 soportes, dónde en cada soporte van a descansar 2 quemadores en fila con sus correspondientes sistemas de alimentación tanto de GLP como de Aire. Entonces, el soporte total del quemador poroso fue diseñado en base al diseño de uno de estos soportes.

Tabla 2.5 Peso de los elementos del irradiador.

Peso que va a soportar la base del quemador	
Sistema de alimentación de aire[N]	87,09
Sistema de alimentación de GLP[N]	48,85
Quemadores porosos[N]	266,05
Total[N]	402,00

El peso que va a soportar es $\frac{1}{4}$ del peso total, y el torque asociado a cada soporte también es $\frac{1}{4}$ del total, que corresponde a un valor de 13 [Nm].

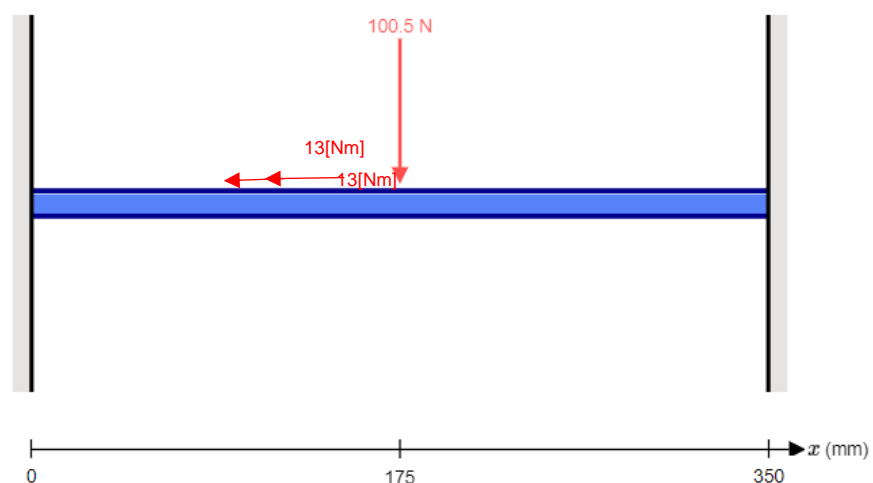


Figura 2.11 Diagrama de cuerpo libre para el soporte.
[Fuente: Elaboración propia]

Seguido se determinó el momento máximo, que fue de 4.4 [Nm], luego se escogió un acero comercial como material de trabajo, que correspondió al Acero ASTM A36 con un perfil angular de 90°, estableciendo un factor de seguridad de 3, se determinó las dimensiones del perfil, sin embargo, el valor

obtenido no es comercial y no se encuentra normalizado por lo cual se escogió las dimensiones más pequeñas que ofrecen los fabricantes, para finalizar se simuló.

2.6 Mapeo de uniformidad de irradiación sobre la probeta

La uniformidad de la probeta se encuentra asociada al poder emisivo que va a recibir de parte del irradiador. Este poder emisivo de llegada posee una relación con el de partida, de acuerdo con el factor de vista. Sin embargo, se tiene que mencionar que, en distancias cercanas entre el irradiador y la probeta, el fenómeno de convección es más evidente, pero para esta parte de estudio teórico no se ha considerado ello y sólo el fenómeno de radiación.

Los puntos de interés en la probeta son aquellos en donde ocurre la diferencia máxima de poder emisivo de llegada, por tanto: Los puntos de interés son el centro de la probeta y la esquina de esta.

$$E_{centro} = F_{12}E$$

$$E_{esquina} = F'_{12}E$$

$$\%Uniformidad = \frac{E_{centro}}{E_{esquina}} = \frac{F_{12}}{F'_{12}} * 100$$

Luego, se varió la distancia entre el irradiador y la probeta, para obtener la curva de %Uniformidad en la probeta vs distancia entre ellas.

Adicionalmente, se obtuvo la curva del factor de vista facto promedio entre la probeta y el irradiador, asimismo se analizó para la capacidad máxima del quemador poroso la cantidad de poder emisivo que recibe la probeta, y la máxima diferencia radiación a medida que se cambia la distancia entre las superficies.

2.7 Estudio teórico: Comportamiento térmico de una probeta de concreto

El banco de pruebas tiene como objetivo modelar las curvas estandarizadas de fuego, por lo cual una cara de la probeta va a estar sometida a un flujo de calor inducido por el quemador poroso, sin embargo, este calentamiento va a

estar sujeto a pérdidas en la probeta ya sea éstas por convección, radiación o conducción. Además, estas curvas son una representación de régimen transitorio en la probeta, es decir, a medida que pasa el tiempo la temperatura media de la probeta va a ir incrementándose, de la misma manera las pérdidas. En el caso de las pérdidas por convección libre, tanto la temperatura de la superficie de la probeta como el valor del coeficiente de convección van cambiando, puesto que este último depende de la temperatura de superficie de la probeta. Por lo cual, en primera instancia se requiere un set de datos para el coeficiente de convección en función de la temperatura de superficie. Para esto se ha usado las correlaciones recomendadas por Churchill and Chu, con una temperatura ambiente de 300[K] y las propiedades del aire.

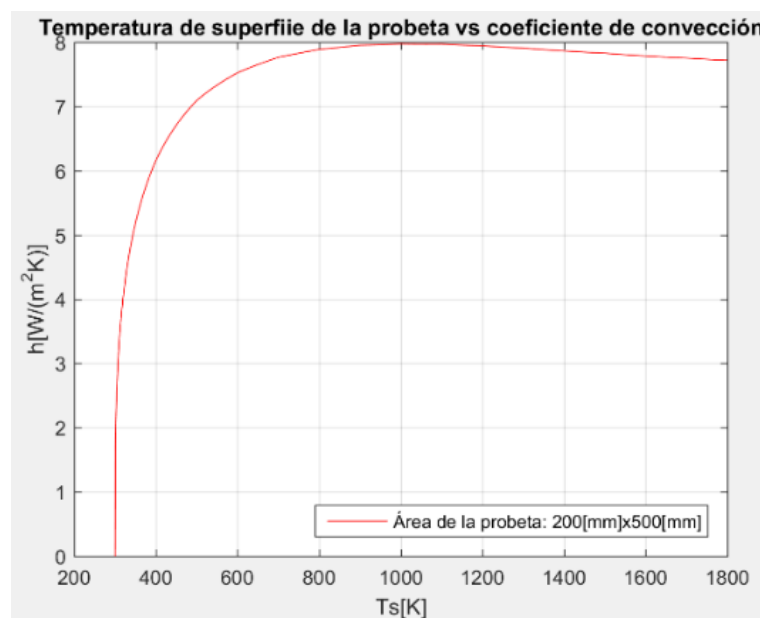


Figura 2.12 Coeficiente de convección vs temperatura de superficie de la probeta. [Fuente: Elaboración propia]

2.7.1 Análisis en régimen estacionario

Se procede a determinar la temperatura de estabilización para diferentes valores de calor de llegada, esta temperatura de estabilización se encuentra sujeta a las condiciones de frontera de la probeta. Este análisis permite estimar el calor necesario en el quemador poroso para alcanzar cierta temperatura en la probeta.

El primer caso que se va a analizar es el siguiente

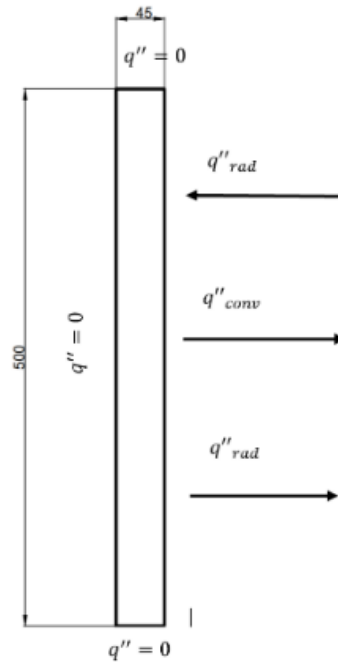


Figura 2.13 Esquema de la probeta. [Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 2.13 se presenta el esquema donde todas las paredes a excepción de la que se encuentra expuesta a radiación se encuentran aisladas.

Realizando el balance de energía en condiciones de estabilización, se tiene:

$$q''_{in} - q''_{out} = 0$$

$$\alpha q''_{rad-in} - \varepsilon q''_{rad-out} - q''_{conv} = 0$$

$$\alpha q''_{rad-in} - \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) - h(T_s - T_\infty) = 0$$

La temperatura de los alrededores se asume que es igual a la temperatura ambiente que es de 300[K], para el valor de absortividad se ha escogido un valor de 0.88 y para la emisividad del concreto se ha tomado una cantidad de 0.93, el coeficiente de convección se saca del set de datos obtenidos anteriormente.

El segundo caso que se ha realizado difiere del primer caso en que la parte posterior de la probeta de concreto no se encuentra aislada, además se tiene que mencionar que se ha asumido que la temperatura de la superficie

posterior es igual a la temperatura de la parte frontal de la probeta, lo cual es incorrecto porque la probeta no es térmicamente fina. El resto de los valores que se han usado son iguales a los del caso 1.

2.7.2 Análisis en régimen transitorio

2.7.2.1 Tiempos mínimos para alcanzar la estabilización

El primer caso que se ha analizado en régimen transitorio es el estudio de los tiempos mínimos que se requiere para alcanzar la temperatura de estabilización, para lo cual se ha supuesto que la probeta es térmicamente fina, es decir, que el gradiente de temperatura dentro de la probeta es mínimo, tomando el mismo esquema de la Figura 2.13 entonces:

$$\alpha A q''_{rad} - hA(T_s - T_\infty) - \varepsilon \sigma A(T_s^4 - T_{sur}^4) = \rho V c_p \frac{dT}{dt}$$

La expresión que se encuentra en la parte izquierda es la misma que se ha analizado en estado estacionario, pero la parte derecha de la ecuación cambia debido al régimen transitorio, donde la densidad del concreto se ha considerado de 2300[kg/m³] y el calor específico de 880[J/kg K], por otra parte, esta ecuación es de primer orden no lineal por lo cual se requiere de algún método numérico para la resolución de esta.

Se ha usado el método de Euler con un paso de 10[s].

$$f(T) = \frac{(\alpha q''_{rad} - h(T_s - T_\infty) - \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4))}{\rho e c_p}$$

2.7.2.2 Análisis unidimensional

Para el análisis unidimensional se ha usado el método de diferencias finitas, y se ha estudiado en la superficie que es perpendicular a la superficie del irradiador, con esto establecido los nodos representativos son 3, los cuales son: El nodo interior, el nodo de la parte frontal y el nodo de la parte posterior.

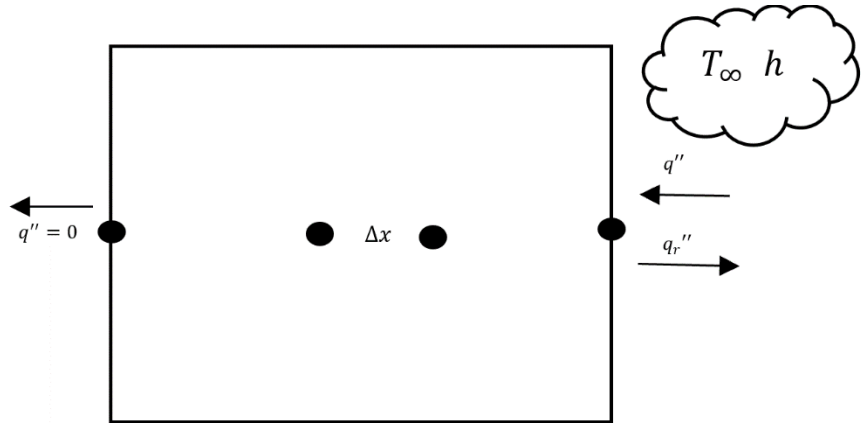


Figura 2.14 Esquema para el análisis unidimensional de la probeta de concreto.
[Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 2.14 se presenta el esquema para el análisis unidimensional, donde se ha tomado que la parte posterior se encuentra aislada, seguido se ha sacado las ecuaciones nodales de los nodos representativos.

Para el nodo frontal

$$q_{in} - q_{out} = \Delta E_{st}$$

$$h(T_{\infty}^p - T_n^p) + k \frac{(T_{n-1}^p - T_n^p)}{\Delta x} + q'' - q_r'' = \rho c_p \frac{\Delta x}{2} \frac{T_n^{p+1} - T_n^p}{\Delta t}$$

Además

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_n + T_{sur})(T_n^2 + T_{sur}^2)$$

Entonces

$$T_n^{p+1} = T_n^p (1 - 2BiF_0 - 2F_0) + 2BiF_0 T_{\infty} + 2F_0 T_{n-1}^p + 2F_0 \frac{\Delta x}{k} (q'')$$

Para el nodo posterior

$$T_1^{p+1} = F_0 (2T_2^p) + (1 - 2F_0) T_1^p$$

Para el nodo interior

$$T_i^{p+1} = F_0 (T_{i+1}^p + T_{i-1}^p) + (1 - 2F_0) T_i^p$$

Las propiedades que se han usado son las mismas que se han establecido anteriormente, se ha usado un paso de 10 y un espaciamiento de nodo a nodo de 5[mm].

Adicionalmente, se ha analizado que la parte posterior no se encuentra aislada.

2.7.2.3 Análisis bidireccional

Al igual que el análisis unidimensional, para este análisis se ha usado el método de diferencias finitas, en este caso los nodos representativos del sistema son 6 los cuales son: El nodo del borde frontal, el del borde posterior, de la esquina frontal, de la esquina posterior, el del borde superior o inferior y el nodo interior.

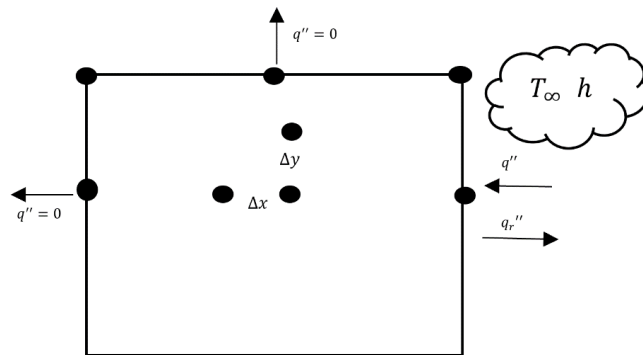


Figura 2.15 Esquema para el análisis bidireccional de la probeta de concreto [Fuente: Elaboración propia]

Se ha considerado que todas las superficies se encuentran aisladas a excepción de la superficie expuesta al irradiador. Además, se ha considerado que el espaciamiento tanto en x como y son iguales, entonces las ecuaciones nodales son:

Para el nodo del borde frontal

$$T_{n,m}^{p+1} = T_{n,m}^p (1 - 2BiF_0 - 4F_0) + 2BiF_0 T_\infty + F_0 (2T_{n-1,m}^p + T_{n,m+1}^p + T_{n,m-1}^p) + 2F_0 \frac{\Delta x}{k} q'$$

Para el nodo del borde posterior

$$T_{c,d}^{p+1} = T_{c,d}^p (1 - 4F_0) + F_0 (2T_{c-1,d}^p + T_{c,d+1}^p + T_{c,d-1}^p)$$

Para el nodo de la esquina frontal

$$T_{i,j}^{p+1} = T_{i,j}^p (1 - 2F_0 Bi - 4F_0) + 2F_0 Bi T_\infty + 2F_0 (T_{i-1,j}^p + T_{i,j-1}^p) + 2F_0 \frac{\Delta x}{k} q'' \alpha$$

Para el nodo de la esquina posterior

$$T_{a,b}^{p+1} = T_{a,b}^p (1 - 2BiF_0 - 4F_0) + 2F_0(T_{a-1,b}^p + T_{a,b-1}^p)$$

Para el borde superior o inferior

$$T_{r,s}^{p+1} = T_{r,s}^p (1 - 4F_0) + F_0(T_{r+1,s}^p + 2T_{r,s-1}^p + T_{r-1,s}^p)$$

Para el nodo interior

$$T_{e,f}^{p+1} = T_{e,f}^p (1 - 4F_0) + F_0(T_{e+1,f}^p + T_{e-1,f}^p + T_{e,f+1}^p + T_{e,f-1}^p)$$

El espaciamiento que se ha usado es 5[mm] por lo cual se tiene un análisis en 900 nodos, además el paso en el tiempo se usado de 5[s] y el resto de las propiedades son las mismas que se han usado en los análisis anteriores.

Adicionalmente, se ha analizado que la parte posterior no se encuentre aislada.

2.7.2.4 Análisis con irradiador móvil

En este caso se fija un flujo de calor constante en el quemador poroso, y se va acercando el irradiador a la probeta de concreto de tal manera que la cantidad de radiación que recibe la probeta se va incrementando. Esto se ha logrado con los resultados obtenidos del factor de vista entre la probeta y el irradiador vs la distancia de separación entre las mismas, es decir, a medida que se itera en el tiempo el valor del factor de vista va cambiando de tal manera que se simula que el irradiador se está moviendo.

2.8 Simulación: Comportamiento termo-mecánico del irradiador y la probeta con un flujo de calor impuesto

En primera instancia, se ha modelado el quemador poroso en base a un set de datos experimentales que se ha extraído de la Fig. 11. de la investigación

‘A Heat-Transfer Rate Inducing Sytem (H-TRIS) Test Method’ del investigador Cristian Maluk. Donde se analizó un banco de ensayos para flujo controlado, cuya fuente de radiación ha sido un arreglo de quemadores porosos de 2x2, donde cada uno tiene dimensiones de ancho y alto de 100[mm] y 200[mm] respectivamente.

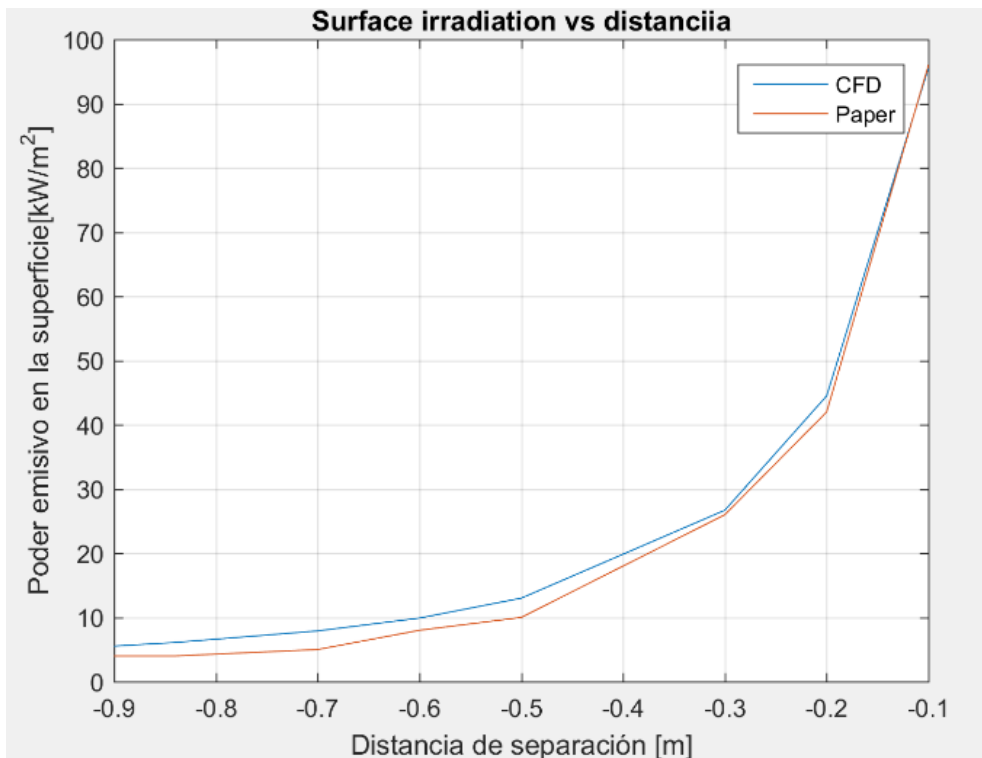


Figura 2.16 Calor de incidencia en la superficie de la probeta vs distancia de separación entre el quemador poroso y la probeta. [Fuente: Elaborado por MSc. Garavito]

Una vez modelado el quemador poroso, como si se comportara como una fuente netamente de radiación y corroborar que los resultados convergen a los experimentales tal como se observa en la Figura 2-16. Se aprecia que los calores de incidencia en la superficie de la probeta obtenidos por CFD se aproximan a los experimentales con pequeños errores. Una vez validado el modelo se procedió a modificar las dimensiones del quemador poroso con las dimensiones propuestas en este proyecto.

Las condiciones de frontera que se han usado en la simulación son las mismas que se han usado en el estudio teórico de la probeta de concreto y de la misma manera el valor de las propiedades del concreto, para diferentes calores de radiación se simuló la distribución de calor en la probeta.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Estudio de variaciones y mapeo de uniformidad de irradiación sobre área de probeta vs distancia del irradiador

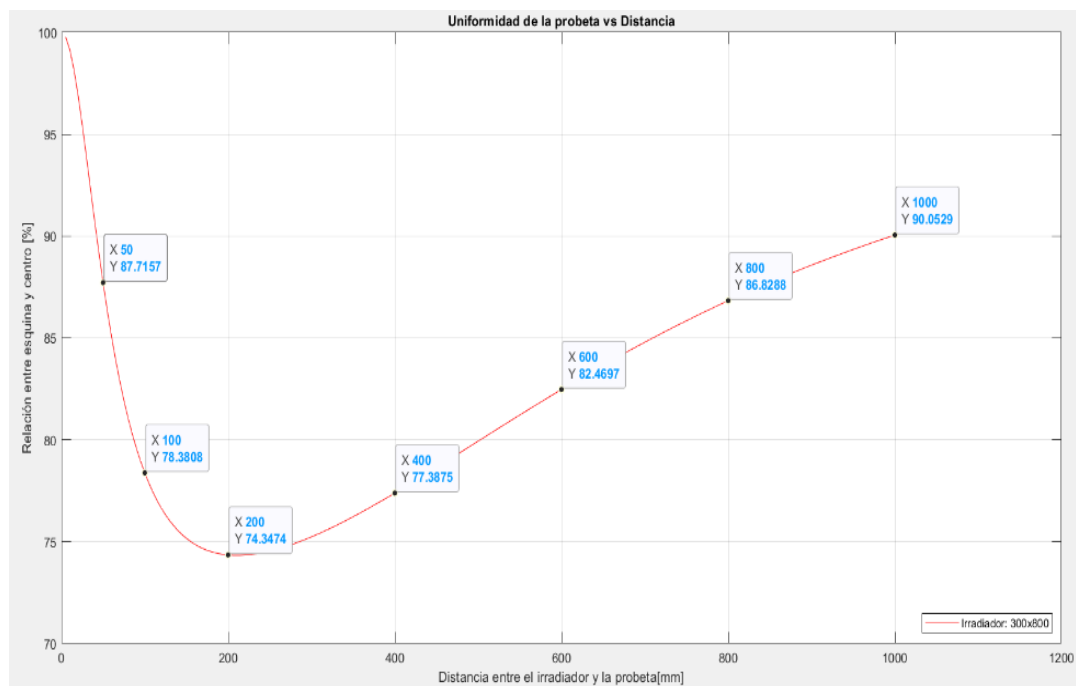


Figura 3.1 Uniformidad de la probeta vs distancia. [Fuente: Elaboración propia]

La figura 3.1 muestra cómo va cambiando la uniformidad de la probeta a medida que se va separando la superficie del irradiador de la probeta, de esto se observa que cuando la distancia es mínima entre las superficies la probeta es totalmente uniforme y a medida que se va alejando este valor va disminuyendo, hasta alcanzar un valor mínimo de 74% cercano a los 200[mm], luego este valor se va incrementando hasta alcanzar una uniformidad de 90% justo a los 1000[m], adicionalmente se tiene que mencionar que a medida que se incremente la distancia de separación la uniformidad va a tender a 100% debido a que la probeta va a ver al irradiador como un punto, con lo cual la diferencia angular entre puntos del irradiador va a tender a cero.

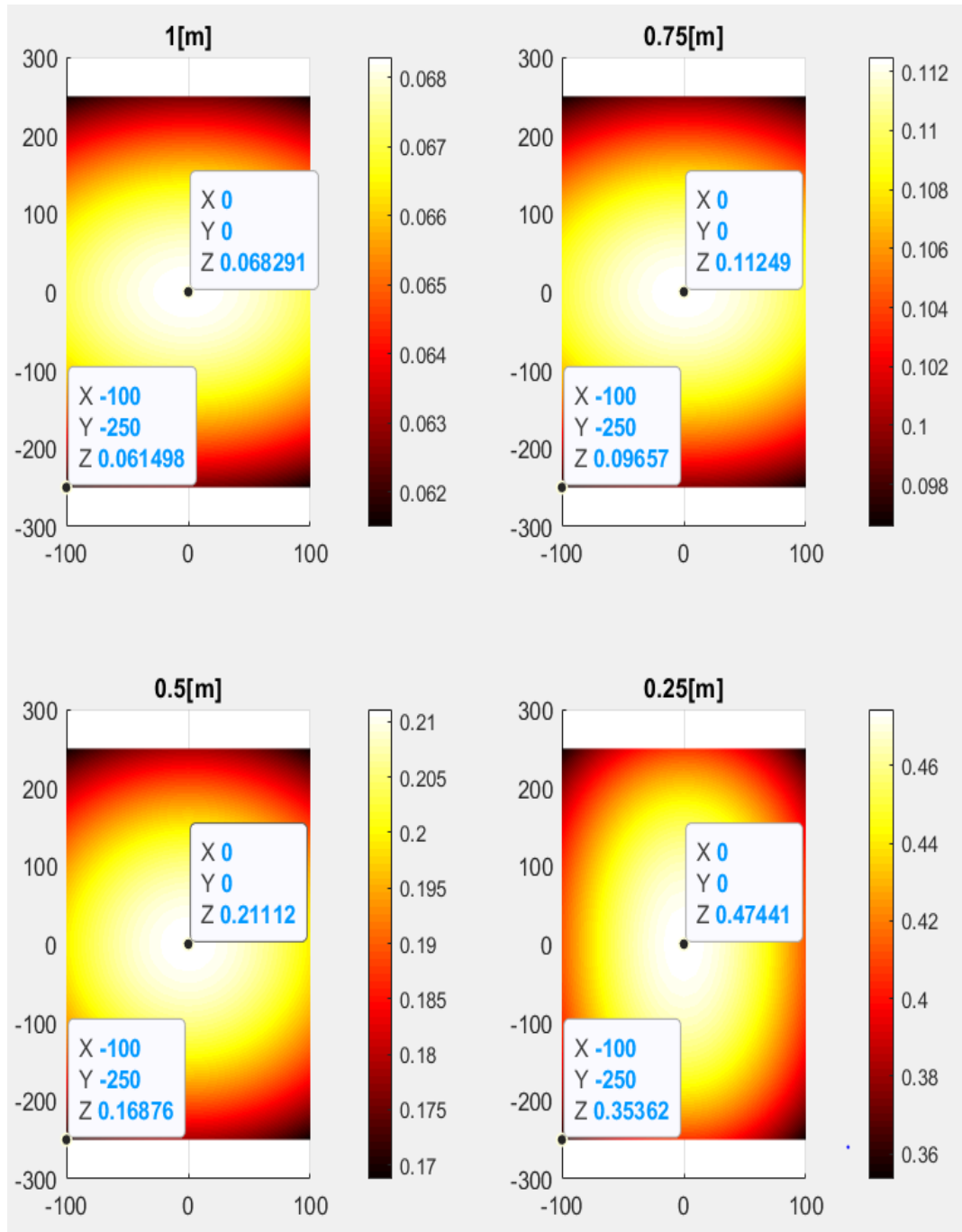


Figura 3.2 Mapeo de uniformidad en la probeta para diferentes valores de separación.
 [Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 3.2 se presenta el mapeo de uniformidad de la probeta para diferentes valores de separación, se observa que en un inicio los valores máximos forman una elipse horizontal, y a medida que se va acercando el irradiador a la probeta esa elipse va reduciendo su tamaño horizontalmente y va aumentando su tamaño verticalmente, por otra parte, este mapeo tiene la forma de curvas de nivel en la extensión de la probeta.

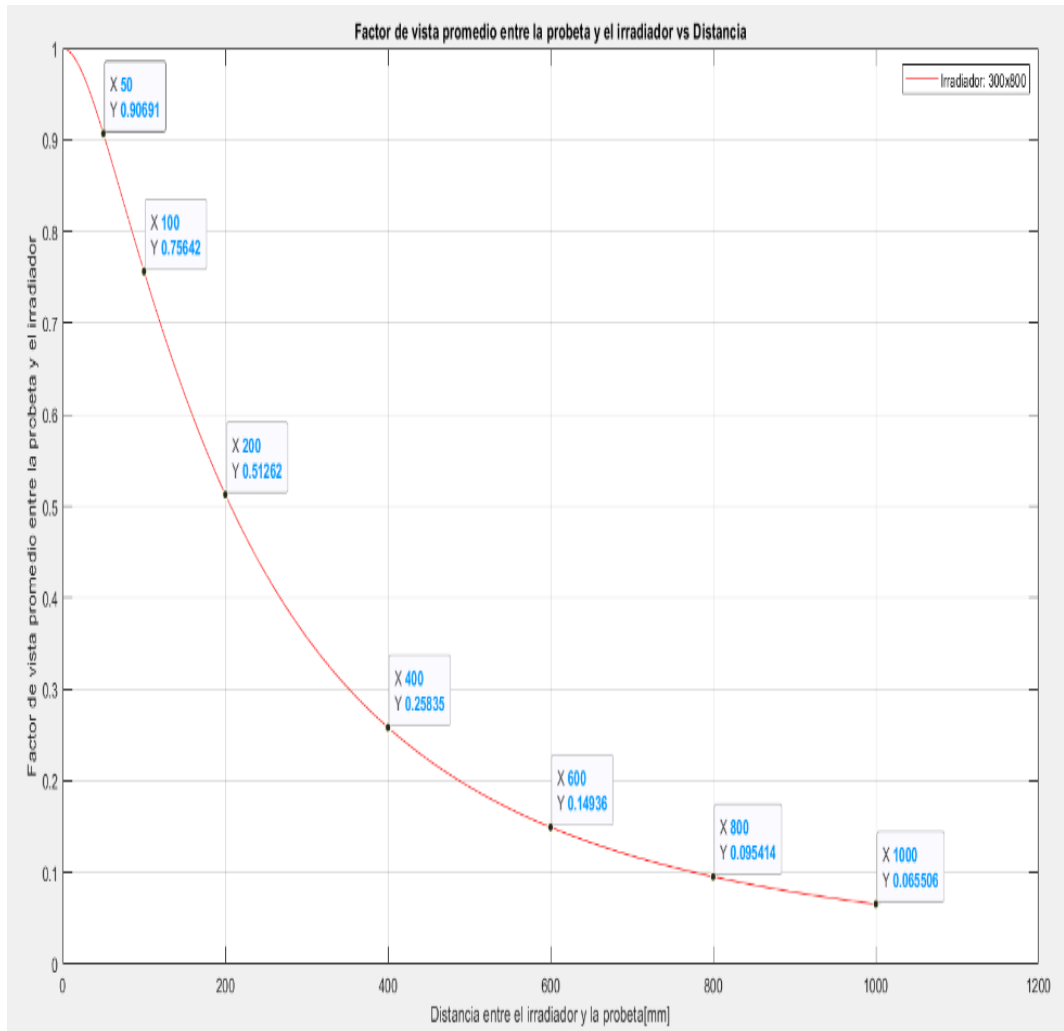


Figura 3.3 Factor de vista promedio entre la probeta y el irradiador vs Distancia de separación [Fuente: elaboración propia]

En figura 3.3 se observa como el factor de vista promedio entre el irradiador y la probeta va disminuyendo a medida que la distancia de separación aumenta, debido a que la radiación del irradiador no sólo se dirigirá a la probeta, sino también a otras superficies, por ejemplo, para una separación de 600[mm] el factor de vista es de 0.149 mientras que para un metro de separación es de 0.065. Por otra parte, como el poder emisivo que le llega a la probeta depende del factor de vista que hay entre esas superficies es evidente que a medida que el irradiador se acerca a la probeta más calor va a recibir la misma, entonces se puede ir variando el flujo de calor de incidencia con el movimiento relativo del irradiador en los rieles del banco de pruebas. Pero este método trae consigo una disminución en el porcentaje de uniformidad en la probeta tal como se aprecia en la Figura 3.1

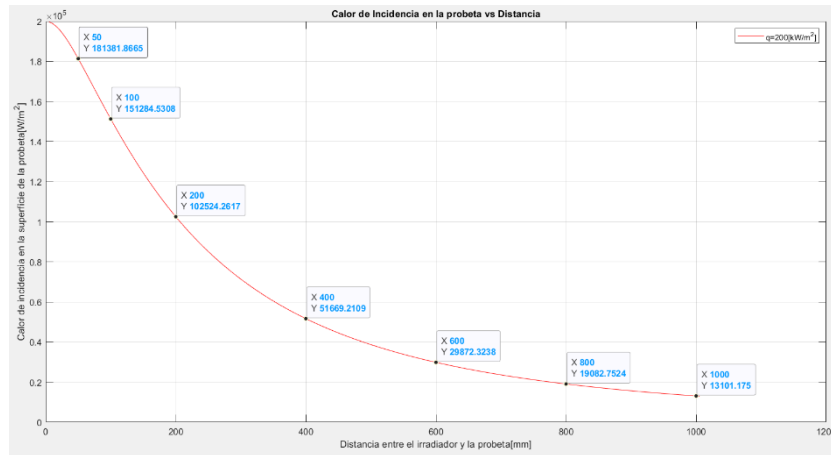


Figura 3.4 Poder emisivo promedio de llegada vs distancia de separación entre el irradiador y la probeta. [Fuente: Elaboración propia]

Para un calor de salida de $200 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$, la forma de la curva que se presenta en la Figura 3.4 era de esperarse puesto que el poder emisivo que le llega a la probeta depende del factor de vista, se tiene que mencionar que para una distancia de 1[m] el poder emisivo máximo alcanzado es de $13.1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ con una uniformidad de 90% y cuando la separación es de 0.6[m] el poder emisivo que se alcanza es de alrededor $29.8 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ pero la uniformidad en la probeta ha decaído a un valor de 80% según la Figura 3.1

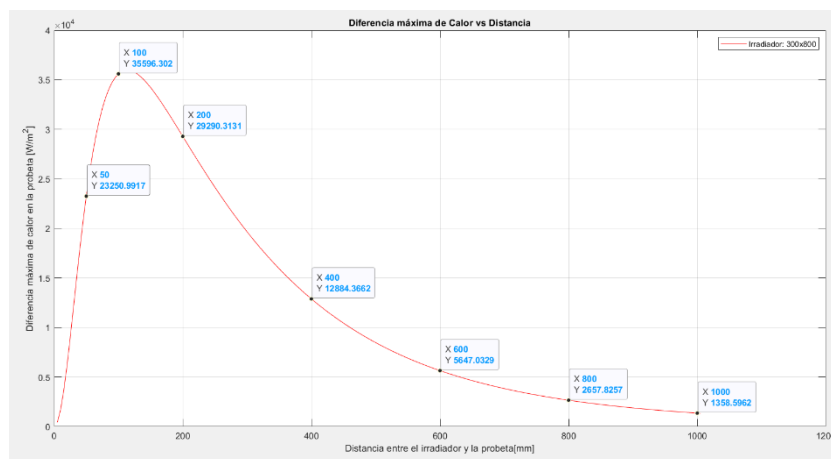


Figura 3.5 Diferencia de poder emisivo entre la esquina como al centro de la probeta vs Distancia de separación [Fuente: Elaboración propia]

En la figura 3.5 se presenta la diferencia de poder emisivo entre el centro y la esquina de la probeta para la capacidad máxima del quemador poroso, esta curva mantiene relación con la Figura 3.1, puesto que a medida que curva de

uniformidad se va incrementando la curva de diferencia de poder emisor va disminuyendo, por otro lugar, de esta figura se extrae que la diferencia máxima alcanzada es cercana a los $35.5 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$, que representa un 23% del calor promedio de incidencia por lo cual en lo posible se evitaría trabajar en este rango.

3.2 Estudio teórico: Comportamiento térmico de la probeta

3.2.1 Régimen estacionario

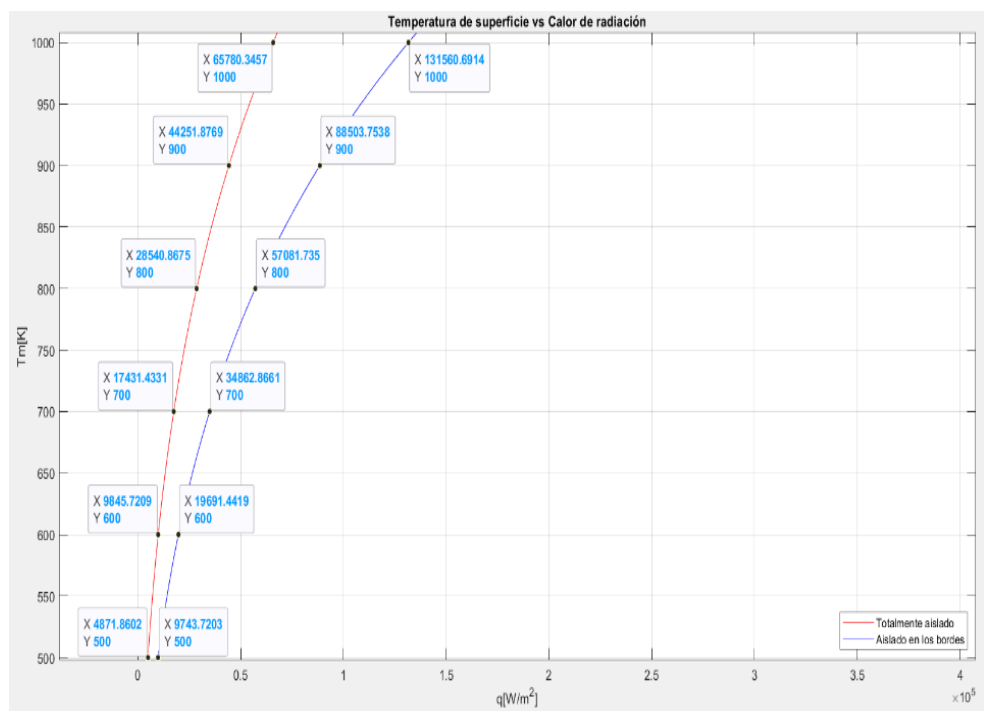


Figura 3.6 Temperatura de estabilización vs Calor de radiación
[Fuente: Elaboración propia]

La Figura 3.6 se presenta la curva de estabilización de la probeta, donde se observa que para condiciones de no aislamiento se requiere un mayor calor de incidencia en la probeta, por ejemplo, para una temperatura de estabilización de 1000[K] se requiere un calor de incidencia de $131.56 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ para el sistema totalmente aislado, mientras que para el sistema solamente aislado en los bordes se requiere un calor de $65 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ que es aproximadamente la mitad del flujo.

3.2.2 Régimen transitorio

3.2.2.1 Tiempos mínimos para alcanzar la estabilización

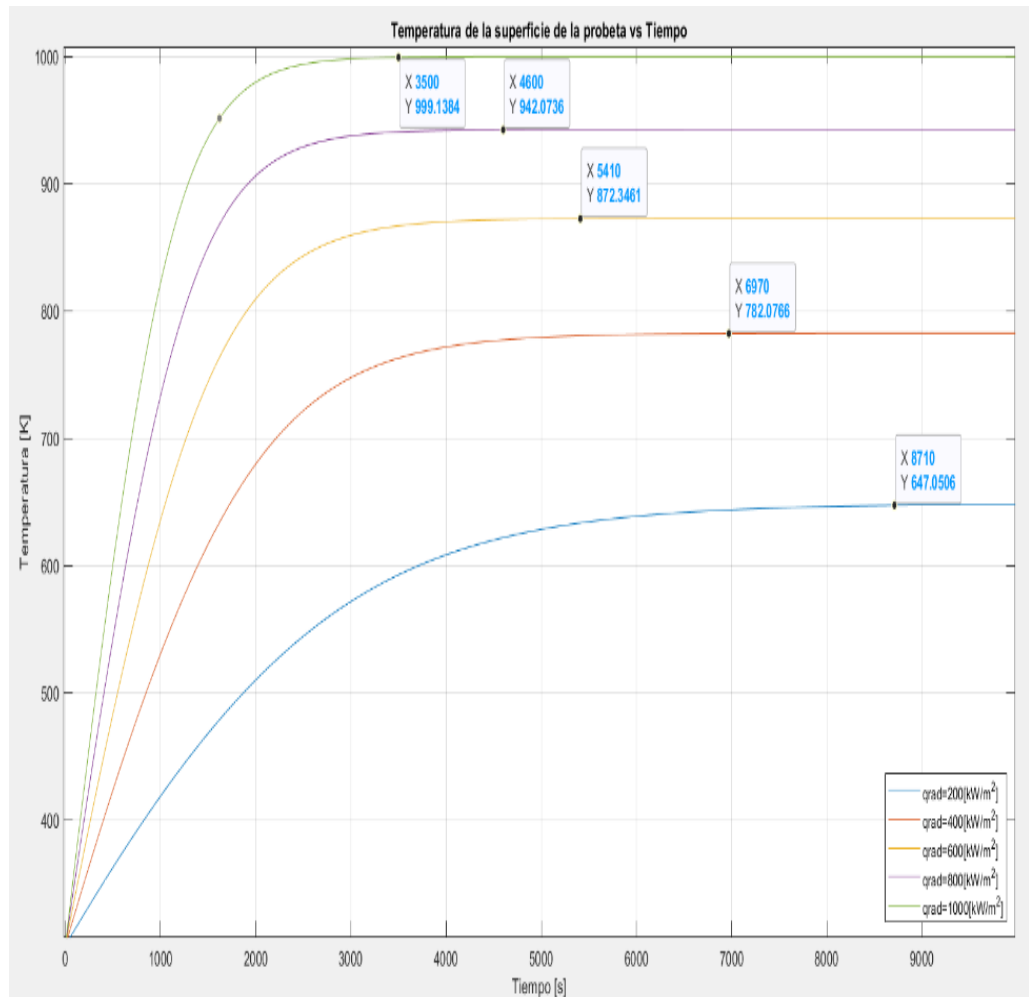


Figura 3.7 Tiempos mínimos que se requiere para que la probeta alcance la temperatura de estabilización [Fuente: Elaboración propia]

En la figura 3.7 se presenta la respuesta transitoria de la probeta de concreto al ser tratada como si la misma se comportara como térmicamente fina, se puede apreciar que a medida que se aumenta la capacidad del quemador poroso, la temperatura de estabilización es mayor lo que corrobora lo que se realizó en el estudio en estado estacionario, pero se observa que el tiempo de estabilización se va reduciendo.

3.2.2.2 Análisis unidimensional

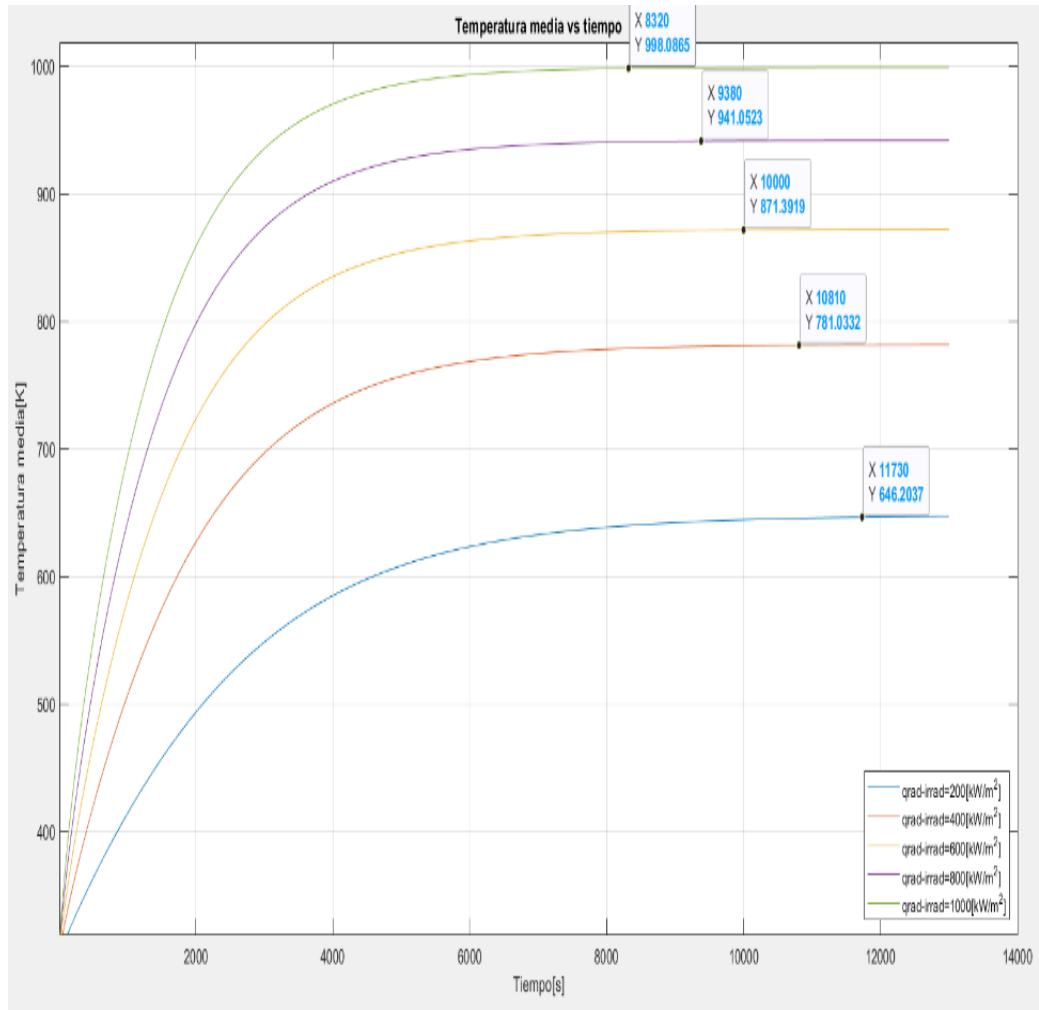


Figura 3.8 Análisis unidimensional de la probeta de concreto.
[Fuente: Elaboración propia]

Lo que diferencia considerablemente este análisis con respecto al análisis presentado en resistencia ínfima es el tiempo que se requiere para alcanzar el equilibrio termodinámico puesto que se requiere un mayor tiempo para alcanzar la temperatura de estabilización, por ejemplo, para un flujo de calor de $1000 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ se requiere un tiempo de 8320[s] mientras que con el análisis de resistencia ínfima se necesita 3500[s] para alcanzar la estabilización, por otro lado, este método al usar una capacidad pequeña de cómputo es bueno para representar varias configuraciones de manera simultánea.

3.2.2.3 Análisis Bidimensional

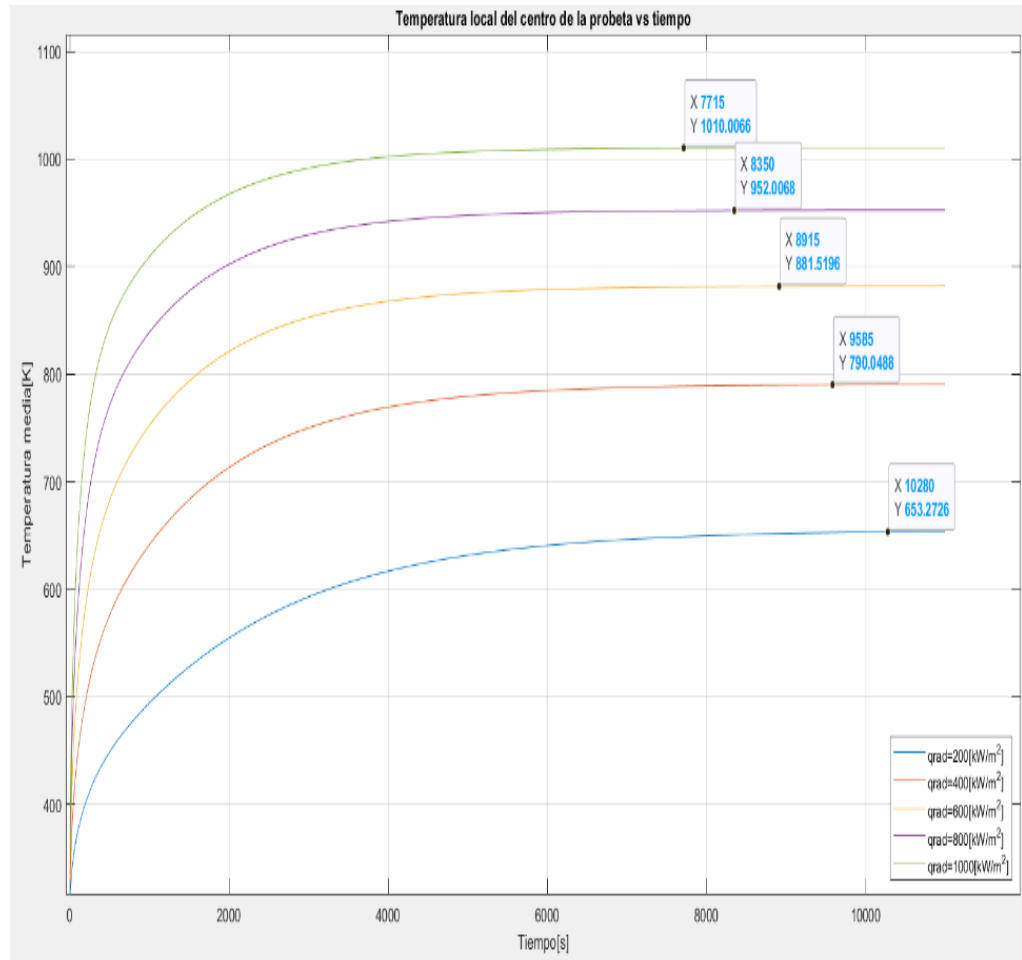


Figura 3.9 Análisis bidimensional de la probeta de concreto.
[Fuente: Elaboración propia]

Los resultados obtenidos para el análisis bidimensional difieren de los que se han obtenido en el unidimensional en un porcentaje de diferencia alrededor del 10%, puesto que el tiempo de estabilización se ha reducido y la temperatura de equilibrio se ha incrementado, por ejemplo, para un calor de $800 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$ el tiempo de estabilización ronda los 8350[s] con una temperatura asociada de 952[K] mientras que en el análisis el tiempo fue de 9380[s] y la temperatura alcanzada fue de 941[K].

Adicionalmente, se tiene que mencionar que a medida que se refina el mallado la pendiente de los puntos de estabilización se incrementa negativamente.

El sistema aislado supone el caso crítico de operación en el banco de ensayo, por tanto, para la carga máxima del quemador se requiere 49.94[kg] de GLP.

3.3 Simulación: Comportamiento termo-mecánico del irradiador y la probeta con un flujo de calor impuesto

3.3.1 Simulación del flujo de calor de incidencia en la probeta

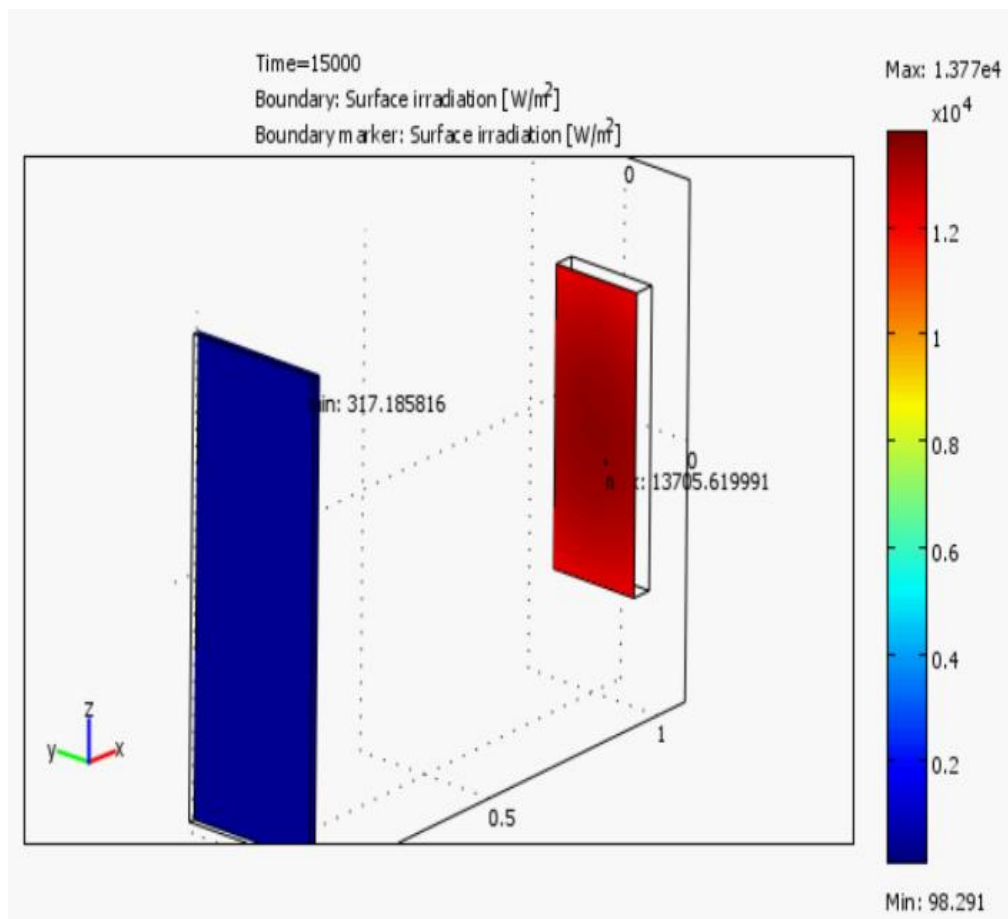


Figura 3.10 Simulación Irradiador-Probeta para un flujo de calor constante en el irradiador. [Fuente: Elaboración propia]

En la figura 3.10 se presenta la distribución de calor de incidencia en la probeta para una separación entre probeta y radiador de 1[m] donde se observa que en el centro de esta se alcanza los valores máximos mientras que en las esquinas se alcanzan valores de calores de incidencia menores.

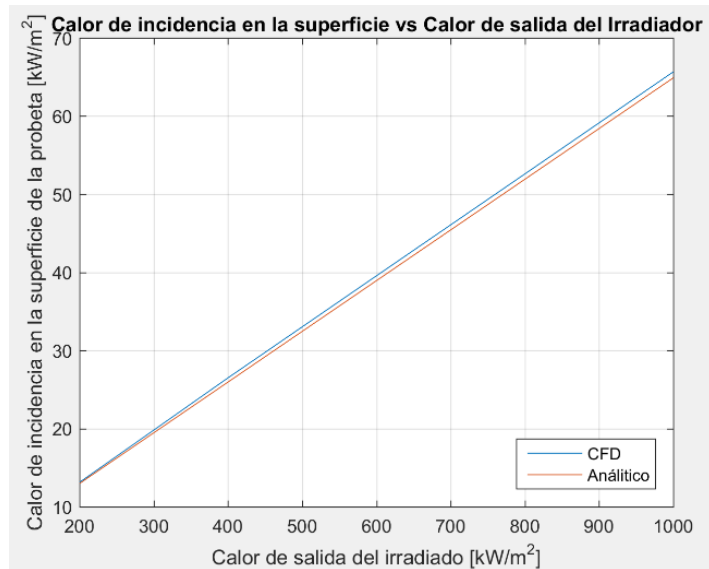


Figura 3.11 Calor de incidencia en la superficie de concreto vs Calor del irradiador a 1[m] de distancia [Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura 3.11 se observa que la simulación se apega totalmente al fundamento teórico, puesto que se ha puesto a prueba al modelo en CFD a diferentes calores de irradiación del irradiador y se ha medido el flujo de calor que le llega a la probeta. Según el análisis en CFD el factor de vista promedio es 0.0659, que presenta un error con respecto al valor teórico de 10%.

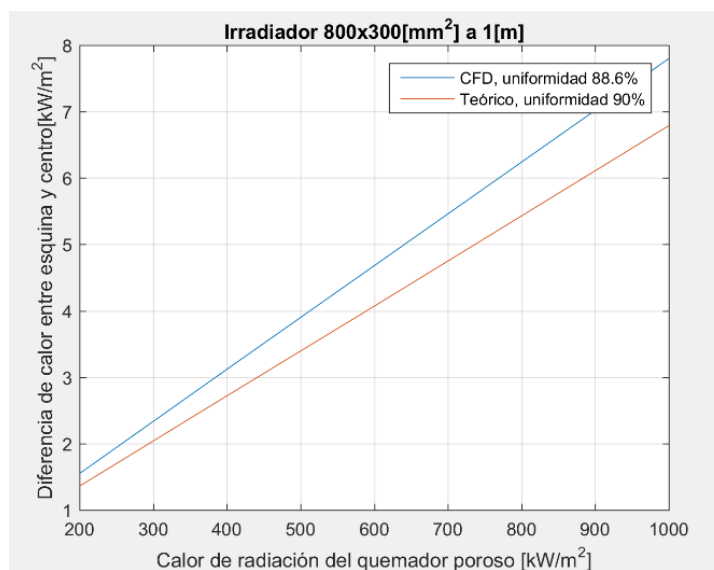


Figura 3.12 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 1 metro de separación para varios calores en el quemador. [Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura 3.312 se observa la uniformidad de calor de incidencia que hay en una probeta a 1 metro de distancia tanto en CFD como Teórico, donde

se observa que en CFD se ha tenido un 88.6% de uniformidad que discrepa de la parte teórica alrededor de 1.4%

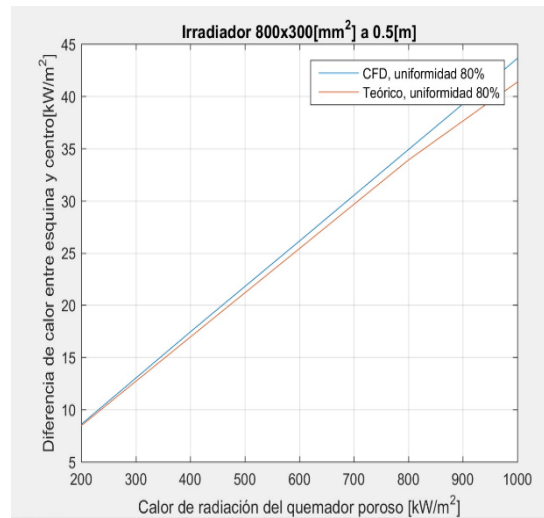


Figura 3.13 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 0.5 metros de separación [Fuente: Elaboración Propia]

En la figura 3.13 se observa que en una separación de 0.5 metros la uniformidad en la probeta disminuye, en donde se observa que tanto en CFD como en la parte teórica se tiene un porcentaje de uniformidad del 80%, si bien es cierto que ha disminuido la uniformidad del calor de incidencia en la probeta, pero el calor de incidencia promedio en la misma se ha incrementado.

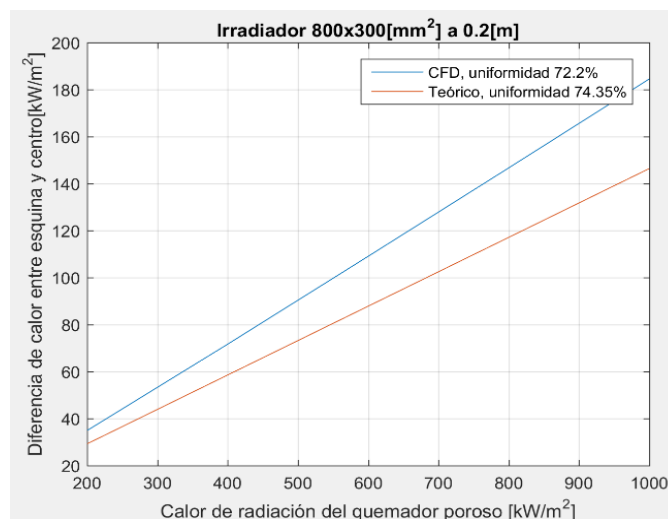


Figura 3.14 Estudio de uniformidad en la probeta de concreto a 0.2 metros de separación. [Fuente: Elaboración Propia]

En una separación de 0.2 m la uniformidad en la probeta presenta su valor mínimo, tal como se observa en la Figura 3-16 donde en CFD se ha obtenido una uniformidad de 72.2% con una diferencia de 2.15% con respecto al valor teórico.

3.3.2 Simulación de régimen transitorio de una probeta de concreto

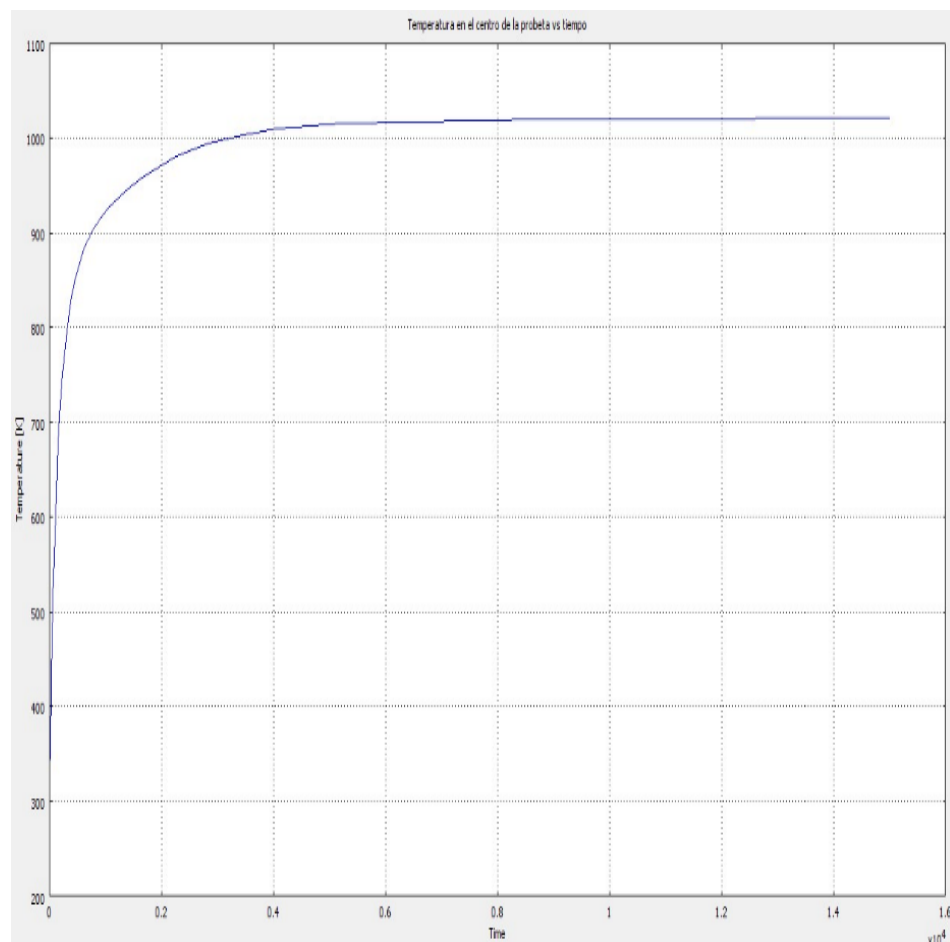


Figura 3.15 Respuesta transitoria de una probeta de concreto sometida a un flujo de calor constante de $1000 \frac{kW}{m^2}$ a 1 [m] de separación. [Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura 3.15 se presenta la curva de transición de una probeta de concreto hasta alcanzar la estabilización, donde se observa que el punto de equilibrio termodinámico es similar al análisis bidimensional, puesto que se requiere 8000[s] para alcanzar la temperatura de estabilización que ronda los 1015[K].

3.3.3 Simulación del soporte del irradiador

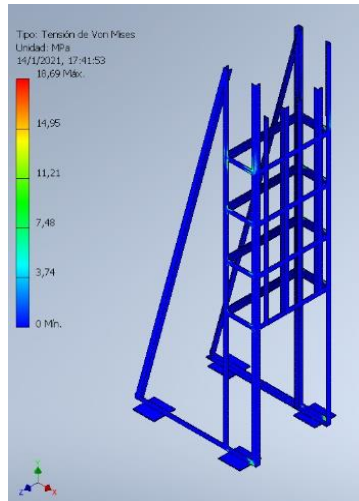


Figura 3.16 Análisis en el elementos finitos - Esfuerzo de Von Mises. [Fuente: Elaboración Propia]

Los esfuerzos de Von Mises que se observan en el base del irradiador, presentan su valor máximo justo en las uniones soldadas y en unión de la bancada, sin embargo, estos valores son pequeños con respecto al valor de Fluencia del Acero AISI 36 que corresponde a 250MPa.

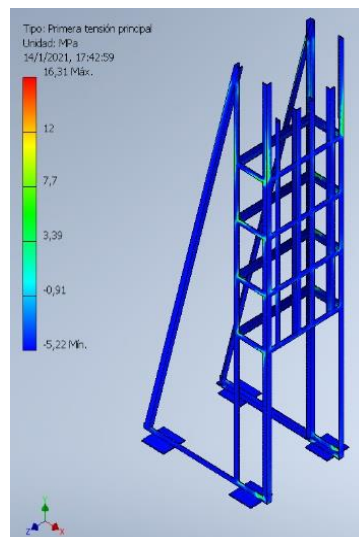


Figura 3.17 Primera tensión. [Fuente: Elaboración Propia]

El momento equivalente que debe soportar el soporte es menor con respecto a la fuerza debido al peso de los elementos que comprenden al irradiador, por lo cual es de esperarse que el esfuerzo principal máximo se aproxime en gran medida al esfuerzo de Von Mises.

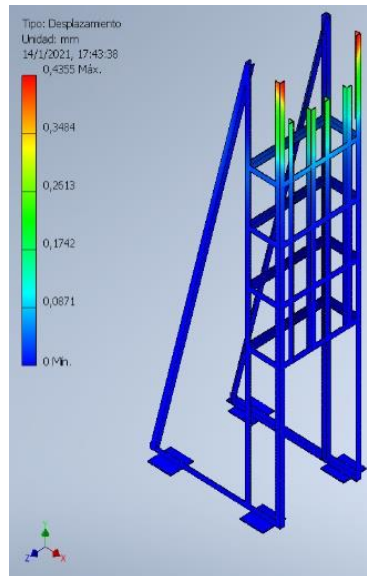


Figura 3.18 Deformación del soporte del irradiator. [Fuente: Elaboración Propia]

LA deformación máxima que se aprecia en la Figura 3-19 se encuentra dentro del rango permisible del % de elongación,

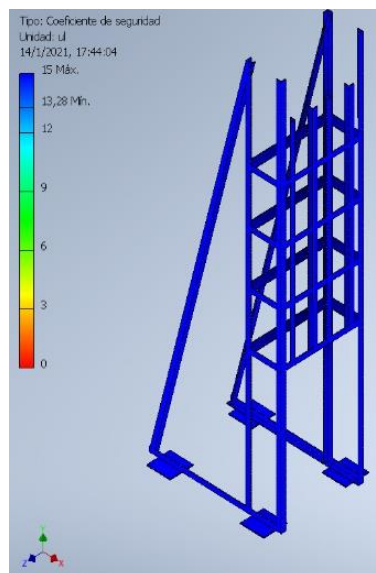


Figura 3.19 Factores de seguridad para el diseño del soporte del irradiator. [Fuente: Elaboración Propia]

Los factores de seguridad obtenidos se encuentran muy encima de un factor de diseño recomendado, sin embargo, el material que se ha usado es comercial por lo cual los costos y la accesibilidad al mismo es buena.

3.4 Planos de construcción

Los planos de construcción se encuentran en APÉNDICE C.

La material que se va a usar en la estructura del soporte del quemador poroso es uno de los más usados localmente por lo cual presente una gran facilidad para conseguir dicho material, adicionalmente en la parte inferior en la cual se sujeta a los rieles a través de las ruedas, se tiene una placa de acero inoxidable de 3[mm] que es otro de los materiales que es común encontrar en el mercado local. Por otra parte, el sistema de tubería se lo ha diseñado para dos sólo dos quemadores en configuración vertical, debido a las restricciones de flujo másico, velocidad y caída de presión en las tuberías.

3.5 Análisis económico del proyecto

Tabla 3.1 Costos de la estructura del soporte del quemador.
[Fuente: Elaboración Propia]

Costos – Soporte del quemador y tuberías			
Descripción	Cant	Precio unitario	Precio Total
Ángulo de Acero ASTM A36 L 20x2	3	7,48	22,44
Placa de Acero Inoxidable L100x2	4	3,2	12,8
Total			\$ 35,24

Los costos del soporte del quemador poroso se encuentran sujetos al número tanto de ángulos como de placas de acero, para el diseño que se ha presentado se requiere una longitud total de 15.29[m], por lo cual se requiere al menos 3 ángulos de Acero ASTM A36.

Tabla 3.2 Costos de la tubería de alimentación de aire.
[Fuente: Elaboración Propia]

Costos - Tubería de Alimentación de Aire			
Descripción	Cant	Precio unitario	Precio Total
Tubería de acero inoxidable AISI 304	2	35,78	71,56
Codos Acero inoxidable AISI 304	12	6,87	82,44
T Acero Inoxidable AISI 304	4	11	44
Soplador de Aire U51DL-024KK-4	4	20	80
Medidor de Caudal	4	60	240
Total			\$ 518,00

La longitud de tubería que se requiere para el sistema de alimentación es de 6.4[m], por lo cual se requiere al menos 2 tuberías de Acero Inoxidable 304, por otra parte, el número de sopladores es 4 debido a la configuración que se ha planteado.

**Tabla 3.3. Costos del Sistema de alimentación de GLP.
[Fuente: Elaboración Propia]**

Costos - Tubería de Alimentación de GLP			
Descripción	Cant	Precio unitario	Precio Total
Tubería Flexible Gastruk	1	38,16	38,16
Accesorio T	6	1,72	10,32
Tanque de GLP de 45[kg]	1	98	98
Flashback Arrestor	8	26	208
Medidor de Flujo Vortex	1	130	130
			0
Total			\$ 484,48

Lo que, respecta a la tubería flexible para transportar el combustible, se adquiere el set de 6[m].

**Tabla 3.4. Costos de Quemador Poroso
[Fuente: Elaboración Propia]**

Costos - Quemador Poroso			
Descripción	Cant	Precio unitario	Precio Total
Quemador poroso 5-1000[kW/m ²]	8	754	6032
Pirómetro	1	88	88
			0
Total			\$ 6.120,00

**Tabla 3.5. Análisis presupuestal del Irradiador para el banco de prueba.
[Fuente: Elaboración Propia]**

Análisis de Costos	
Descripción	Precio
Soporte del quemador y tuberías	\$ 35,24
Tubería de alimentación de Aire	\$ 518,00
Tubería de alimentación de GLP	\$ 484,48
Quemador poroso	\$ 6.120,00
Total	\$ 7.157,72

Los costó del irradiador es de \$6357.94, donde el precio de los quemadores porosos ha cubierto en gran medida el gasto total, puesto que entre sólo los quemadores se requiere \$6032 y el resto apenas llega \$3-25.91.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se concluye que el rango idóneo para realizar las pruebas en las probetas debe ser alrededor de los 500[mm] a 1000[mm] de separación puesto que durante ese rango el porcentaje de uniformidad es superior al 80%.
- Por otra parte, si bien es cierto que al aumentar la distancia entre el irradiador y la probeta la uniformidad de calor de incidencia se incrementa, sin embargo, se requiere un mayor calor en la fuente para mantener cierto calor poder emisivo en la probeta, es decir, se requiere una mayor demanda de combustible y mayor consumo energético en los sopladores.
- Los materiales que se han usado para los planos de construcción se encuentran localmente, sin embargo, tanto el quemador como los sopladores de aire se los debe exportar.
- Con respecto a los costos que presenta el diseño propuesto, estos se encuentran regidos principalmente por los quemadores porosos, puesto que estos son los elementos más caros.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un balance estático en el sistema de tal manera que se elimine los momentos en las uniones de las ruedas con los rieles del banco de ensayo.
- Se aconseja realizar un estudio exhaustivo con otra configuración de quemadores, aunque la uniformidad se redujera un poco con la finalidad de reducir los costos de implementación del banco de pruebas para flujo controlado.
- Adicionalmente, se sugiere ubicar al menos dos cilindros comerciales de GLP de 45[kg] en paralelo, cuando se usa el quemador al máximo de su capacidad.
- Para finalizar, se debe ubicar un aislamiento térmico en la unión entre los quemadores y el soporte.

BIBLIOGRAFÍA

- AEM. (2018). *Equipos Térmicos Industriales a medida*. Obtenido de https://www.quemadoraem.es/quemador/accesorios_quemadores_y_panoplias/oda_gama_quemadores_aem_28/index.html
- Amatachaya, P., & Krittacom, B. (2017). Combustion Mechanism of Gas Porous Burner Installed an In-Line Tube-Bank Heat Exchanger. *ScienceDirect*, 2.
- Benémerito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil. (2018). *Noticias*. Obtenido de <https://www.bomberosguayaquil.gob.ec/>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, S.A, DE C.V.
- Clocchiatti, A. (2017). *RADIACIÓN Y MATERIA EN ASTROFÍSICA*. Chile: EDICIONES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.
- DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. (2016). *dipacmanta*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/angulos>
- GoGaS Ecothermal Engineering. (2019). *Porous burner RADIMAX*. Obtenido de <https://www.gogas.com/en/process-heat/porous-burner-radimax>
- Incropera, F., Dewitt, D., Bergman, T., & Lavine, A. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. United States of America: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- KUBIEC Más que un buen acero. (2018). Obtenido de <https://kubiec.com/fujinox-hidro-2/>
- Maluk, C., Bisby, L., Krajcovic, M., & Torero, J. (2016). A Heat-Transfer Rate Inducing System (H-TRIS) Test Method. *Fire Safety Journal*, 307-319.
- Márquez, M. (2005). *COMBUSTIÓN Y QUEMADORES*. España: MARCOMBO S.A.
- Promat. (6 de Febrero de 2020). *International fire curves - useful tool for designing fire safety*. Obtenido de <https://www.promat.com/en-gb/construction/projects/expertise/33637/fire-curves/>
- Willie, M. (2005). *Estados Unidos Patente nº US7726967B2*.
- Yunus, C., & Afshin, G. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

APÉNDICES

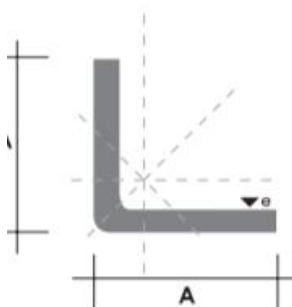
APÉNDICE A

Especificaciones técnicas – Armadura

- Ángulo de Acero ASTM A36 L20x2 de la empresa DIPAC

Especificaciones Generales:

Calidad:	ASTM A36 SAE J 1403 1008
Largo Normal:	6.00m
Espesores:	Desde 2mm a 12 mm
Acabado:	Acero Negro



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	A	e			
AL 20X2	20	2	0,60	3,62	0,76
AL 20X3	20	3	0,87	5,27	1,11
AL 25X2	25	2	0,75	4,56	0,96
AL 25X3	25	3	1,11	6,68	1,41
AL 25X4	25	4	1,45	8,75	1,84
AL 30X3	30	3	1,36	8,13	1,71
AL 30X4	30	4	1,77	10,63	2,24
AL 40X3	40	3	1,81	11,00	2,31
AL 40X4	40	4	2,39	14,34	3,04
AL 40X6	40	6	3,49	21,34	4,44
AL 50X3	50	3	2,29	13,85	2,91
AL 50X4	50	4	3,02	18,33	3,84
AL 50X6	50	6	4,43	26,58	5,64
AL 60X6	60	6	5,37	32,54	6,84
AL 60X8	60	8	7,09	42,54	9,03
AL 65X6	65	6	5,84	35,25	7,44
AL 70X6	70	6	6,32	38,28	8,05
AL 75X6	75	6	6,78	40,65	8,64
AL 75X8	75	8	8,92	54,18	11,36
AL 80X8	80	8	9,14	55,60	11,60
AL 100X6	100	6	9,14	55,60	11,64
AL 100X8	100	8	12,06	72,36	15,36
AL 100X10	100	10	15,04	90,24	19,15
AL 100X12	100	12	18,26	109,56	22,56

También en galvanizado e inoxidable

Especificaciones técnicas – Sistema de suministro de aire

- Tubería de acero inoxidable AISI 304 – Empresa KUBIEC

1. Caño
Código: C



Tubo especial de acero inoxidable AISI 304 con prueba hidráulica. Largo: 4.00 m.

CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR DE PARED (mm)	PESO (kg/ml)
XHID00013	1/2"	15.88	0.8	0.30
XHID00016	3/4"	22.22	1.0	0.53
XHID00018	1"	28.58	1.0	0.69
XHID00021	1 1/4"	34.00	1.2	0.99
XHID00023	1 1/2"	42.70	1.2	1.25
XHID00025	2"	48.60	1.2	1.43
XHID00028	2 1/2"	60.50	1.5	2.23
XHID01176	3"	89.1	2	4.37
XHID01177	4"	114.3	2	5.63
XHID01001	6"	168.3	2.7	10.40


2. Caño de Sobrepase
Código: CS



Tubo especialmente diseñado para cruzar sobre otro tubo.

CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	A (mm)	B (mm)
CS13	1/2"	330	30
CS20	3/4"	400	30
CS25	1"	550	30

3. Caño corto de Sobrepase
Código: CSC




Tubo corto especialmente diseñado para cruzar sobre otro tubo.

pulg.	mm.	A (mm)	B (mm)
1/2"	13	158	37

- Codo 90° Acero Inoxidable AISI 304 – Empresa KUBIEC

Curva Normal 90°
Código: CN90



Para unir tubos de un mismo diámetro a 90°

CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	A (mm)	Z (mm)
CN9013	1/2"	48	27
CN9020	3/4"	58	34
CN9025	1"	66	42
CN9030	1 1/4"	91	52
CN9040	1 1/2"	110	63
CN9050	2"	112	70
CN9060	2 1/2"	149	80

- Te Normal Acero Inoxidable AISI 304 – Empresa KUBIEC








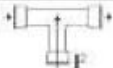

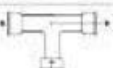


Te Normal
Código: TN



Para derivar una línea a 90° con el mismo diámetro y sin interrumpir el trayecto original.

CÓDIGO	DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	A (mm)	B (mm)	Z 1 (mm)	Z 2 (mm)
TN13	1/2"	38	38	17	17
TN20	3/4"	46	46	22	22
TN25	1"	51	51	27	27
TN30	1 1/4"	99	99	60	60
TN40	1 1/2"	107	107	60	60
TN50	2"	102	102	50	50
TN60	2 1/2"	126	126	63	126

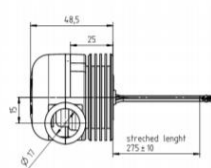
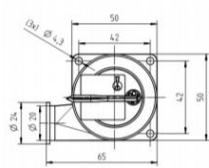
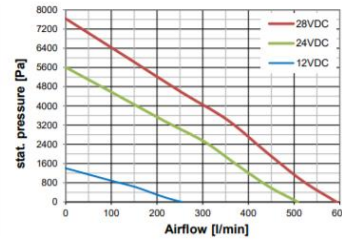
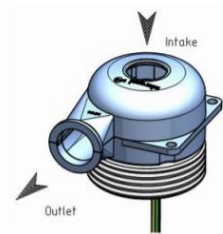
- Longitud equivalente de los accesorios del sistema de suministro de aire

ACCESORIOS 		Coef. de pérdidas de cargas secundarias $\frac{\Delta P}{L \cdot Q^2}$ k	Longitud equivalente						
			13	20	25	30	40	50	60
			m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Codo a 90°		0.7	0.328	0.51	0.721	0.897	1.217	1.444	1.898
Codo a 45°		0.5	0.234	0.364	0.515	0.64	0.889	1.032	1.366
Codo radio corto 90°		1.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Reducción		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.413	0.542
Unión		0.1	0.047	0.073	0.103	0.128	0.174	0.206	0.271
Tee con salida primaria por el ramal, y flujo unidireccional en eje principal.		1.3	0.609	0.947	1.339	1.665	2.26	2.682	3.526
Tee con ingreso primario desde ramal, y flujo unidireccional en eje principal.		0.9	0.421	0.655	0.926	1.152	1.564	1.867	2.44
Tee con salida primaria en el eje principal, y por el ramal sale alguna línea.		0.3	0.141	0.219	0.309	0.384	0.522	0.619	0.814
Tee con salida primaria en eje principal, y por el ramal ingresa alguna línea.		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.413	0.542
Tee con salida primaria por el ramal, y contraflujo hacia el interior en el eje principal.		1.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Tee con ingreso primario por el ramal, y contraflujo hacia el exterior en eje principal.		3	1.406	2.186	3.09	3.843	5.216	6.19	8.136

Datos calculados a T= 10°C y V= 1m/s

- Soplador de Aire U51DL – 024K4-4

Miniatur Radial Gebläse mit integrierter Elektronik
Miniature Radial Blower with integrated electronic



Direction of rotation CCW



Especificaciones técnicas del Quemador poroso


Porous burner RADIMAX for industrial drying processes and process heat

Technical data

Wave length:	1,7 μm
max. radiation temperature:	1.450 $^{\circ}\text{C}$
max. thermal surface load:	1.000 kW/m^2

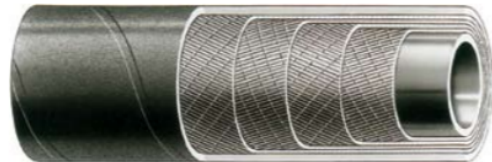
Especificaciones técnicas – Sistema de suministro de GLP

- Manguera flexible GASTRUCK EN 1762 D-M

mangueras de aceite y combustible 

GASTRUCK EN 1762 D-M

Manguera según especificación ITR excede EN 1762



Construcción de manguera

- Tubo:** Goma NBR de espesor uniforme y con bajo índice de difusión
- Refuerzo:** Tejido sintético con hélice de acero incrustada, con alambre de acero integrado que facilita la conexión eléctrica entre la manguera y los terminales
- Cubierta:** Goma NBR/SBR, negra, lisa, antiestática ($R < 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$), resistente a abrasión, aceite, carburante. Punzonada para prevenir la formación de burbujas

Rango de temperatura







-30 °C (-22 °F) a +70 °C (+158 °F)

Tolerancias

- En diámetro interno:**
- ≤ D.I. 38 mm: ± 0,50 mm
 - > D.I. 38 mm: ± 0,60 mm
- En diámetro externo:**
- ≤ D.E. 52 mm: ± 1,00 mm
 - > D.E. 52 mm: ± 1,20 mm
- Tolerancia en longitud:** ± 1%

Aplicaciones

Aplicaciones de gas líquido (metano, propano, GLP) en carga de tanques. Según EN 1762 (mangueras y latiguillos para GLP y gas natural).

IHXXXXXXXXXX Referencia/ Longitud estándar m	 D.I. mm	 D.E. mm	 Presión de trabajo			 Presión de rotura			 Peso kg/m	 Mín. radio de curvatura mm
			MPa	psi	bar	MPa	psi	bar		
IH30515070/40	10	19	2,5	362,5	25	10	1450	100	0,30	60
IH30515071/40	13	23	2,5	362,5	25	10	1450	100	0,40	80
IH30515072/40	16	26	2,5	362,5	25	10	1450	100	0,47	100
IH36520580/40	19	31	2,5	362,5	25	10	1450	100	0,61	160
IH36520581/40	25	38	2,5	362,5	25	10	1450	100	0,83	200
IH36520582/40	32	45	2,5	362,5	25	10	1450	100	1,00	250
IH36520583/40	38	52	2,5	362,5	25	10	1450	100	1,27	320
IH36520584/40	50	66	2,5	362,5	25	10	1450	100	1,84	400
IH36520585/40	51	67	2,5	362,5	25	10	1450	100	1,87	400
IH36520586/40	63,5	80	2,5	362,5	25	10	1450	100	2,25	550
IH36520587/40	75	93	2,5	362,5	25	10	1450	100	3,00	650

APÉNDICE B

Códigos - Matlab

- **Código – Mapeo del factor de vista entre la probeta y el irradiador propuesto**

```
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
a=-150; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
b=150; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, superior
c=-400; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
d=400; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
n=[-100:400/10:100]; %Mallado horizontal de la probeta
m=[-250:1000/100:250]; %Mallado vertical de la probeta
M=length(m);
N=length(n);
f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una área
pequeña y una muy grande
matriz=zeros(M,N);
for i=1:M
    c2=c+m(i);
    d2=d+m(i);
    for j=1:N
        a2=a+n(j);
        b2=b+n(j);
        rest=integral2(f,a2,b2,c2,d2); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion de
la probeta y el irradiador
        firradiadorporcion=rest; % Con esto se saca el factor de vista entre el irradiador y la
porcion de la probetaa
        matriz(i,j)=firradiadorporcion; %se va guardando en el mallado
    end
end
matriz=matriz %Con esto se imprime una matriz que representa a los factores de vista entre la
probeta y el irradiador.
fila=round(M/2); %con esto determino la posición de la fila central
columna=round(N/2); %con esto determino la posición de la columna central
relacion=(matriz(1,1))/matriz(fila,columna)
promedio=mean(mean(matriz)) %con esto determino el factor de vista promedio
```

- **Código – Área de la probeta vs Área del irradiador para un porcentaje de uniformidad de 90% para diferentes valores de separación entre el irradiador y la probeta.**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada=[];
llegada=[];
dimension=20;
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.95
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
del centro de la probeta y el irradiador
        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
end
```



```

    llegada(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada2=[];
llegada2=[];
dimension=20;
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.9
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
del centro de la probeta y el irradiador
        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
    llegada2(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada2(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada3=[];
llegada3=[];
dimension=20;
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.85
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
del centro de la probeta y el irradiador
        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
    llegada3(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada3(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada4=[];
llegada4=[];
dimension=20;
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;

```

```

while relacion>0.99
    dimension=dimension+1;
    f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
    área pequeña y una muy grande
    factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
    del centro de la probeta y el irradiador
    factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
    saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
    relacion=factoresquina/factorcentral;
end
llegada4(z)=(dimension^2)*10^-6;
areairradiador=barrido(z);
entrada4(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(2)
plot(entrada,llegada,entrada2,llegada2,entrada3,llegada3,entrada4,llegada4), title('L=1000'),
xlabel('Área del irradiador'), ylabel('Área de la
probeta'), legend({'95%','90%','85%','99%'},'Location','northwest'),grid on

```

- **Código – Área de la probeta vs Área del irradiador para una longitud fija de separación de 1[m] para diferentes valores porcentaje de uniformidad.**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada=[];
llegada=[];
dimension=20;
L=1000; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.9
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
        área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
        del centro de la probeta y el irradiador
        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
        saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
    llegada(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada2=[];
llegada2=[];
dimension=20;
L=500; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.9
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
        área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
        del centro de la probeta y el irradiador

```

```

        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
    llegada2(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada2(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
barrido=[10:10:1000];
tamano=length(barrido);
entrada3=[];
llegada3=[];
dimension=20;
L=250; %Distancia que hay entre la probeta y el irradiador [mm]
for z=1:tamano
    a=-barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
    b=barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
    c=-2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
    d=2.5*barrido(z); %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
    relacion=1;
    dimension=dimension-1;
    while relacion>0.9
        dimension=dimension+1;
        f=@(x,y) ((L^2)/pi)*((L^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista entre una
área pequeña y una muy grande
        factorcentral=integral2(f,a,b,c,d); %Con esto se saca el factor de vista entre la porcion
del centro de la probeta y el irradiador
        factoresquina=integral2(f,a+dimension,b+dimension,c+dimension,d+dimension); %Con esto se
saca el factor de vista entre la porcion del centro de la probeta y el irradiador
        relacion=factoresquina/factorcentral;
    end
    llegada3(z)=(dimension^2)*10^-6;
    areairradiador=barrido(z);
    entrada3(z)=(areairradiador^2)*10^-6;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure()
plot(entrada,llegada,entrada2,llegada2,entrada3,llegada3), title('90%'), xlabel('Área del
irradiador'), ylabel('Área de la
probeta'), legend({'L=1', 'L=0.5', 'L=0.25'}, 'Location', 'northwest'), grid on

```

Código – Mapeo de uniformidad del calor de incidencia en la probeta

```

q=200000; %[W] Calor emitido por el irradiador
a=-150; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal, inferior
b=150; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección horizontal , superior
c=-400; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, inferior
d=400; %[mm] Dimensión del irradiador en la dirección vertical, superior
n=[-100:200/10:100]; %Mallado horizontal de la probeta
m=[-250:500/10:250]; %Mallado vertical de la probeta
M=length(m);
N=length(n);
L=[5:25:1005];
O=length(L);
relacion=[];
promedio=[];
diferenciaCalor=[];
qpromedio=[];
poderemisivocentral=[];
poderemisivoesquina=[];
factorcentral=[];
for k=1:O
    Longitud=L(k);
    f=@(x,y) ((Longitud^2)/pi)*((Longitud^2+y.^2+x.^2).^(-2)); % expresión del factor de vista
entre una área pequeña y una muy grande
    matriz=zeros(M,N);
    for i=1:M
        c2=c+m(i);
        d2=d+m(i);
        for j=1:N
            a2=a+n(j);
            b2=b+n(j);

```

```

        firradiadorporcion=integral2(f,a2,b2,c2,d2); %Con esto se saca el factor de vista
entre la porcion de la probeta y el irradiador
        matriz(i,j)=firradiadorporcion; %se va guardando en el mallado
    end
    end
    fila=round(M/2); %con esto determino la posición de la fila central
    columna=round(N/2); %con esto determino la posición de la columna central
    diferenciafactor(k)=matriz(fila,columna)-matriz(1,1);
    poderemisivocentral(k)=matriz(fila,columna)*100000;
    poderemisivoesquina(k)=matriz(1,1)*120000;
    relacion(k)=(matriz(1,1))/matriz(fila,columna)*100; %Con esto se saca la diferencia de poder
emisivo en la probeta
    promedio(k)=mean(mean(matriz)); %con esto determino el factor de vista promedio
    qpromedio(k)=q*promedio(k); %[W/m^2] con esto se determina el calor promedio que le llega a
la probeta
    diferenciaCalor(k)=(matriz(fila,columna)-matriz(1,1))*q; %Con esto se determina la diferencia
de calor ente la esquina y el centro de la probeta
end
figure(1)
plot(L,relacion,'r'),grid on, title('Uniformidad de la probeta vs Distancia'), xlabel('Distancia
entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Relación entre esquina y centro
[%]'),legend('Irradiador: 300x800','location','southeast')
figure(2)
plot(L,promedio,'r'), grid on, title('Factor de vista promedio entre la probeta y el irradiador
vs Distancia'), xlabel('Distancia entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Factor de vista
promedio entre la probeta y el irradiador'),legend('Irradiador: 300x800')
figure(3)
plot(L,qpromedio,'r'), grid on, title('Calor de Incidencia en la probeta vs Distancia'),
xlabel('Distancia entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Calor de incidencia en la
superficie de la probeta[W/m^2]'),legend('q=200[kW/m^2]')
figure(4)
plot(L,diferenciaCalor,'r'),grid on, title('Diferencia máxima de Calor vs Distancia'),
xlabel('Distancia entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Diferencia máxima de calor en la
probeta [W/m^2]'),legend('Irradiador: 300x800')
figure(5)
plot(L,diferenciafactor,'r'),grid on, title('Diferencia de factor de vista vs Distancia'),
xlabel('Distancia entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Diferencia de factor de
vista'),legend('q=200[kW/m^2]')
figure(6)
plot(L,poderemisivocentral,L,poderemisivoesquina),hold on, grid on, title('Calor vs Distancia'),
xlabel('Distancia entre el irradiador y la probeta[mm]'),ylabel('Poder emisivo que llega a la
probeta [W/m^2]'),legend('Centro',"Esquina")

```

Código – Temperatura de estabilización vs calor de incidencia en la probeta.

```

load('hconv') %Data de coeficientes de convección para diferentes temperatura de superfice
load('Tsuperficie') %Temperatura de superficieu
alpha=0.88; %absortividad del concreto
varepsilon=0.93; %emisividad del concreto
Tinf=300; %Temperantura ambiente y de los alrededores
sigma=5.67*10^-8; %Constante de Stefh
N=length(Ts);
grad=[];
for i=1:N
    grad(i)=(h(i)*(Ts(i)-Tinf)+varepsilon*sigma*((Ts(i))^4-Tinf^4))/alpha;
end
grad2=[];
for i=1:N
    grad2(i)=(2*h(i)*(Ts(i)-Tinf)+2*varepsilon*sigma*((Ts(i))^4-Tinf^4))/alpha;
end
figure(2), plot(grad,Ts,'r'),grid on, hold on, xlabel('q[W/m^2]'), ylabel('Tm[K]'),
title('Temperatura de superficie vs Calor de radiación'),
plot(grad2,Ts,'b'), legend('Totalmente aislado','Aislado en los bordes','location','southeast')

```

Código – Tiempos mínimos para alcanzar la estabilización – Análisis en resistencia ínfima

```

load('hconv')% Con esto se carga la data del coeiciene de convección en convección libre de la
probeta
load('grad')% Con esto se carga la data del calor en el estudio de la temperatura de
estabilización

```

```

load('Tsuperficie') %Con esto se carga la data de las temperaturas usadas para el estudio
e=45*10^-3;%espesor de la placa [mm]
Tinf=300;%Temperatura ambiente y temperatura de los alrededores [K]
varepsilon=0.93;%emisividad del concreto
alpha=0.88;%absortividad de del concreto
cp=880;%calor específico del concreto [J/kg K]
rho=2300;%densidad del concreto [kg/m^3]
sigma=5.67*10^-8;%Constante de Stefan-Boltzman
tol=10;%La duración de cada paso
t=[0:10:8000]; %Tiempo de exposición de la probeta a un flujo constante
N=length(t);
FactordeVista=0.0657;
grad=[200000:200000:1000*10^3]*FactordeVista;
S=length(grad);
for j=1:S
    Tite=[301];
    for i=1:N-1
        hs=interp1(Ts,h,Tite(i)); %Con esto se obtiene el valor del coeficiente de convección
para un temperatura especificada
        f=@(T) (grad(j)*alpha-hs*(T-Tinf)-varepsilon*sigma*(T.^4-Tinf^4))/(rho*e*cp); % Con esto
se define la función de Temperatura
        Tite(i+1)=Tite(i)+f(Tite(i)).*tol; %Con esto se obtiene la temperatura un paso despues
    end
    figure(1)
    plot(t,Tite),hold on,grid on, title('Temperatura de la superficie de la probeta vs Tiempo'),
ylabel('Temperatura [K]'), xlabel('Tiempo [s]'),
end
legend({'grad=200 [kW/m^2]','grad=400 [kW/m^2]','grad=600 [kW/m^2]','grad=800 [kW/m^2]','grad=1000 [kW
/m^2]'},'Location','southeast'),

```

• Código – Análisis unidimensional – Diferencias Finitas – Método Implícito

```

load('hconv')
load('Tsuperficie')
rho=2300;%[kg/m^3] densidad del concreto
k=1.4;%[W/mK] Conductividad térmica del concreto
cp=880;%[J/kgK] Calor específico del concreto
dt=10;% paso [s]
dx=5*10^-3;% paso en x [m]
a=0.88;%absortividad de la probeta
alpha=k/(rho*cp); %difusividad térmica
varepsilon=0.92;%emisividad de la probeta
sigma=5.67*10^-8;%Constante de S
Fo=alpha*dt/(dx)^2;% Número de Fourier
Tinf=300;%Temperatura ambiente
tiempo=[0:10:13000];
T1=[300];T2=[300];T3=[300];T4=[300];T5=[300];T6=[300];T7=[300];T8=[300];T9=[300];
grad=[200000:200000:1000*10^3];% Calor de radiación que recibe la probeta
factor=0.0649;%Factor de vista entre el irradiador y la probeta
N=length(tiempo);
S=length(grad);
for j=1:S
    qin=grad(j)*factor;
    Salida=['Para una calor de llegada a la probeta de ',num2str(grad(j)), ' se tiene un calor de
irradiación del irradiador de ',num2str(qin)];
    disp(Salida)
    for i=1:N-1
        hs=interp1(Ts,h,T1(i));
        hrad=varepsilon*sigma*(T1(i)+Tinf)*((T1(i))^2+Tinf^2);
        Bi=(hs+hrad)*dx/k;%Número de Biot
        T1(i+1)=T1(i)*(1-2*Fo*Bi-2*Fo)+2*Fo*Bi*Tinf+2*Fo*T2(i)+2*Fo*dx/k*grad(j)*a*factor;
        T2(i+1)=Fo*(T1(i)+T3(i))+(1-2*Fo)*T2(i);
        T3(i+1)=Fo*(T2(i)+T4(i))+(1-2*Fo)*T3(i);
        T4(i+1)=Fo*(T3(i)+T5(i))+(1-2*Fo)*T4(i);
        T5(i+1)=Fo*(T4(i)+T6(i))+(1-2*Fo)*T5(i);
        T6(i+1)=Fo*(T5(i)+T7(i))+(1-2*Fo)*T6(i);
        T7(i+1)=Fo*(T6(i)+T8(i))+(1-2*Fo)*T7(i);
        T8(i+1)=Fo*(T7(i)+T9(i))+(1-2*Fo)*T8(i);
        T9(i+1)=2*Fo*T8(i)+(1-2*Fo)*T9(i);
    end
    Matriz=[T1;T2;T3;T4;T5;T6;T7;T8;T9];
    MatrizFinal=mean(Matriz);
    figure(3)

```

```

    plot(tiempo,MatrizFinal), xlabel('Tiempo[s]'),ylabel('Temperatura media[K]'),
    title('Temperatura media vs tiempo'),
    hold on,grid on,
end
legend({'grad-irrad=200[kW/m^2]','grad-irrad=400[kW/m^2]','grad-irrad=600[kW/m^2]','grad-
irrad=800[kW/m^2]','grad-irrad=1000[kW/m^2]'},'Location','southeast'),

```

• Código – Análisis bidimensional – Diferencias Finitas – Método Implícito

```

load('hconv')
load('Tsuperfice')
load('Factorfinal')
rho=2300; %[kg/m^3] densidad del concreto
k=1.4; %[W/mK] Conductividad térmica del concreto
cp=880; %[J/kgK] Calor específico del concreto
dt=5; % paso [s]
dx=5*10^-3; %paso en x [m]
alp=0.88; %absortividad de la probeta
alpha=k/(rho*cp); %difusividad térmica
varepsilon=0.92; %emisividad de la probeta
sigma=5.67*10^-8; %Constante de S
Fo=alpha*dt/(dx)^2; % Número de Fourier
Tinf=300; %Temperatura ambiente
tiempo=0:5:11000;
grad=[200000:200000:1000000]; % Calor de radiación que emite el quemador poroso
matriz=zeros(100,9);
PC=45700000; %Poder calorifico del GLP [J/kg]
masa=[]; %Matriz de flujo másico
a=0;
for i=1:100
    for j=1:9
        a=a+1;
        matriz(i,j)=a;
    end
end
matriz2=zeros(900,1);
for i=1:900
    matriz2(i,1)=300;
end
N=length(tiempo);
S=length(grad);
matriz3=[];
for z=1:S
    for i=1:N-1
        %Nodo de la esquina superior frontal
        T1=matriz2(9,i);
        hs=interpl(Ts,h,T1);
        hrad=varepsilon*sigma*(T1+Tinf)*((T1)^2+Tinf^2);
        Bi=(hs+hrad)*dx/k; %Número de Biot
        matriz2(9,i+1)=T1*(1-2*Fo*Bi-
4*Fo)+2*Fo*Bi*Tinf+2*Fo*(matriz2(8,i)+matriz2(18,i))+2*Fo*dx/k*grad(z)*alp*Factorfinal(1);
        %Nodo de la esquina inferior frontal
        T2=matriz2(900,i);
        hs=interpl(Ts,h,T2);
        hrad=varepsilon*sigma*(T2+Tinf)*((T2)^2+Tinf^2);
        Bi=(hs+hrad)*dx/k; %Número de Biot
        matriz2(900,i+1)=T2*(1-2*Fo*Bi-
4*Fo)+2*Fo*Bi*Tinf+2*Fo*(matriz2(891,i)+matriz2(899,i))+2*Fo*dx/k*grad(z)*alp*Factorfinal(100);
        %Nodo de la esquina superior posterior
        matriz2(1,i+1)=matriz2(1,i)*(1-4*Fo)+2*Fo*(matriz2(2,i)+matriz2(10,i));
        %Nodo de la esquina inferior posterior
        matriz2(892,i+1)=matriz2(892,i)*(1-4*Fo)+2*Fo*(matriz2(883,i)+matriz2(893,i));
        %Nodos del borde frontal
        matriz3=matriz(:,(8:9)); % con esto se saca las dos últimas columnas
        for j=2:99
            valor1=matriz3(j,2);
            valor2=matriz3(j,1);
            valor3=matriz3(j-1,2);
            valor4=matriz3(j+1,2);
            T3=matriz2(valor1,i);
            hs=interpl(Ts,h,T3);
            hrad=varepsilon*sigma*(T3+Tinf)*((T3)^2+Tinf^2);
            Bi=(hs+hrad)*dx/k; %Número de Biot

```

```

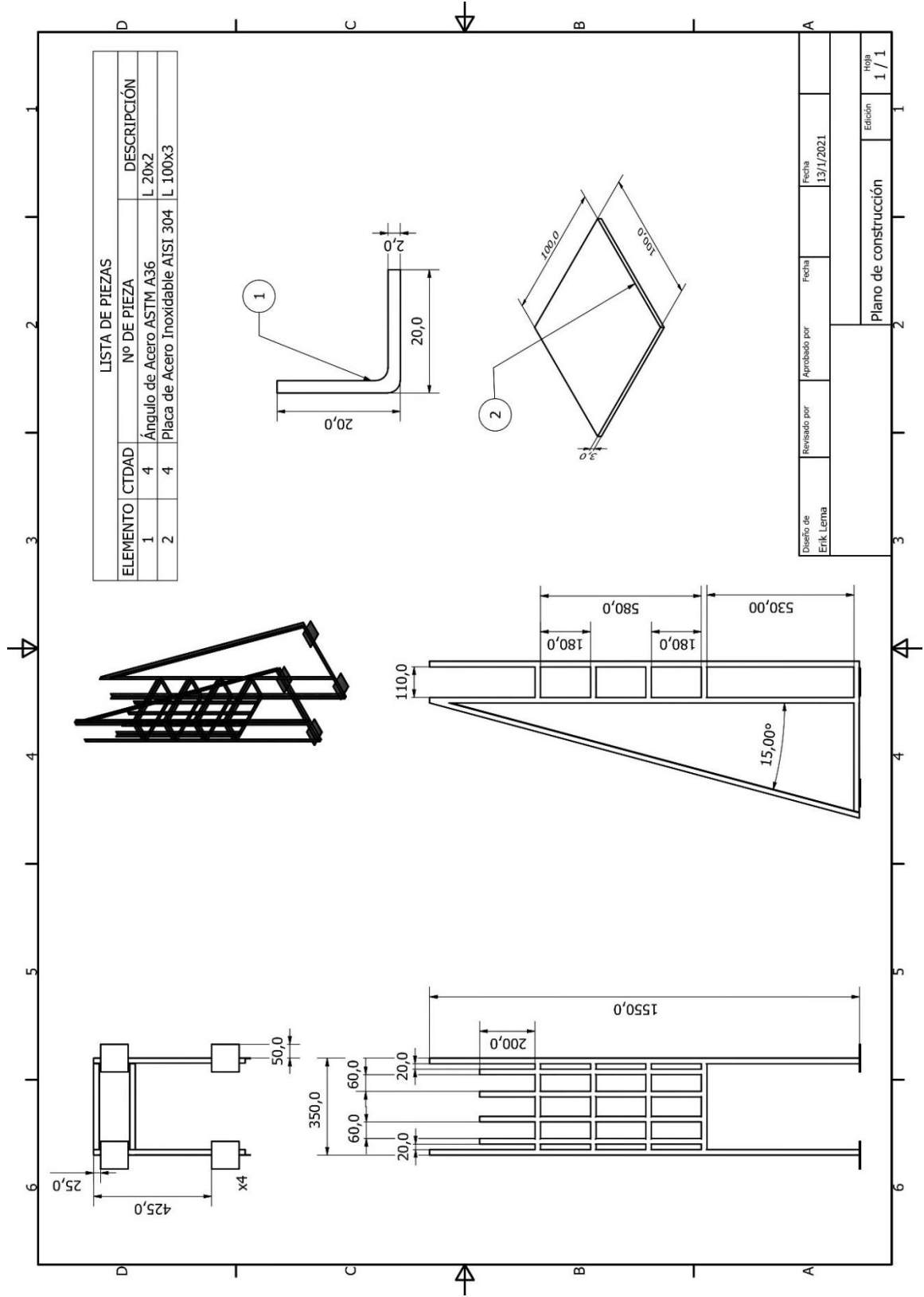
        matriz2(valor1,i+1)=T3*(1-2*Bi*Fo-
4*Fo)+2*Bi*Fo*Tinf+Fo*(2*matriz2(valor2,i)+matriz2(valor3,i)+matriz2(valor4,i))+2*Fo*dx/k*grad(z)
*alp*Factorfinal(j);
    end
    %Nodos del borde posterior
    matriz3=matriz(:,(1:2)); % con esto se saca las dos primeras columnas
    for j=2:99
        valor1=matriz3(j,1);
        valor2=matriz3(j,2);
        valor3=matriz3(j-1,1);
        valor4=matriz3(j+1,1);
        matriz2(valor1,i+1)=matriz2(valor1,i)*(1-
4*Fo)+Fo*(2*matriz2(valor2,i)+matriz2(valor3,i)+matriz2(valor4,i));
    end
    %Nodos del borde superior
    matriz3=matriz((1:2),:); % con esto se saca las dos primeras columnas
    for j=2:8
        valor1=matriz3(1,j);
        valor2=matriz3(2,j);
        valor3=matriz3(1,j-1);
        valor4=matriz3(1,j+1);
        matriz2(valor1,i+1)=matriz2(valor1,i)*(1-
4*Fo)+Fo*(2*matriz2(valor2,i)+matriz2(valor3,i)+matriz2(valor4,i));
    end
    %Nodos de borde inferior
    matriz3=matriz((99:100),:); % con esto se saca las dos primeras columnas
    for j=2:8
        valor1=matriz3(2,j);
        valor2=matriz3(1,j);
        valor3=matriz3(2,j-1);
        valor4=matriz3(2,j+1);
        matriz2(valor1,i+1)=matriz2(valor1,i)*(1-
4*Fo)+Fo*(2*matriz2(valor2,i)+matriz2(valor3,i)+matriz2(valor4,i));
    end
    %Nodos centrales
    for j=2:99
        for r=2:8
            valor1=matriz(j,r);
            valor2=matriz(j,r-1);
            valor3=matriz(j,r+1);
            valor4=matriz(j-1,r);
            valor5=matriz(j+1,r);
            matriz2(valor1,i+1)=matriz2(valor1,i)*(1-
4*Fo)+Fo*(matriz2(valor2,i)+matriz2(valor3,i)+matriz2(valor4,i)+matriz2(valor5,i));
        end
    end
    end
    arreglofinal=matriz2(450,:);
    figure(3)
    plot(tiempo,arreglofinal), xlabel('Tiempo[s]'),ylabel('Temperatura media[K]'),
    title('Temperatura local del centro de la probeta vs tiempo'),
    hold on,grid on,
end

legend({'grad=200 [kW/m^2]', 'grad=400 [kW/m^2]', 'grad=600 [kW/m^2]', 'grad=800 [kW/m^2]', 'grad=1000 [kW/m^2]'}, 'Location', 'southeast'),

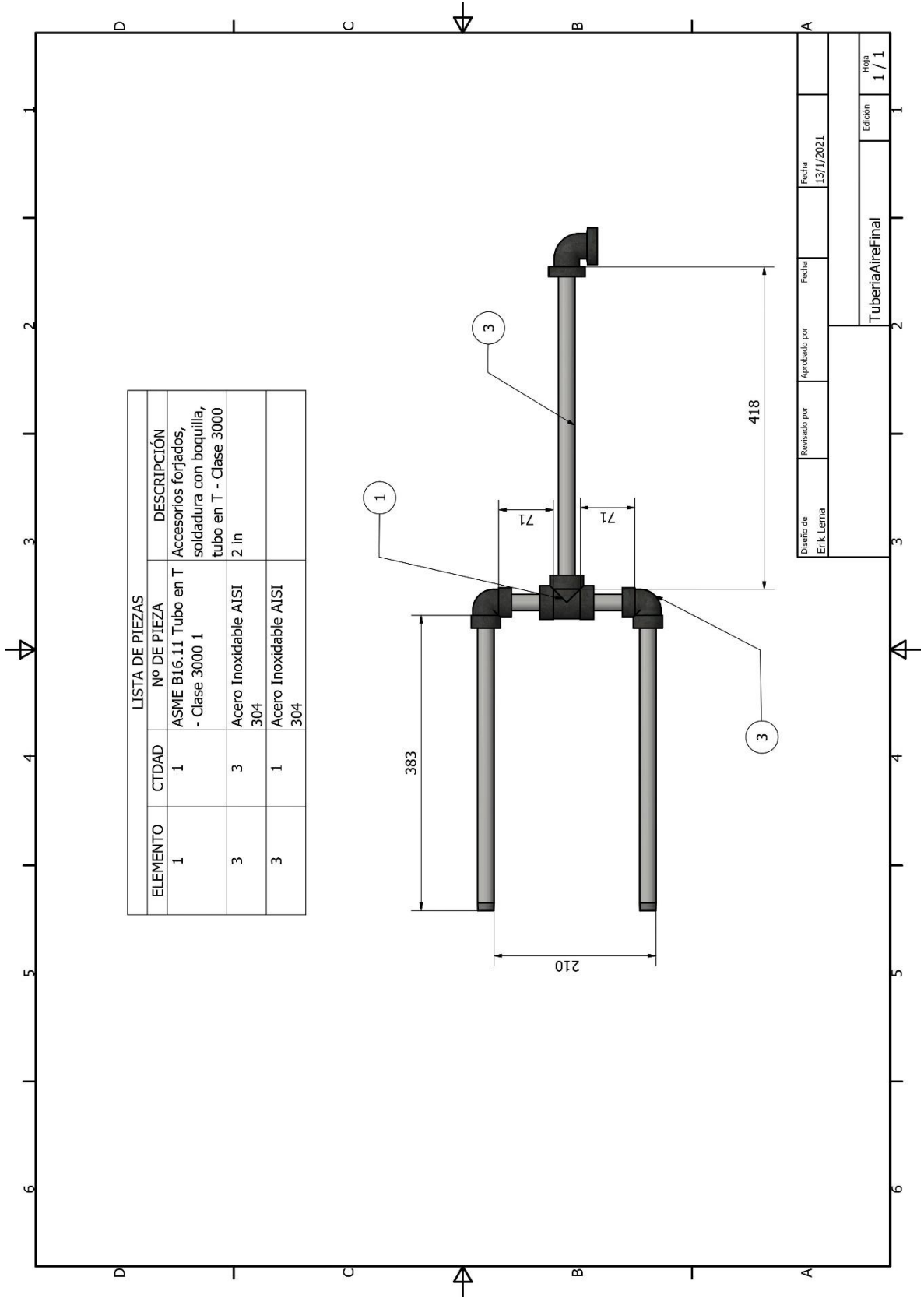
```

APÉNDICE C

Planos de construcción



PLANO 1. Plano de construcción de la estructura de soporte del quemador poroso.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ASME B16.11 Tubo en T - Clase 3000 1	Accesorios forjados, soldadura con boquilla, tubo en T - Clase 3000
3	3	Acero Inoxidable AISI 304	2 in
3	1	Acero Inoxidable AISI 304	

Diseño de Erik Lerma	Revisado por	Aprobado por	Fecha 13/1/2021
TuberíaAireFinal			Hoja 1 / 1

PLANO 2. Plano de construcción de la tubería de admisión de aire