



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE  
USUARIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO  
DE ESPESORES PARA AISLAMIENTO TÉRMICO EN  
TUBERÍAS DE VAPOR**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

Bach. Juan Carlos Zapata Sigueñas  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2913-7900>

**Asesor:**

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

**Línea de Investigación:**

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

**Pimentel - Perú**

**2021**

**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE ESPESORES PARA AISLAMIENTO  
TÉRMICO EN TUBERÍAS DE VAPOR**

**Aprobación de Jurado**

---

**Mg. Vives Garnique Juan Carlos  
Presidente del Jurado de tesis**

---

**Mg. Gastiaburu Morales Silvia Yvone  
Secretario del Jurado de tesis**

---

**Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
Vocal del Jurado de tesis**

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis hermanos Santiago y Yesenia por su apoyo para poder haber alcanzado esta meta. A mi Madre Lucia quien siempre confió en mi persona recordándome que lo imposible es posible siempre en Dios, a mi Padre José a quien le hubiera gustado festejar conmigo este logro, a mi amiga y esposa Aydee quien también ha llegado ser una fuente de apoyo constante en esta meta, a mi hijo Carlos André quien es ahora la razón de mi esfuerzo y motivación constante, a todos mis amigos que conocí en la universidad y a Dios quien ha sido mi fortaleza emocional y espiritual a lo largo de toda mi carrera universitaria y personal.

## **AGRADECIMIENTO**

De igual manera mis agradecimientos a mis docentes e ingenieros quienes me han guiado y orientado en todo este proceso de formación profesional y personal.

Agradezco también a mi asesor de tesis Ing., Carlos Alvarado por haberme guiado durante todo este desarrollo de tesis.

## **Resumen**

*En la presente investigación se desarrolló una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) basada en algoritmos genéricos que permite dimensionar un sistema de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor en base a la información disponible para caracterizar cuatro principales grupos de variables como las propiedades del combustible, geometría de la tubería, convección y aislante.*

*La investigación inicia con la identificación de los pasos necesarios para dimensionar espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor, reconociéndose los parámetros, fórmulas y procedimientos que se debían modelar y aplicar. La GUI se desarrolló mediante la herramienta de programación visual llamada GUIDE, disponible en MATLAB; para esto se ha diseñado en primer lugar el algoritmo de trabajo además de los modelos matemáticos necesarios. Finalmente se procedió a validar los resultados del programa comparándolos con proyectos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos anteriores, reconociéndose la aplicabilidad del mismo.*

*El desarrollo de esta GUI ha tenido como enfoque el diseño de un asistente virtual, para que paso a paso el ingeniero proyectista reconozca la influencia de la información agregada y en cualquier momento determine mediante curvas comparativas si los datos elegidos son los más adecuados. Con los valores ingresados de las variables de problema se calcula el flujo de calor consumido, los costos de trabajo, la pérdida sin aislamiento térmico. Finalmente se realiza un análisis comparativo de pérdidas por cada tipo de material de aislante considerado.*

**Palabras Clave:** GUI, Matlab, Espesores para aislamiento térmico, tuberías de vapor.

## **Abstract**

*In the present research, a Graphical User Interface (GUI) based on generic algorithms was developed that allows dimensioning a thickness system for thermal insulation in steam pipes based on the information available to characterize four main groups of variables such as the properties of the fuel , pipe geometry, convection and insulation.*

*The investigation begins with the identification of the steps necessary to dimension thicknesses for thermal insulation in steam pipes, recognizing the parameters, formulas and procedures that should be modeled and applied. The GUI was developed using the visual programming tool called GUIDE, available in MATLAB; For this, the working algorithm has been designed in the first place, in addition to the necessary mathematical models. Finally, the results of the program were validated, comparing them with previous photovoltaic systems sizing projects, recognizing its applicability.*

*The development of this GUI has focused on the design of a virtual assistant, so that step by step the design engineer recognizes the influence of the aggregated information and at any time determines by means of comparative curves if the chosen data is the most appropriate. With the values entered for the problem variables, the heat flow consumed, the work costs, the loss without thermal insulation are calculated. Finally, a comparative analysis of losses is carried out for each type of insulation material considered.*

**Keywords:** *GUI, Matlab, Thicknesses for thermal insulation, steam pipes.*

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1	Realidad Problemática .....	12
1.2	Problema de Investigación .....	15
1.3	Justificación e Importancia de la Investigación.....	15
<b>1.3.1</b>	<b><i>Justificación Tecnológica.</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b><i>Justificación Económica.</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.3</b>	<b><i>Justificación Educativa.</i></b> .....	<b>15</b>
1.4	Objetivos .....	16
<b>1.4.1</b>	<b><i>Objetivo General.</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.2</b>	<b><i>Objetivos Específicos.</i></b> .....	<b>16</b>
1.5	Hipótesis.....	16
1.6	Antecedentes de la Investigación.....	16
<b>1.6.1</b>	<b><i>Estado del Arte</i></b> .....	<b>19</b>
1.7	Fundamento Teórico .....	21
<b>1.7.1</b>	<b><i>Ley de Fourier</i></b> .....	<b>21</b>
<b>1.7.2</b>	<b><i>Conductividad térmica</i></b> .....	<b>23</b>
<b>1.7.3</b>	<b><i>Resistencia Térmica</i></b> .....	<b>24</b>
<b>1.7.4</b>	<b><i>Convección</i></b> .....	<b>25</b>
<b>1.7.5</b>	<b><i>Aislamiento térmico</i></b> .....	<b>26</b>
<b>1.7.6</b>	<b><i>Definición de la terminología</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.7.7</b>	<b><i>Diseño de Aislamiento Térmico para Tuberías</i></b> .....	<b>31</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
2.1	Enfoque – Tipo – Diseño de Investigación – Método .....	35
2.2	Población y Muestra .....	37
2.3	Variables y Operacionalización.....	37
<b>2.3.1</b>	<b><i>Variables de definición del problema:</i></b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Variables Entrada agrupadas por factores:</i></b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Variables Salida:</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Variables Manipulables:</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.3.5</b>	<b><i>Caja negra para variables:</i></b> .....	<b>40</b>

2.3.5.1.	Operacionalización de variables .....	41
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	48
<b>2.4.1</b>	<b><i>Técnicas de recolección de datos</i></b> .....	<b>48</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Validación y confiabilidad</i></b> .....	<b>49</b>
2.5	Procedimiento de análisis de datos .....	50
2.6	Criterios éticos .....	50
2.7	Criterios de Rigor Científico .....	51
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>52</b>
3.1	Diseño de la GUI mediante la herramienta GUIDE de Matlab.....	53
<b>3.1.1</b>	<b><i>Herramienta GUIDE</i></b> .....	<b>53</b>
<b>3.1.2</b>	<b><i>Diseño y Construcción de GUI para el dimensionamiento de Espesores</i></b> .....	<b>54</b>
3.2	Listado de Fórmulas Utilizadas .....	54
<b>3.2.1</b>	<b><i>Modelo matemático de pérdida de calor para tubería con aislante completo.</i></b> .....	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b><i>Desarrollo de entorno virtual con la GUI</i></b> .....	<b>59</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Algoritmos para cada Ventana de GUI</i></b> .....	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>77</b>

## INDICE DE FIGURAS



Figura 1:Esquema de la línea de distribución .....	20
Figura 2:Convención de signos para el flujo de calor por convección .....	22
Figura 3:Variación de la conductividad térmica con la temperatura de fluidos comunes.....	23
Figura 4:Variación de la conductividad térmica con la temperatura par elementos y aleaciones metálicas comunes.....	24
Figura 5:Perfil de velocidad y temperatura para transferencia de calor por convección de una placa calentada con flujo sobre su superficie.....	25
Figura 6:Intervalos de conductividades térmicas de aislantes térmicos .....	27
Figura 7:Intervalos de conductividad térmica efectiva para aislantes fibrosos y celulares comunes. A la derecha de los aislantes se encuentran las temperaturas de uso máximo aproximadas. ....	27
Figura 8:Conductividad térmica efectiva contra temperatura de algunos aislantes .....	28
Figura 9:Red de resistencias térmicas para transferencia de calor a través de un cilindro.....	33
Figura 10:Fórmula para obtener T2.....	34
Figura 11:Metodología de Trabajo para desarrollo de la GUI – Diagrama de Flujo .....	36
Figura 12:Caja Negra para GUI de calificación.....	40
Figura 13:Desarrollo de actividades para el cumplimiento de la investigación .....	50
Figura 14:Pantalla de editor GUIDE en MATLAB .....	53
Figura 15:Diagrama general de funcionamiento de la GUI para dimensionamiento de EAT.....	60
Figura 16:Portada de GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	61
Figura 17:Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	62
Figura 18:Ventana 1 de GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	64
Figura 19:Ventana 2 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT. ....	65
Figura 20:Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2) .....	66
Figura 21:Ventana 3 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	67
Figura 22:Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2) .....	68
Figura 23:Ventana 4 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	69
Figura 24:Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2) .....	70

Figura 25:Ventana 5 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	71
Figura 26:Ventana 5 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT .....	73
Figura 27:Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2) .....	73
Figura 28:Optimización de espesor en base a costos de inversión y pérdida de calor.....	75

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1:Conductividades térmicas de algunos metales, sólidos no metálicos, líquidos y gases ..	22
Tabla 2:Operacionalización de Variables GUI .....	41
Tabla 3:Instrumentos de Recolección de Datos.....	49
Tabla 4:Resultado del cálculo de espesores.....	74
Tabla 5:Comparación de resultados .....	75

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:Conducción de calor.....	21
Ecuación 2:Conductividad térmica .....	23
Ecuación 3:Transferencia por convección.....	25
Ecuación 4:Calor suministrado por el GLP al quemarse (Q) .....	31
Ecuación 5:Costo unitario de combustible (C <sub>comb</sub> ).....	31
Ecuación 6:Costo Normalizado del combustible (C <sup>-</sup> <sub>comb</sub> ).....	31
Ecuación 7:Costo unitario total de la unidad de calor (C <sub>calor</sub> ) .....	32
Ecuación 8:Costo unitario total normalizado de la unidad de calor (C <sub>h</sub> ).....	32
Ecuación 9:Aislamiento térmico en tuberías circulares .....	32
Ecuación 10:Resistencia Térmica Total .....	32
Ecuación 11:Resistencia térmica por convección .....	32
Ecuación 12:Área 1 .....	33
Ecuación 13:Área 2 .....	33
Ecuación 14: Transferencia de calor a través de cilindro .....	34
Ecuación 15:Calcular T2 .....	34
Ecuación 16:Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante ..	55
Ecuación 17:Resistencia térmica equivalente por unidad de longitud de tubería con Aislante nuevo (K/W) .....	55

Ecuación 18: Tonelaje de producción .....	56
Ecuación 19: Calor suministrado .....	56
Ecuación 20: Costo unitario del combustible .....	56
Ecuación 21: Costo de la unidad de calor.....	56
Ecuación 22: Costo total unitario de la planilla de operarios .....	57
Ecuación 23: Costo unitario de mantenimiento .....	57
Ecuación 24: Costo unitario total de la unidad de calor .....	57
Ecuación 25: Costo unitario total normalizado de la unidad de calor ( <b>Ch</b> ) .....	58

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Realidad Problemática

Actualmente, con el aumento de la producción industrial y el rápido desarrollo de la tecnología, las necesidades energéticas de la sociedad aumentan cada día. El resultado de esto, con los limitados recursos energéticos y la contaminación ambiental derivada del uso de combustibles fósiles, está empujando a que la humanidad use los recursos actuales de manera más eficiente. En diversos sectores como en las edificaciones, instalaciones mecánicas y sistemas industriales, la mejor manera de conseguir ganancias es optimizando recursos por combustible y eso incluye controlar las pérdidas energéticas debido a la transferencia de calor en el sistema de análisis.

La transferencia de calor está presente en muchos de los procesos industriales, como en las calderas de generación de vapor, intercambiador de calor, sistemas de refrigeración y/o climatización, entre otros. Dichos procesos tienen la característica de operación basado en la quema de un combustible, sea petróleo, gas, carbón u otro biocombustible sólido. Por otro lado, es sabido que la combustión de cualquier tipo de combustible amerita un costo de adquisición por lo que para conseguir disminuir estos gastos es necesario reducir su consumo.

Es así que controlar el consumo de combustible puede llevarse a cabo de dos maneras: la primera consiste en reducir la capacidad de flujo de combustible, sin embargo, la producción se vería afectada también, y la segunda es controlar las pérdidas de calor generadas por la quema de combustible. Este último, el más factible de las opciones, ocurre cuando se hace uso del aislamiento térmico y sus propiedades, por lo que diversos autores vienen trabajando con el cálculo de espesores de aislamiento térmico a fin de optimizar costos de mantenimiento, instalación y pérdidas.

En el trabajo de Zaki & Al-Turki, (2018), utilizaron cuatro métodos termo-económicos diferentes para optimizar el diámetro de la tubería y el espesor del aislamiento en función de las pérdidas de calor, el costo del aislamiento, el costo total y la eficiencia exergética de las tuberías de agua caliente ; estimación basada en correlaciones simples del espesor de aislamiento óptimo para tuberías y equipos de acero; y estimación del espesor de aislamiento óptimo para tuberías que utilizan redes

neuronales artificiales.

Por otro lado, el problema actual de mantener los niveles de temperatura y por ende la viscosidad, de manera que se asegure un adecuado bombeo del crudo y especialmente después de la parada de la planta, puede ser resuelto por este tipo de estructura. Aislamiento térmico para la tubería principal, incluyendo proporcionando calor adicional utilizando un dispositivo que viene con la tubería de vapor que recorre toda la longitud de la tubería y ambos cubiertos con aislamiento, para formar una cavidad térmica. El sistema formado, desde el punto de vista del intercambio de calor, tiene sus propias peculiaridades y no puede ser procesado satisfactoriamente por el método tradicional de determinar el espesor del aislamiento..(JOSE P. et al., 1998)

Otro punto importante relacionado con el dimensionamiento de espesores, relativo a la elección de materiales refractarios y aislantes, ha sido objeto de numerosas investigaciones con el fin de reducir los costos de montaje, los costos de producción del acero, las pérdidas excesivas de calor, el exceso de peso y las deformaciones irreversibles del metal. carcasa a partir del correcto uso de los materiales empleados en su fabricación, entre otros. Su constante evolución, combinada con la mejora continua de los procesos de ingeniería, ha dado lugar a diferentes formas de buscar soluciones alternativas al problema de la selección de materiales.(Martínez Valdés & Arzola Ruiz, 2016)

El desempeño térmico de los sistemas de tuberías de vapor está controlado por el comportamiento hidráulico del fluido en la tubería; a la inversa, también impacta indirectamente en el diseño hidráulico a través de la influencia de la temperatura en las propiedades del fluido como el GOR, la densidad y la viscosidad.(Bai & Bai, 2018)

El diseño térmico, que predice el perfil de temperatura a lo largo de la tubería, es una de las partes más importantes del diseño de la tubería, porque esta información es necesaria para los análisis de la tubería, incluido el análisis de expansión, alteraciones o pandeo lateral, protección contra la corrosión, predicción de hidratos y análisis de residuo de cera o parafina.

Es así que en el escenario actual, se utilizan diversos conceptos, métodos y algoritmos para la determinación de los principales parámetros técnicos racionales de la red de tuberías de vapor, por ejemplo: diámetro de las tuberías, espesores, tipos de material, y otros.

Las redes de tuberías de vapor y agua caliente se aplican ampliamente en plantas industriales, así como en sistemas de calefacción urbana. Las plantas químicas y

petroquímicas, las fábricas de fertilizantes, las plantas de celulosa y textiles tienen los sistemas de tuberías más extensos y complejos. El vapor también se utiliza como portador de energía básico en el azúcar y, en general, en la industria alimentaria, así como en la industria pesada, como la metalurgia. Estos portadores de energía siempre se envían a los consumidores mediante sistemas de tuberías. (Kruczek, 2013)

Por razones prácticas, las redes de tuberías aéreas generalmente se construyen en plantas industriales. Durante la distribución de los citados portadores de energía mediante gasoductos, siempre existe un problema de pérdidas de energía que resultan en costos económicos crecientes.

Además, este análisis muestra que las pérdidas durante el transporte de portador de energía en la red de tuberías se pueden reducir disminuyendo las pérdidas de calor en las tuberías y reduciendo el consumo de energía eléctrica utilizada para el transporte de agua caliente. (Guo et al., 2014)

El uso de materiales aislantes para disminuir la transferencia desde superficies se ha practicado durante muchos años. Las preocupaciones recientes sobre la conservación de la energía y la conciencia de los recursos energéticos limitados alentaron a volver a examinar el óptimo uso de la instalación del aislamiento térmico.

A medida que aumenta el espesor del aislamiento, aumentan los ahorros; sin embargo, los costos de inversión también aumentan. Si bien esta situación está determinada por el tipo y el espesor del material de aislamiento térmico, se puede calcular un espesor de aislamiento adecuado que muestre resultado intermedios garantizando el gasto mínimo.

Para determinar el espesor de aislamiento óptimo en tuberías, se han utilizado numerosas iniciativas. Los estudios científicos se han centrado principalmente en soluciones analíticas y numéricas para el aislamiento multicapa de tuberías en condiciones de radiación.

Por lo expuesto, es importante incentivar la transformación tecnológica en el Perú, para la evaluación se investiga el diseño de una interfaz gráfica de usuario con el fin de elegir con rapidez el dimensionamiento óptimo y los materiales de espesores para el aislamiento térmico en tuberías de vapor. Se requiere de la optimización de un sistema de software de programación a fin de sistematizar los resultados y pueda ser aplicado en diferentes situaciones facilitando el diseño de interfaces de usuario para su utilización en una determinada multiplataforma.

## **1.2 Problema de Investigación**

¿Cuáles son los parámetros que permiten el desarrollo del algoritmo de trabajo para una interfaz gráfica de usuario que permita el dimensionamiento óptimo de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor?

## **1.3 Justificación e Importancia de la Investigación**

Esta investigación tiene como finalidad desarrollar el algoritmo de trabajo de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el dimensionamiento de Espesores para Aislamiento Térmico en Tuberías de Vapor con el fin de agilizar la elección de los materiales y las dimensiones.

### **1.3.1 Justificación Tecnológica.**

La aplicación GUI es un nuevo sistema informático para la simulación con la capacidad de análisis de cálculos programables que puede generar una gráfica para el mejor entendimiento e interpretación de los datos del usuario, también ayuda al mejor entendimiento de otras investigaciones por su grande ventajas.

### **1.3.2 Justificación Económica.**

El valor agregado que genera este sistema GUI es disminuir el tiempo de espera dentro del proceso de la selección de variables o parámetros con el objetivo de reducir costos de trabajo, instalación y ejecución.

Promueve un mejor resultado para mejorar la eficiencia térmica del transporte de vapor a través de la red de tuberías, lo que se traducirá en ahorros económicos en el consumo de combustible y equipos utilizados para la generación de vapor.

### **1.3.3 Justificación Educativa.**

Esta herramienta GUI ayudara de forma didáctica en las materias de centrales de generación de energía, dando lugar a la posibilidad de estudiar casos reales y corroborados por el uso de dicho software.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Desarrollar una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el dimensionamiento óptimo de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar los parámetros a calcular en el dimensionamiento de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor.
- Establecer los parámetros de ingreso y salida necesarios para la elaboración del dimensionamiento de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor.
- Diseñar la interfaz gráfica de usuario (GUI) para el dimensionamiento de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor.
- Programar las GUI's mediante la herramienta GUIDE de software de programación.
- Probar el funcionamiento del programa final realizando corridas iniciales con valores reales.

## **1.5 Hipótesis**

No aplica para esta investigación.

## **1.6 Antecedentes de la Investigación**

Bahadori & Vuthaluru( 2010),en su artículo científico encontraron que cuando el único objeto de aplicar aislamiento a una parte de la planta es lograr el costo total mínimo durante un período específico (período de evaluación), el espesor apropiado generalmente se denomina espesor económico. El principio consiste en determinar a qué espesor los gastos adicionales en aislamiento no estarían justificados por el ahorro económico adicional en calor que se prevé durante el período de evaluación. Aunque un



aumento en la cantidad de aislamiento aplicado aumentará el costo de instalación inicial, reducirá la tasa de pérdida de calor a través del aislamiento. Por lo tanto, es necesario reducir el costo total durante el período de evaluación. En este trabajo, se formula la correlación fácil de usar, empleando ecuaciones algebraicas básicas que son más simples que los modelos disponibles actuales que involucran un gran número de parámetros, requiriendo cálculos más complicados y más largos, para llegar al espesor económico del aislamiento térmico adecuado para tuberías y equipos de proceso. La correlación es una función del diámetro de la tubería de acero y la conductividad térmica del aislamiento para temperaturas de superficie a 100 ° C, 300 ° C, 500 ° C y 700 ° C. Una fórmula de interpolación simple generaliza esta correlación para una amplia gama de temperaturas superficiales. La correlación propuesta cubre el diámetro de la tubería y la temperatura de la superficie hasta 0.5 m y 700 ° C, respectivamente. El porcentaje de desviación absoluta promedio de la correlación propuesta para estimar el espesor económico del aislante térmico es 2%, lo que demuestra el excelente desempeño de la correlación simple propuesta.

Alvarez Gallegos & Estévez Cuenca( 2016), En su investigación abordaron temas de programación con dos programas, como la ventilación mecánica y aire acondicionado, a través del software Visual estudio 2010.

En el caso de la ventilación mecánica, en su desarrollo se puede vincular al AutoCAD 2012, para que el trabajo del investigador sea rápida y automatizada para el dimensionamiento de ductos rectangulares y circulares, con solo el ingreso de datos de variables como presión, caudal, densidad del aire del área de trabajo, entre otros. El software de climatización, por su parte, enfocado al cálculo de cargas térmicas de refrigeración, ofrece al usuario la inserción de datos para el cálculo de la carga de refrigeración según el origen (ventanas, paredes, techos, superficies interiores, ocupantes, intercambio de aire, luminarias o electrodomésticos), permite visualizar la carga total de refrigeración hora a hora, ya sea como un conjunto de zonas o sistemas. Además, el software de cargas de enfriamiento térmico permite al usuario modificar las condiciones geográficas y el diseño para recalculer las cargas ya ingresadas; presenta una opción para calcular la orientación óptima para conocer la ubicación que requiere la menor carga de enfriamiento con el fin de sugerir la orientación correcta del edificio y así reducir el costo de los equipos de aire acondicionado. Cada software desarrollado en este proyecto se rige por las metodologías creadas por ASHRAE y SMACNA, presenta

la respectiva validación, descripción y manual de usuario para facilitar su uso y comprensión.

Hernández et al.(2016), ha desarrollado un procedimiento para seleccionar el espesor económico óptimo de aislamiento térmico en tuberías con trazas de vapor; Esto llevó a obtener el modelo para el cálculo de la pérdida total de calor. El procedimiento tiene en cuenta criterios económicos en la elección del espesor y fija como espesor óptimo aquel que garantiza el mínimo coste total estableciendo un equilibrio entre los costes de las pérdidas de energía y los costes de inversión.

Zhang et al.( 2017), en su investigación referente a los efectos del espacio de aire en el espesor del aislamiento y los costos del ciclo de vida para diferentes diámetros de tuberías de vapor, utilizaron el software MATLAB para construir una interfaz gráfica de usuario buscando el dimensionamiento óptimo de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor, fue así que encontraron que las pérdidas de energía en las redes de tuberías de calefacción urbana se pueden reducir considerablemente utilizando materiales aislantes. En este estudio, se calculan el espesor de aislamiento óptimo del entierro directo utilizado en las redes de tuberías de calefacción urbana, el ahorro de energía y los períodos de recuperación para varios diámetros de tubería, tipos de combustible y profundidad del suelo en la ciudad de Xi'an / China , según el método de análisis de costes del ciclo de vida (LCCA). Los resultados muestran que los espesores óptimos de aislamiento varían entre 0.060 y 0.121 m, los ahorros de energía varían entre \$36.395 \$ y \$194.682 y los períodos de recuperación varían entre 0.445 y 1.691 años. Cuando se utiliza lana de roca como material aislante y la profundidad del suelo es de 1 m, el valor más alto de ahorro de energía se alcanza con un tamaño nominal de tubería de 500 mm para aceite como tipo de combustible, mientras que el valor más bajo se obtiene en 100 mm para la energía geotérmica. Por lo tanto, la selección del espesor óptimo para diferentes diámetros de tubería y tipos de combustibles es particularmente vital para las ventajas económicas y ambientales.

Wang et al.( 2020), diseñaron una interfaz gráfica para encontrar el dimensionamiento óptimo de espesores para aislamiento térmico en tuberías de vapor, la tubería multicapa con el material compuesto de matriz PCM, hecha de partículas de material de cambio de fase microencapsuladas (partículas MicroPCM) y material de matriz polimérica, se propone como un método eficaz para enfrentar los desafíos de

aseguramiento del flujo debido a su almacenamiento de energía térmica. En comparación con las aplicaciones directas de PCM, el material compuesto de matriz de PCM puede evitar la posible fuga de su fase líquida y disminuir la dificultad de instalación. Se llevan a cabo estudios teóricos para investigar el sistema de aislamiento multicapa propuesto en una tubería horizontal larga, que incrusta una capa de aislamiento intermedia hecha de la capa compuesta de matriz PCM. Considerando el almacenamiento o liberación del calor latente y los cambios de propiedades térmicas durante el proceso de cambio de fase, las características globales de la capa compuesta de matriz PCM se calculan basándose en la teoría de los medios porosos. Se desarrolla un modelo pseudo-3D acoplado al método numérico de diferencias finitas para simular los procesos transitorios de arranque y cierre. Para abordar los estados líquido y sólido de PCM y su interfaz, el modelo para la capa compuesta de matriz PCM se constituye en forma de conservación de entalpía. Se examina la influencia de las propiedades térmicas de diferentes materiales de matriz y PCM en el tiempo de enfriamiento. Al analizar las distribuciones de temperatura del fluido producido durante el arranque y el cierre, el estudio actual muestra que el uso de partículas MicroPCM en la capa compuesta puede prolongar el tiempo máximo de enfriamiento. Además, se encuentra que los parámetros geométricos, como la fracción de volumen de la partícula MicroPCM y el espesor de la capa compuesta, también juegan un papel al afectar la extensión de la prolongación del tiempo de enfriamiento.

### **1.6.1 Estado del Arte**

Desde principios del siglo XVI, el uso del vapor tuvo una tremenda aplicación como propulsor, a lo largo de la historia se han construido motores de vapor para propulsar automóviles, trenes o barcos, lo que demuestra que el agua o el calor por sí solos pueden ser Vehículo. Hoy en día el vapor se utiliza en casi todas las industrias y en calderas en general, que es fundamental para la generación de energía y otros procesos.

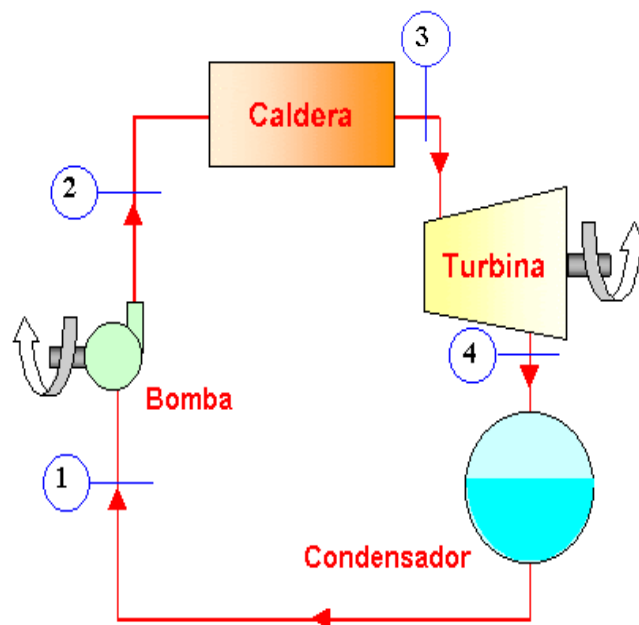
Los generadores de vapor o calderas, utilizan calor para convertir el agua en vapor, usado en una variedad de aplicaciones. Entre éstas se encuentran la generación de energía eléctrica y la calefacción de procesos industriales. En la práctica, el diseño de la caldera debe demostrar ser robusto y fiable. En estos momentos las calderas y el equipo auxiliar deberán diseñarse y regirse de conformidad con las normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME). La caldera y todo el equipo auxiliar deben

ser adecuados para la instalación al aire libre. (Yin et al., 2018)

En los últimos años, la industria ha requerido energía a base de vapor porque tiene un alto valor de energía latente por unidad de masa, que está disponible durante la condensación para ser transferida a una temperatura constante, con un coeficiente de transferencia de calor muy alto. Esto resultó en un sistema ATEs, por lo que el vapor es un portador de energía, aunque su producción es bastante cara. La cual puede reducirse en costo si se toman condiciones apropiadas para el trabajo de la caldera de vapor, puede aumentar la eficiencia del sistema.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos, es conveniente señalar que esto permite describir un modelo desarrollado para el mejor desempeño de calderas y producción de vapor, para lo cual se presenta una planta ilustrativa de vapor de cuatro etapas, como se muestra en la Figura 1, que está formado por una caldera de vapor, un acumulador de vapor y un tanque de procesamiento interconectados secuencialmente, lo que da como resultado un vapor más limpio y una mayor eficiencia.

*Figura 1: Esquema de la línea de distribución*



Por otro lado, otra parte importante en las calderas son las tuberías. En la actualidad las tuberías son recubiertas de membranas permeables ya que son materiales novedosos que han sido ampliamente utilizados en diversas industrias. Una aplicación de este tipo, es la recuperación total de calor del vapor y del aire de ventilación. Una serie de estos elementos se apilan juntos para formar el núcleo que ayuda a la recuperación total del

calor (Wang et al., 2020).

- **Interfaz**

En pocas palabras es un término muy utilizado dentro del área del software, consiste en una conexión informática fluida entre el usuario y la aplicación, o la aplicación con diferentes softwares. Esta parte del sistema se compone de 'un conjunto de directrices y métodos que permiten estas intercomunicaciones.

La interfaz también designa todos los métodos utilizados para lograr la interactividad usuario-pc. Dentro de una interfaz encontramos el tipo GUI o una línea de directrices, etc. La señal puede provenir de un equipo como todo su hardware, que son interfaces entre el usuario y la computadora.(Subirós Muñoz, 2009)

- **Interfaz Gráfica de usuario**

El sistema GUI representa de forma esquematizada la gráfica de usuario (GUI) y simula una colección de imágenes y objetos de los datos insertados al sistema, de forma directa para un placentero uso de la interfaz en el menor tiempo posible.

La GUI es el resultado del avance tecnológico de comandos para una mejor optimización de datos dentro de un sistema programable.(Subirós Muñoz, 2009)

## 1.7 Fundamento Teórico

### 1.7.1 Ley de Fourier

#### Conducción de calor

Consiste en la variación de temperatura dentro de un espacio u objeto determinado, donde el proceso de ceder calor va de objetos de mayor temperatura a menor, ósea de caliente a frío y se basa en la ley de Fourier, mostrada en la ecuación 1:

*Ecuación 1: Conducción de calor*

$$\dot{q} = -k.A.\frac{dT}{dx}$$

Donde:

$\dot{q}$  : Rapidez de Transferencia de Calor (W)

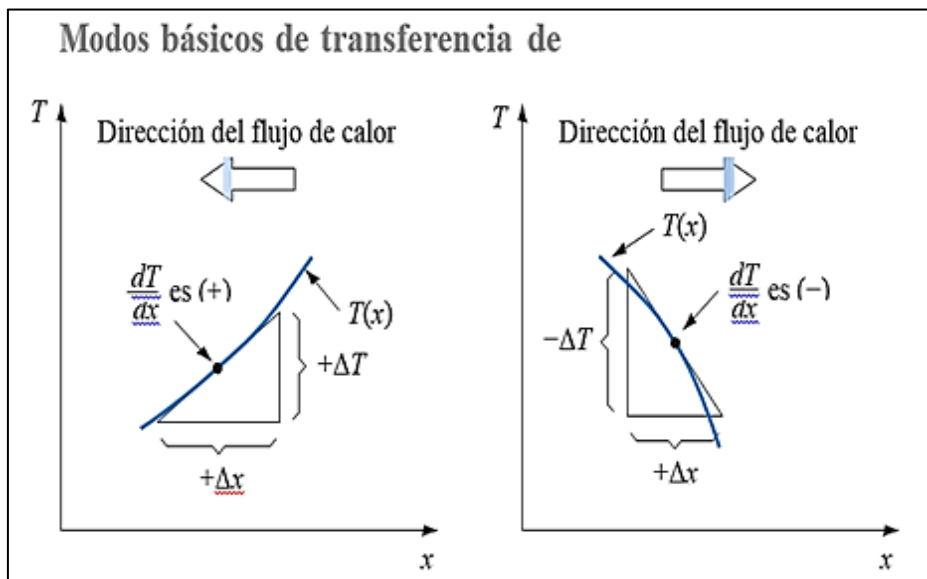
$k$  : Coeficiente de calor por conducción  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$A$  : Area de Transferencia de Calor ( $m^2$ )

$\frac{dT}{dt}$  : Gradiente de Temperatura ( $^{\circ}C$ )

El símbolo negativo es el resultado de un análisis de la segunda ley de termodinámica, donde la dirección de calor fluye de mayor a menor, como especifica la figura 2:

Figura 2: Convención de signos para el flujo de calor por convección



Fuente: Principio de transferencia de calor (Kreith, F.)

En la tabla 1 muestra los valores de las conductividades térmicas de la gran variedad de materiales comerciales:

Tabla 1: Conductividades térmicas de algunos metales, sólidos no metálicos, líquidos y gases

Material	Conductividad térmica a 300	
	K (540 °R)	Btu/h ft °F
Cobre	399	231
Aluminio	237	137
Acero al carbono, 1%C	43	25
Vidrio	0.81	0.47
Plásticos	0.2-0.3	0.12-0.17
Agua	0.60	0.35
Etileno glicol	0.26	0.15
Aceite para motores	0.15	0.09
Freón (líquido)	0.07	0.04

Hidrogeno	0.18	0.10
Aire	0.26	0.02

*Fuente: Principio de transferencia de calor (Kreith, F.)*

### 1.7.2 Conductividad térmica

Siendo una propiedad física de los materiales para transferir calor y de acuerdo con la ley de Fourier, ecuación (2), la conductividad térmica está definida como:

*Ecuación 2: Conductividad térmica*

$$k = \frac{\frac{dq}{A}}{\left(\frac{dT}{dx}\right)} \quad (2)$$

Donde:

**K** : coeficiente de calor por conducción (W/Mk)

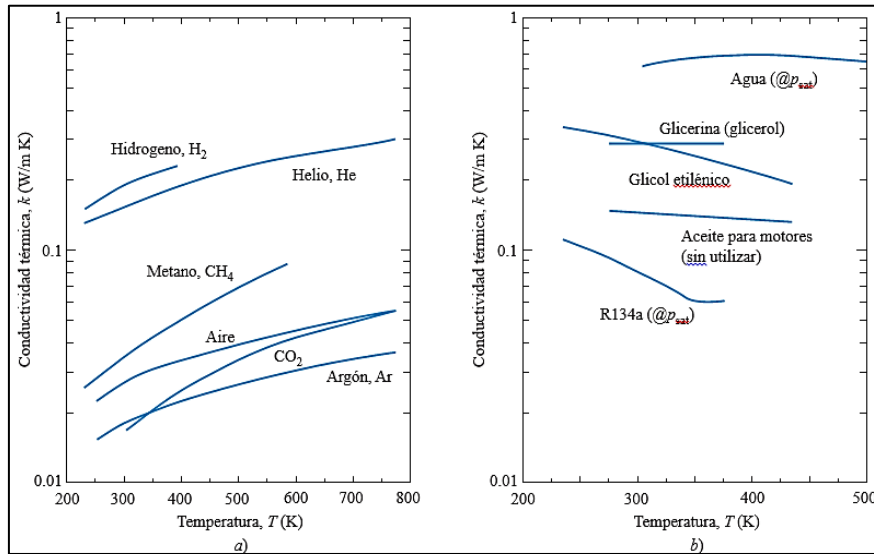
**dq** : diferencial de calor (W)

**A** : área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

**dT/dx** : gradiente de distribución de temperatura (k/m)

En la Figura 3, se especifica que materiales tienen la mejor conductividad térmica, destacando los metales puros y de menor conductividad son los gases.

*Figura 3: Variación de la conductividad térmica con la temperatura de fluidos comunes*



a) gases y b) líquidos.

**Fuente:** Principio de transferencia de calor. (Kreith, F.)

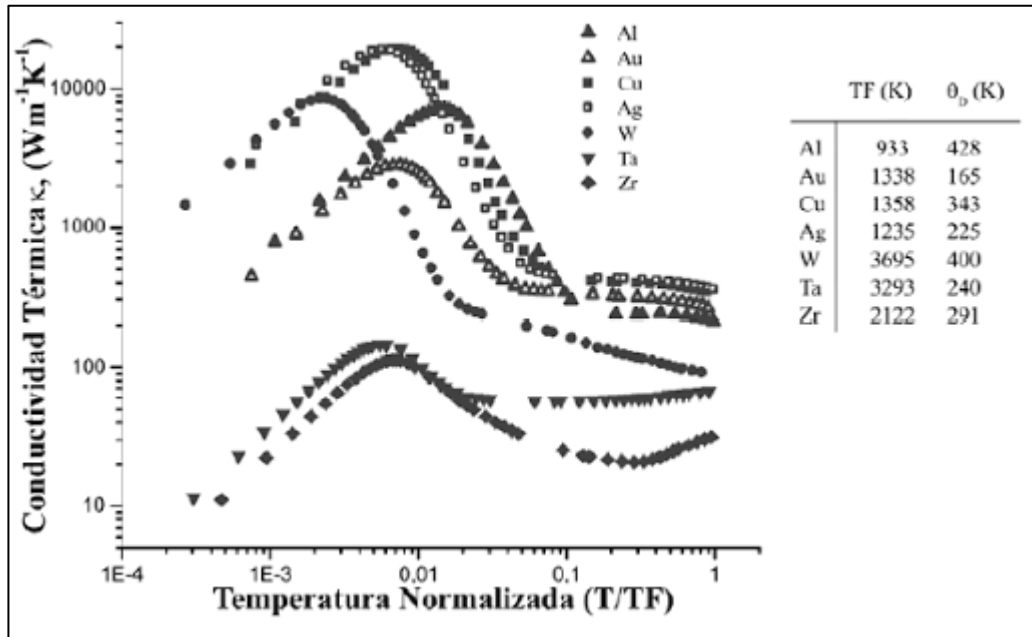
### 1.7.3 Resistencia Térmica

Como en cualquier ambiente, va existir temperaturas variadas, donde va existir una resistencia del calor hacia otro material que se opone al flujo de calor, generando la resistencia térmica.

En la Figura 4, especifica las conductividades térmicas de las variaciones de los metales, así como sus aleaciones:

*Figura 4: Variación de la conductividad térmica con la temperatura par elementos y aleaciones metálicas comunes*





Fuente: Principio de transferencia de calor. (Kreith, F.)

#### 1.7.4 Convección

Este tipo de transferencia de calor, se produce en un mayor porcentaje entre un fluido o gas con un cuerpo sólido.

*Ecuación 3: Transferencia por convección*

$$q_c = -h_{\text{fluido}} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \text{en } y = 0 \quad (3)$$

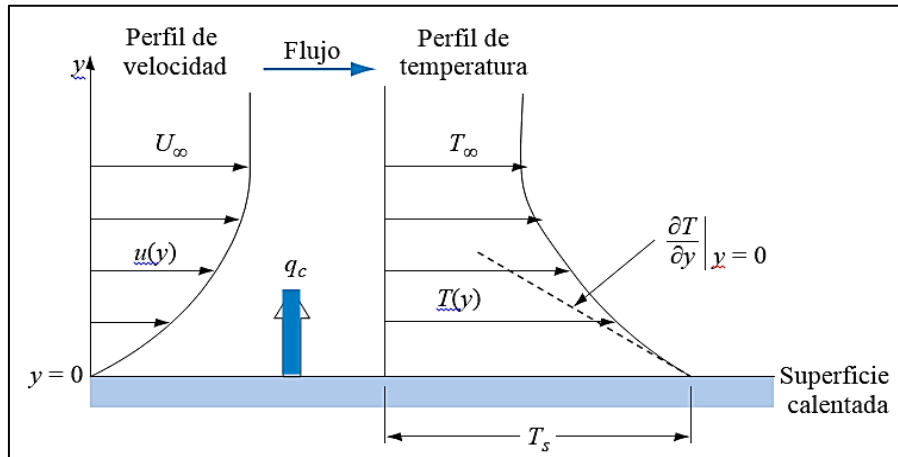
Donde:

$q_c$  : calor por conducción (w)

$h$  : coeficiente de calor por convección (W/m<sup>2</sup>.K)

$\partial T$  : Diferencia de temperaturas (k)

Figura 5: Perfil de velocidad y temperatura para transferencia de calor por convección de una placa calentada con flujo sobre su superficie.



*Fuente: Principio de transferencia de calor. (Kreith, F.)*

### 1.7.5 Aislamiento térmico

Es un concepto que hoy en día hasta existe el material con ese nombre, que se utiliza en la construcción o industrias, para disminuir pérdidas de calor, utilizan diferentes materiales que funcionan como aislantes, con el objetivo de reducir toda filtración de calor no deseado de algunas tuberías para las instalaciones sanitarias de agua fría o caliente.

**Fibrosos:** es un tipo de composición de aislante donde contiene filamentos de un mínimo diámetro que se utiliza como tapicería donde se quiera aplicar ya sea en tuberías, entre otros, teniendo una porosidad alta de (-90%), los materiales más utilizados en este tipo son la fibra de vidrio, la alúmina o de sílice.

**Celular:** Estos son materiales que pueden tener celdas abiertas o cerradas, y se encuentran revestidos de forma flexible o rígida. Una de sus propiedades es que se puede dar la figura geométrica deseada así como densidad baja, dentro de los materiales comunes tenemos al poliestireno y poliuretano.

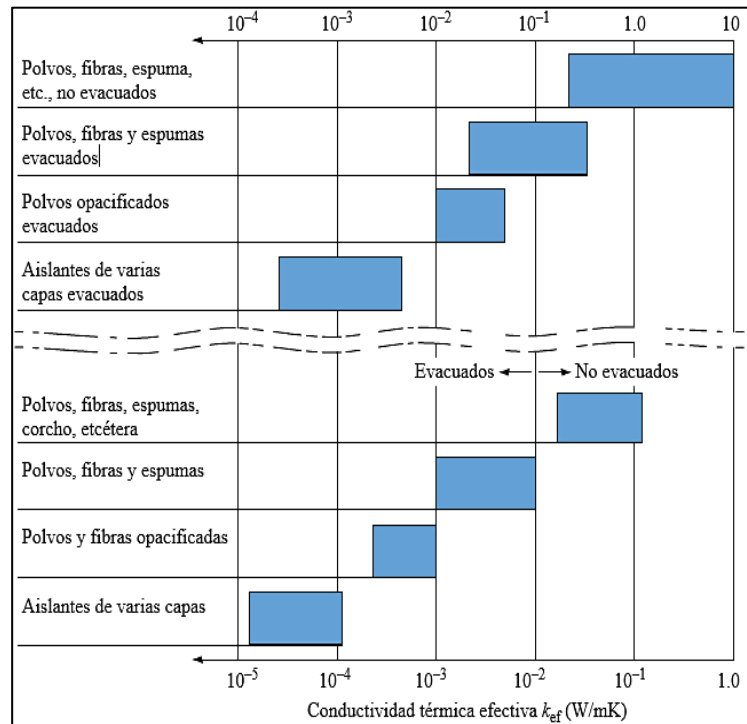
**Granular:** Es otra forma de configuración de materiales inorgánicos que se utilizan como polvos, dentro de los materiales más utilizados tenemos a la vermiculita y diatomácea.

En la Figura 6 especifica los rangos de conductividad térmica efectiva para un aislamiento evacuado y no evacuado, también la multiplicación de la densidad

volumétrica y la conductividad térmica necesarias para el análisis.

$$\text{Conductividad térmica efectiva} \times \text{densidad volumétrica} \left( \frac{Wkg}{m^4K} \right)$$

Figura 6: Intervalos de conductividades térmicas de aislantes térmicos

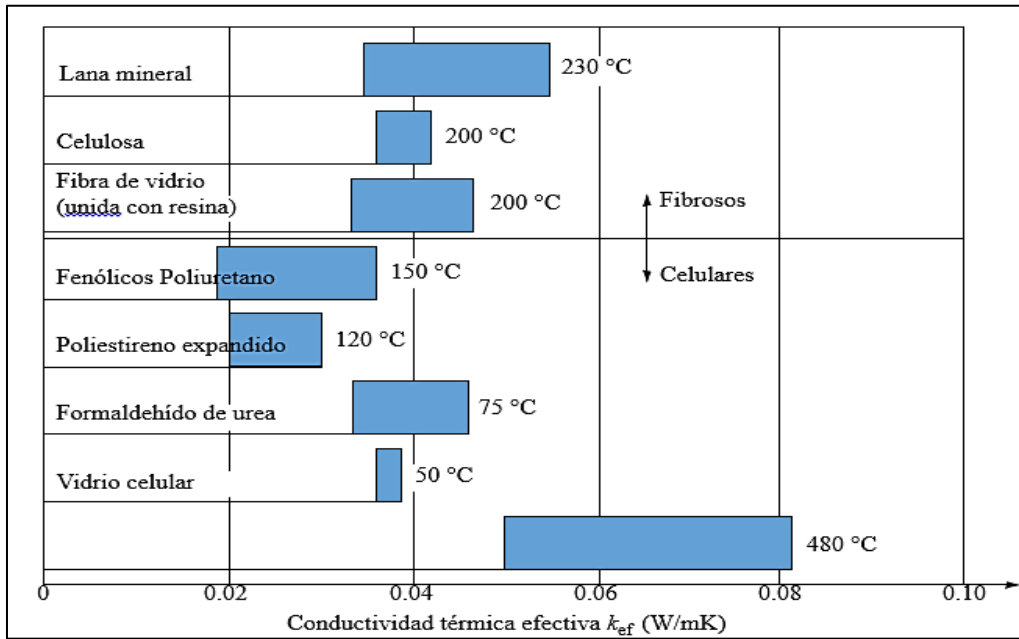


. (Kreith, F.)

De todas las propiedades como densidad, temperatura, rigidez estructural, estabilidad química, costo, entre otros, para la selección de un aislante térmico la característica principal es la conductividad térmica real, éste dato se puede saber con los manuales.

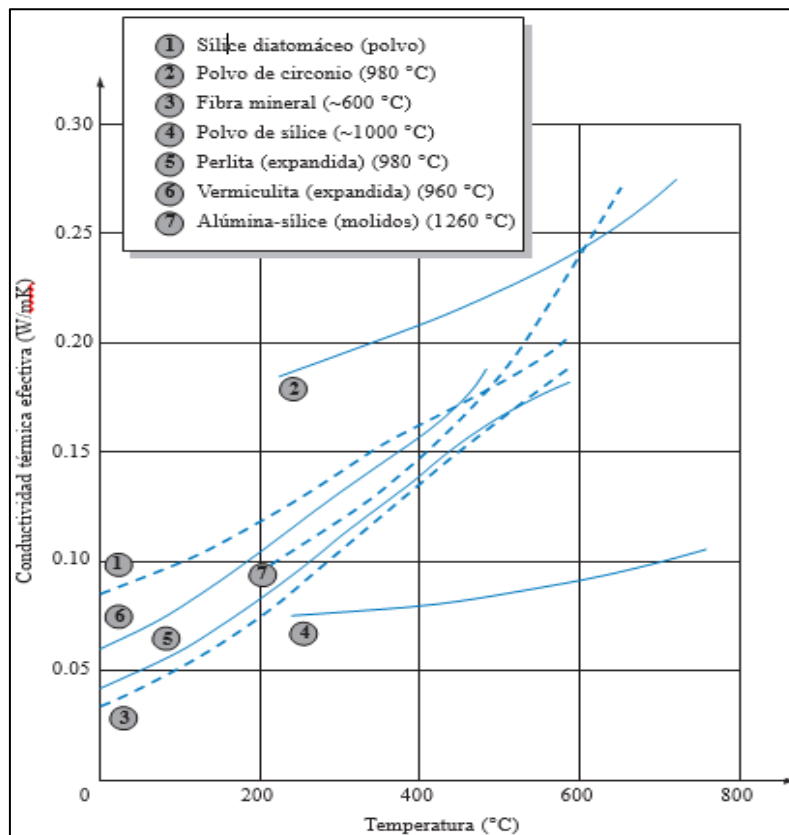
En la Figura 7 se especifican los rangos de conductividad de los diferentes materiales más utilizados en la industria, a temperaturas no muy altas para simular una aplicación de trabajos reales.

Figura 7: Intervalos de conductividad térmica efectiva para aislantes fibrosos y celulares comunes. A la derecha de los aislantes se encuentran las temperaturas de uso máximo aproximadas.



*Fuente: Principio de transferencia de calor. (Kreith, F.)*

*Figura 8: Conductividad térmica efectiva contra temperatura de algunos aislantes*



*. (Kreith, F.)*

### 1.7.6 Definición de la terminología

**a. Aislamiento térmico**

Consiste en una propiedad de los materiales que van en contra del flujo de calor por conducción, y se mide a través de la resistencia térmica, las unidades según SI es  $m^2 \cdot K/W$ .

**b. Vapor sobrecalentado**

De acuerdo a la gráfica de la campana de un ciclo termodinámico cuando la línea de la temperatura sobrepasa el perímetro de la temperatura de saturación se considera la zona de vapor sobrecalentado, de forma más real es básicamente el calentamiento del vapor saturado. La variable de presión no influye en la variación de temperatura del sistema.

**c. Coeficiente de transferencia de calor por convección**

Consiste en la relación de cantidad de calor por convección sobre el área, desde el espacio natural hacia la superficie del sistema termoaislante en baja temperatura, y en sentido inverso en alta temperatura.

**d. Temperatura**

Es una magnitud matemática representada en el sistema internacional que define el estado caliente o frío, de forma más completa es la capacidad de energía interna o el potencial térmico causante del flujo calórico.

**e. Presión**

Matemáticamente es la relación de fuerza por área, es la propiedad que todo fluido ya sea líquido o gaseoso tiene, se aplica este término en los temas de transferencia de calor e hidrodinámica.

**f. Unidades de presión**

Existe una gran variedad de unidades, porque la aplicación de la presión en otros países se modifica por unidades aceptadas en su estado, a continuación se muestran todas las conversiones y variables de unidades:

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ KPa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atmósfera estándar (atm)} = 1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ o } 14.696 \text{ lbf/in}^2 \text{ (psi)}$$

$$1 \text{ lbf/in}^2 = 6894.8 \text{ Pa}$$

**g. La caldera**

Es un dispositivo mecánico utilizado para producir vapor, y trabaja a través del proceso de transferencia de calor por presión, aumentando la temperatura y cambiando de fase.

**h. Calderas acuotubulares**

Es un tipo de caldera que trabaja a través de tubos, y pasa por ahí el fluido de trabajo durante el proceso de aumento de temperatura, son más demandadas en centrales termoeléctricas por sus propiedades de presión y generación de energía.

**i. La conductividad térmica**

Es una característica nata de cualquier material, que proyecta una capacidad del paso de calor, y se estima de acuerdo a la temperatura que se encuentra el elemento.

**j. Sistema de distribución del vapor**

Consiste en la estructura organizada de tubos conocidos como "cabezales y ramales de vapor", que son necesarios para la conducción del vapor a puntos estratégicos para el proceso térmico.

**k. Hogar de la caldera**

También conocidas como calderas del tipo "tubo de agua", en su interior cuenta con un horno que en sus paredes muestra "bancos de tubos"; En las

calderas del tipo "tubo de humo", el hogar consta de una carcasa interna metálica, en la comparación de los casos en su interior comienza la transformación del agua de saturación en vapor y donde finaliza el proceso.

### 1.7.7 Diseño de Aislamiento Térmico para Tuberías

#### 1.7.7.1 Costo de Unidad de Calor

De acuerdo a Rein (2007) para un ejemplo en particular en una empresa azucarera el precio por unidad de calor, muchas veces el costo es obtenido por la propia empresa pero también se puede calcular por ecuaciones o fórmulas matemáticas.

*Ecuación 4: Calor suministrado por el GLP al quemarse (Q)*

$$Q = m_g \times Pcal_{Gas}$$

Donde:

**Q** : Calor suministrado por el GLP al ser quemado (MJ)

**$\dot{m}_g$**  : Consumo horario de GLP (Ton/h)

**$Pcal_{gas}$**  : Poder calorífico del GLP (kJ/hg)

*Ecuación 5: Costo unitario de combustible ( $C_{comb}$ )*

$$C_{comb} = \dot{m}_B * EQ_1 * EQ_2$$

Donde:

**$C_{comb}$**  : Costo de combustible (soles/h)

**$EQ_1$**  : Equivalencia para consumo de combustible (gal/Ton)

**$EQ_2$**  : Equivalencia para costo de combustible (soles/gal)

*Ecuación 6: Costo Normalizado del combustible ( $\bar{C}_{comb}$ )*

$$\bar{C}_{comb} = \frac{C_{comb}}{Q}$$

Donde:

$$\bar{C}_{comb} : \text{Costo Normalizado del combustible } \left(\frac{\text{soles}}{\text{kW.h}}\right)$$

*Ecuación 7: Costo unitario total de la unidad de calor ( $C_{calor}$ )*

$$C_{calor} = C_{comb}$$

*Ecuación 8: Costo unitario total normalizado de la unidad de calor ( $C_h$ )*

$$C_h = \frac{C_{calor}}{Q}$$

$$C_h : \text{Costo unitario total normalizado de la unidad de calor } \left(\frac{\text{soles}}{\text{kW.h}}\right)$$

#### ***1.7.7.2 Aislamiento térmico en tuberías circulares***

Este tipo de aislamiento se desarrolla en geometrías cilíndricas o esféricas, que en su interior contiene paredes planas con muchas capas, Por ejemplo, la relación de la transferencia de calor estacionaria por el cilindro compuesto de tres capas, de longitud L, que se muestra en la Figura 14, con convección en ambos lados, se puede expresar como

*Ecuación 9: Aislamiento térmico en tuberías circulares*

$$Q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{total}}$$

Donde:

$R_{total}$  : Resistencia térmica total, expresada como

*Ecuación 10: Resistencia Térmica Total*

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil,1} + R_{cil,2} + R_{cil,3} + R_{conv,2}$$

*Ecuación 11: Resistencia térmica por convección*

$$R_{t,f} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L K_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L K_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L K_3} + \frac{1}{h_2 A_4}$$



Donde:

*Ecuación 12:Área 1*

$$A_1 = 2\pi r_1 L$$

*Ecuación 13:Área 2*

$$A_2 = 2\pi r_4 L$$

La ecuación 13 también trabaja en condiciones de que tenga una cubierta esférica o circular de 3 capas, y se puede sustituir las resistencias térmicas por las esféricas. La disposición de estas resistencias térmicas, se encuentran siempre en serie y el resultado es la suma aritmética en el recorrido del flujo de calor.

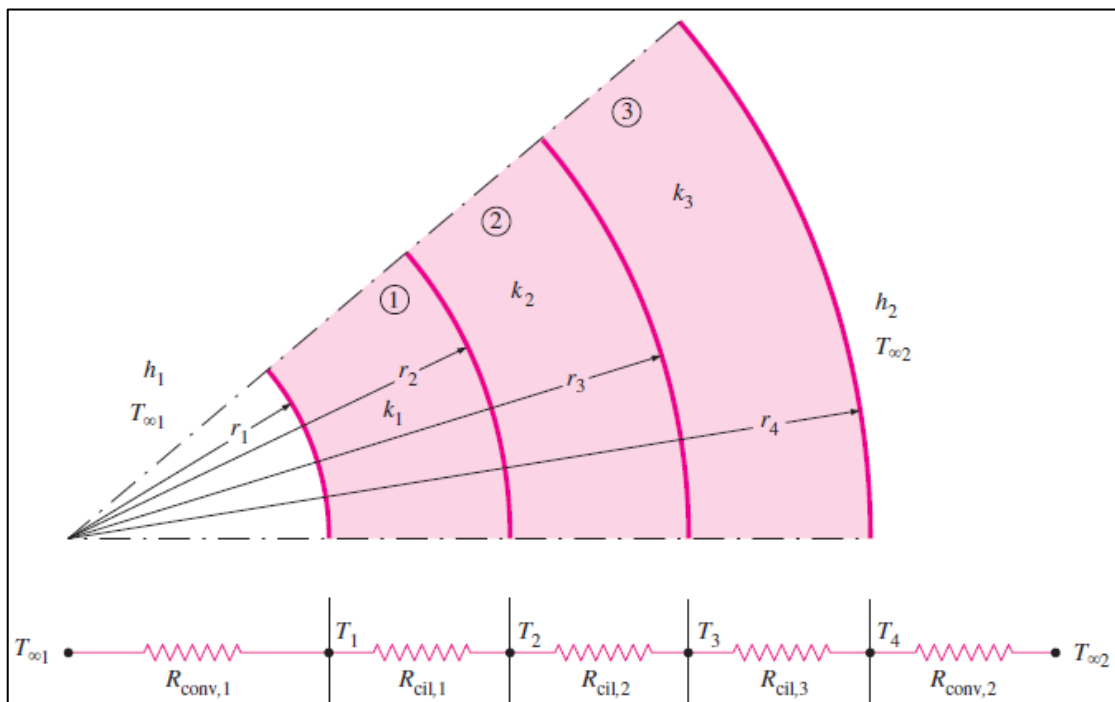


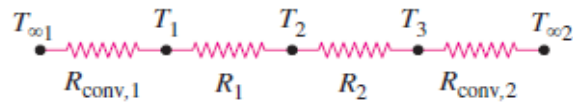
Figura 9: Red de resistencias térmicas para transferencia de calor a través de un cilindro

Fuente: Cengel, 2011

Ecuación 14: Transferencia de calor a través de cilindro

$$Q = \frac{T_{\infty,1} - T_2}{R_{conv,1} + R_{cil,1}} = \frac{T_{\infty,1} - T_2}{\frac{1}{h_1(2\pi r_1 L)} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L K_1}}$$

Figura 10: F6rmula para obtener T2



$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{T_{\infty,1} - T_1}{R_{conv,1}} \\ &= \frac{T_{\infty,1} - T_2}{R_{conv,1} + R_1} \\ &= \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{T_2 - T_3}{R_2} \\ &= \frac{T_2 - T_{\infty,2}}{R_2 + R_{conv,2}} \\ &= \dots \end{aligned}$$

Fuente: Cengel, 2011

A continuación, se puede calcular T2 con la siguiente ecuación:

Ecuación 15: Calcular T2

$$Q = \frac{T_2 - T_{\infty,2}}{R_2 + R_3 + R_{conv,2}} = \frac{T_2 - T_{\infty,2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L K_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi L K_3} + \frac{1}{h_0(2\pi r_4 L)}}$$

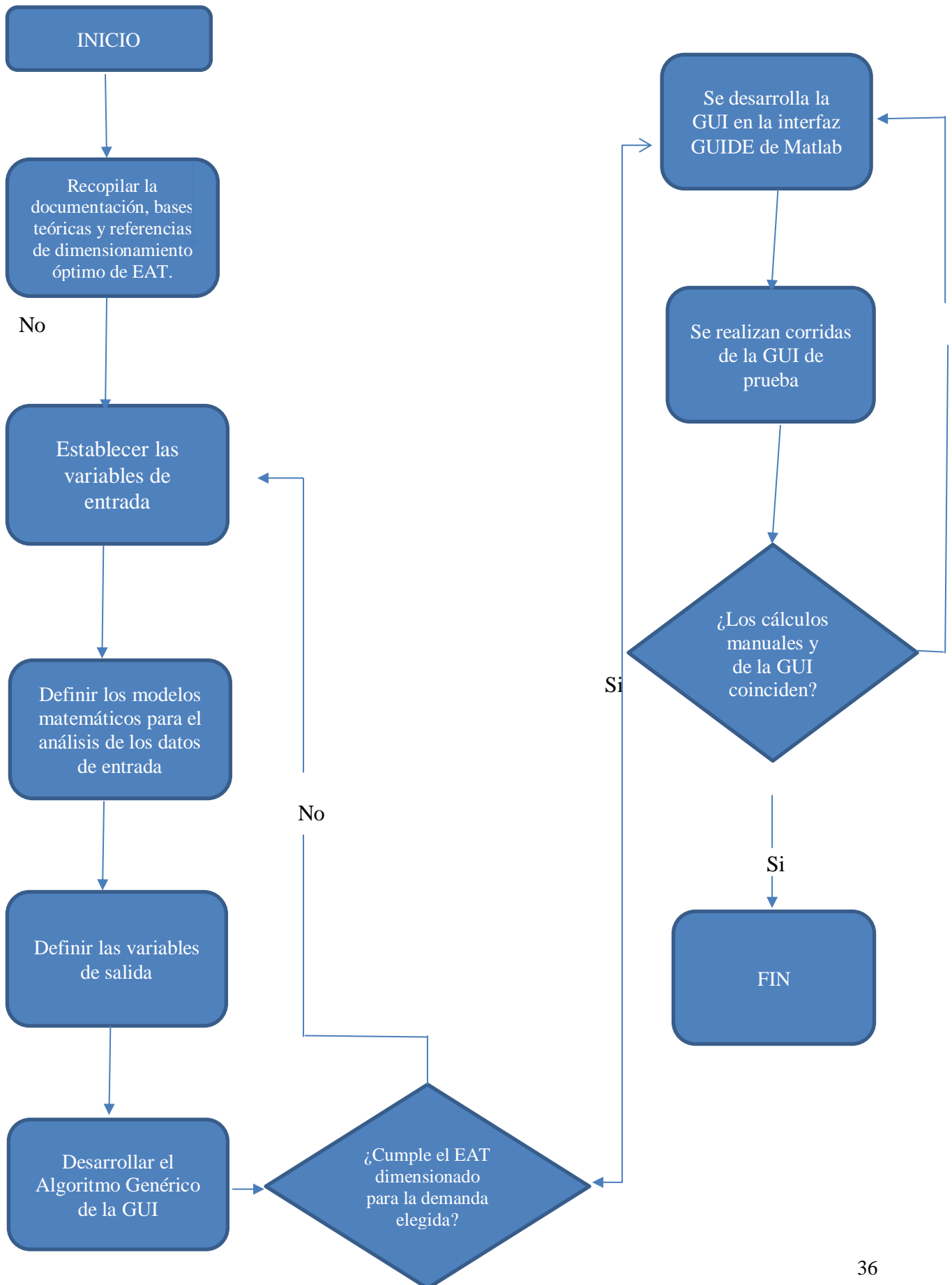
## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Enfoque – Tipo – Diseño de Investigación – Método**

Tipo de investigación: Cuantitativa, porque contiene datos numéricos para la solución del problema; y es analítica, porque sugiere una interpretación a los cálculos en la investigación; También descriptiva, porque se muestra a detalle las conclusiones y metodologías en el proyecto.

Finalmente el método utilizado para el cálculo fue en mayor porcentaje por Rein (Rein, 2007), que sigue una serie de peldaños o pasos con en la Figura N° 11 que describe el diagrama de flujo.

Figura 11: Metodología de Trabajo para desarrollo de la GUI – Diagrama de Flujo



## 2.2 Población y Muestra

No aplicable para este tipo de investigación.

## 2.3 Variables y Operacionalización

### 2.3.1 Variables de definición del problema (Factores principales de la investigación):

- Propiedades del Combustible
- Geometría de la tubería
- Convección
- Aislante Térmico

### 2.3.2 Variables Entrada agrupadas por factores:

#### **Factor 01: Propiedades del Combustible:**

- Nombre del combustible
- Consumo de combustible anual [Ton/año]
- Poder calorífico [kJ/kg]
- Densidad del combustible [kg/m<sup>3</sup>]
- Costo volumétrico del combustible [Soles/litro]
- Temperatura vapor [°C]

#### **Factor 02: Geometría de la Tubería:**

- Radio Ext. [m]
- Radio Int. [m]
- Constante de conductividad térmica [W-m<sup>2</sup>K]
- Temperatura ambiente [°C]
- Largo Tubería [m]

#### **Factor 03: Convección:**

- Coeficiente de convección interno.
- Coeficiente de convección externo.
- Conductividad Térmica del Acero Inoxidable(W/(m·K))
- Densidad del vapor de agua(kg/m<sup>3</sup>)
- Temperatura de la tubería (°C)
- Viscosidad Dinámica (kg/m\*s)
- Área lateral del Tubo (m<sup>2</sup>)
- Temperatura Exterior Promedio (C°)

- Velocidad del vapor de agua (m/s)
- Número de prandtl de vapor saturado
- Conductividad térmica del vapor de agua (W/m.K)
- Conductividad térmica del aire (W/m.K)
- Velocidad del viento (m/s)
- Viscosidad Cinemática del aire (m<sup>2</sup>/s)
- Número de prandtl del aire
- Transmitancia Térmica Global (m<sup>2</sup>K/W)

**Factor 04: Aislante Térmico:**

- Material del Aislante
- Conductividad Térmica del Aislante (Lana de Vidrio W/mK)
- Coeficiente de convección del aire (h)
- Costo volumétrico

**2.3.3 Variables Salida:**

- Resistividad térmica por convección del vapor de agua (m.K/W)
- Resistividad térmica por conducción del acero (m.K/W)
- Resistividad térmica por conducción del aislante (m.K/W)
- Resistividad térmica por convección del aire (m.K/W)
- Resistividad total sin aislante (sin considerar la longitud)
- Resistividad total con aislante (sin considerar la longitud)
- Perdida de transferencia de calor por longitud sin aislante
- Perdida de transferencia de calor por longitud con aislante
- Costo de lana de vidrio por m<sup>2</sup>
- Ahorro de energía W/m
- Costo de montaje
- Costo de mantenimiento

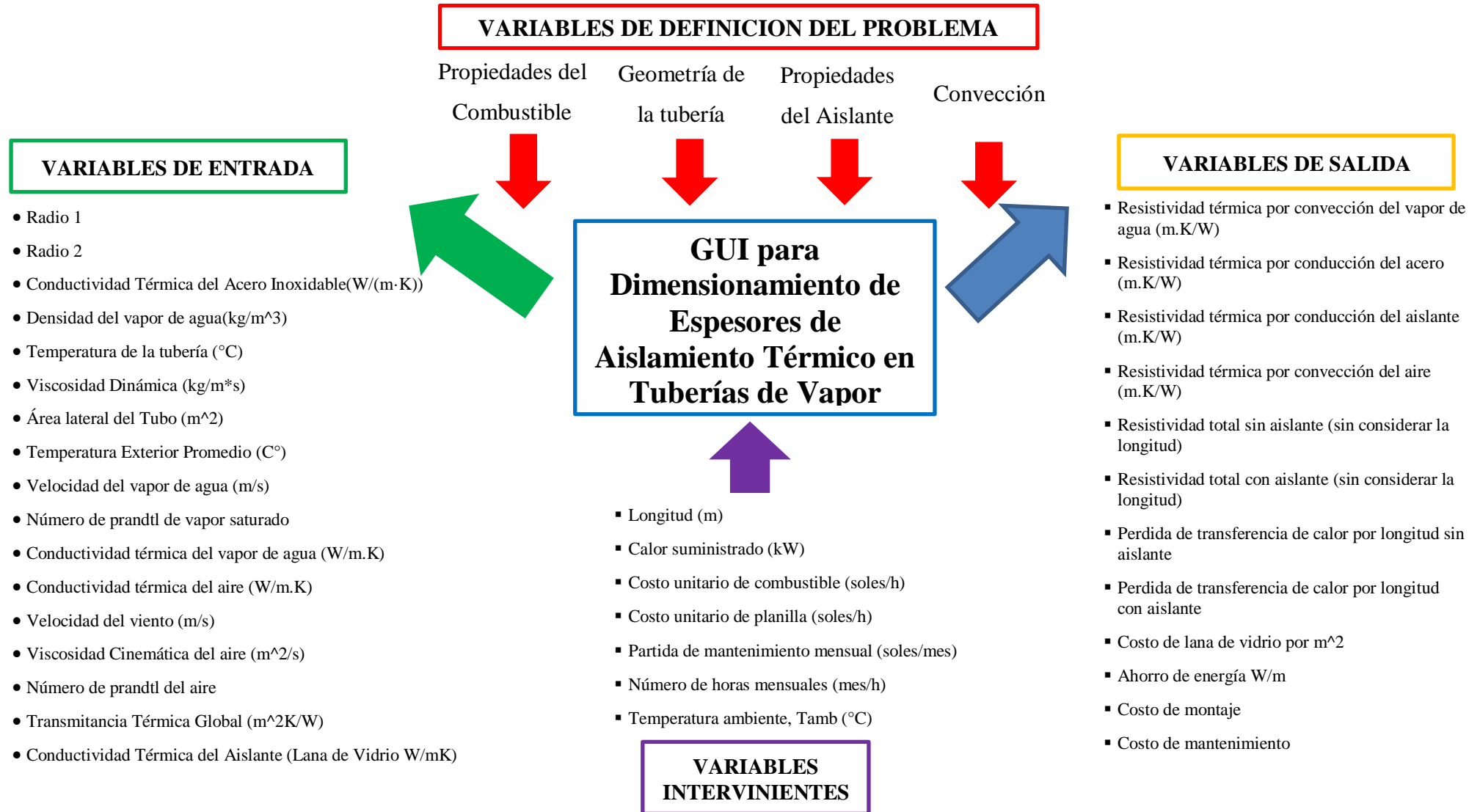
**2.3.4 Variables Manipulables:**

- Longitud(m)
- Calor suministrado (kW)
- Costo unitario de Combustible (soles/h)
- Costo Unitaria de Planilla (soles/h)
- Partida de Mantenimiento Mensual (soles/mes)

- Número de Horas Mensuales (mes/h)
- Temperatura ambiente,  $T_{amb}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.3.5 Caja negra para variables:

Figura 12: Caja Negra para GUI de calificación.





Fuente: Elaboración propia

### 2.3.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de Variables GUI

Factor	Definición	Variables	Escala
Propiedades del Combustible	Dentro de su principio de funcionamiento necesita de oxígeno para poder generar calor.	• Nombre del combustible	Adimensional
		• Consumo de combustible anual	[Ton/año]
		• Poder calorífico	[kJ/kg]
		• Densidad del combustible	[kg/m <sup>3</sup> ]
		• Costo volumétrico del combustible	[Soles/litro]
Geometría de la Tubería	Conjunto de parámetros específicos que caracterizan a las tuberías.	• Temperatura vapor	[°C]
		• Radio Ext.	[m]
		• Radio Int.	[m]
		• Constante de conductividad térmica	[W-m <sup>2</sup> K]
		• Temperatura ambiente	[°C]
Convección	La transmisión de energía térmica en un fluido mediante el movimiento del propio fluido.	• Largo Tubería	[m]
		• Coeficiente de convección interno.	[W/m <sup>2</sup> -K]
		• Coeficiente de convección externo.	[W/m <sup>2</sup> -K]
		• Conductividad Térmica del Acero Inoxidable	[W/(m·K)]
		• Densidad del vapor de agua	[kg/m <sup>3</sup> ]

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura de la tubería [°C]</li> <li>• Viscosidad Dinámica [kg/m*s]</li> <li>• Área lateral del Tubo [m^2]</li> <li>• Temperatura Exterior Promedio [C°]</li> <li>• Velocidad del vapor de agua [m/s]</li> <li>• Número de prandtl de vapor saturado Adimensional</li> <li>• Conductividad térmica del vapor de agua [W/m.K]</li> <li>• Conductividad térmica del aire [W/m.K]</li> <li>• Velocidad del viento [m/s]</li> <li>• Viscosidad Cinemática del aire [m^2/s]</li> <li>• Número de prandtl del aire Adimensional</li> <li>• Transmitancia Térmica Global [m^2K/W]</li> </ul>
Aislante Térmico	<p>Consiste en la resistencia que ofrece al paso de calor a través del fluido de trabajo, además cada material contiene diferentes propiedades térmicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material del Aislante Adimensional</li> <li>• Conductividad Térmica del Aislante (W/mK)</li> <li>• Coeficiente de convección del aire (h)</li> <li>• Costo volumétrico Soles</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia



## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1 Técnicas de recolección de datos**

A continuación, se mostrarán las técnicas utilizadas para la recopilación de datos de alta calidad y poder desarrollar el proyecto de tesis.

#### ***2.4.1.1 Observación***

Es el principio fundamental dentro de cualquier investigación porque despierta la curiosidad del investigador, y es la más antigua para los descubrimientos hasta la fecha, debemos recalcar que permite contemplar todo el proceso necesario de la necesidad de entender la situación.

#### ***2.4.1.2 Consultas a Profesionales***

Se desarrollará consultas a profesionales expertos en el problema con el objetivo de seleccionar una adecuada y cuidadosa bibliografía.

#### ***2.4.1.3 Información bibliográfica***

Son todas las referencias necesarias para poder desarrollar el proyecto de tesis, y contempla los conceptos, metodologías, ecuaciones, cálculo para la solución del problema planteado, la recolección de toda esta información es a través de material electrónico educativo o investigativo con la calidad de información necesaria.

#### ***2.4.1.4 Análisis de documentos***

Se utiliza para una mejor selección de información, teniendo en cuenta la confiabilidad del documento de investigación y el tiempo no tan antiguo necesario para mejores resultados.

*Tabla 3: Instrumentos de Recolección de Datos.*

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Validez</b>
Observación	Cámara fotográfica	Especialista
Consultas	Anotaciones	Especialista
Información Bibliográfica	Internet, libros	Especialista
Análisis de datos	Matlab	Especialista

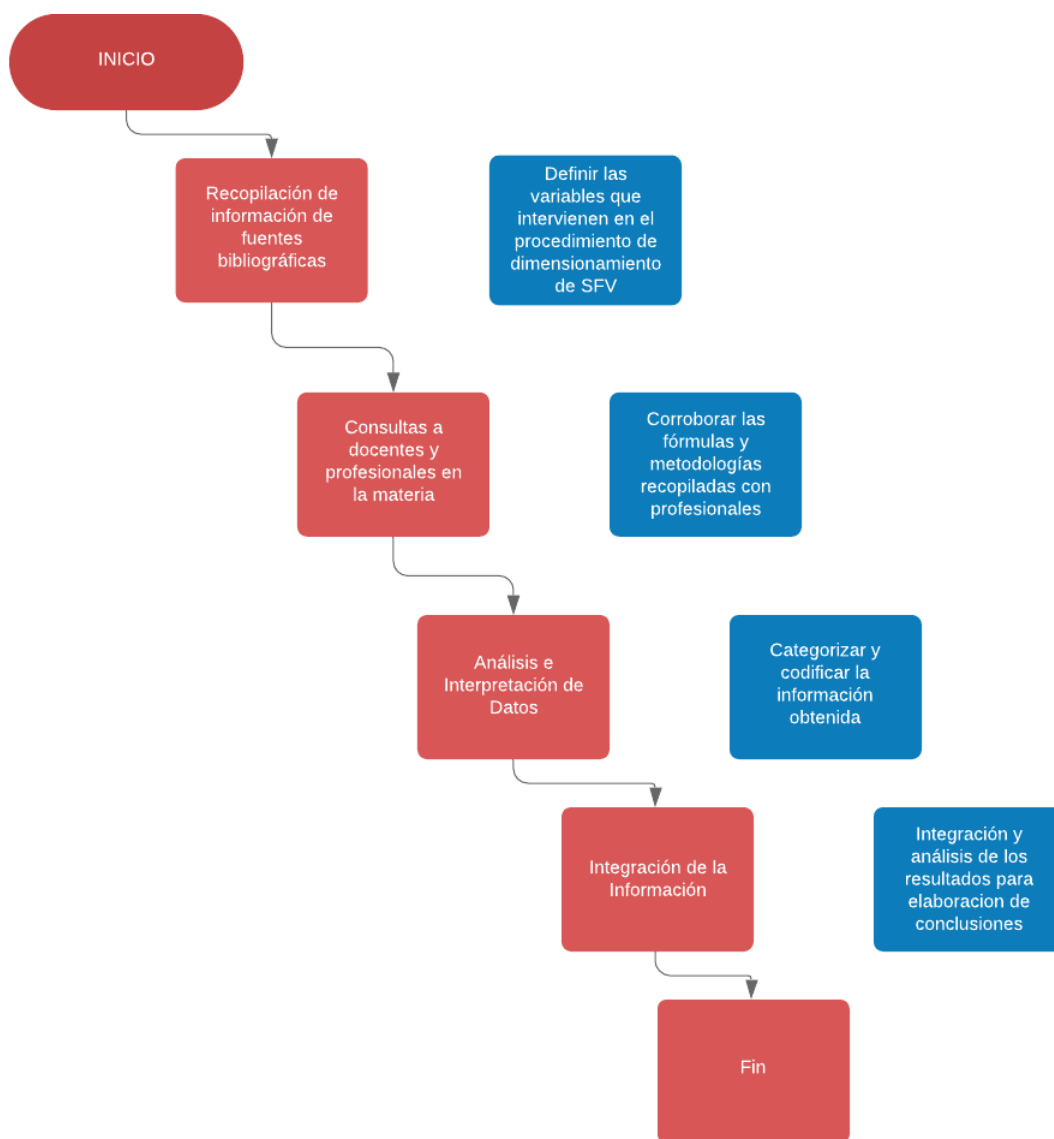
Fuente: Propia

#### **2.4.2 Validación y confiabilidad**

Estos términos para la recolección de datos serán validadas por un erudito experimentado de investigaciones y con titulación universitaria que lo avale.

## 2.5 Procedimiento de análisis de datos

Figura 13: Desarrollo de actividades para el cumplimiento de la investigación



Fuente: Propia

## 2.6 Criterios éticos

Se consideran los criterios del órgano institucional del Colegio de ingenieros y los apartados de éticas de la universidad donde se realiza la investigación.

## 2.7 Criterios de Rigor Científico

A continuación, se brindan los requisitos necesarios para obtener resultados de investigación de calidad y confiabilidad:

- **Fiabilidad:** La investigación se presenta como confiable porque optan con las metodologías probadas para la ejecución de los datos.
- **Validez:** Se interpreta como la validación de información necesaria para un óptimo desarrollo de los resultados para una diferenciación de puntos a favor y en contra, obteniendo la verificación de las investigaciones.
- **Credibilidad:** En pocas palabras es la confianza y respeto de la autenticidad de la información recolectada, y compara los resultados de otros investigadores para un debate de una mejor solución del problema planteado.

### **3 RESULTADOS**



### 3.1 Diseño de la GUI mediante la herramienta GUIDE de Matlab

#### 3.1.1 Herramienta GUIDE

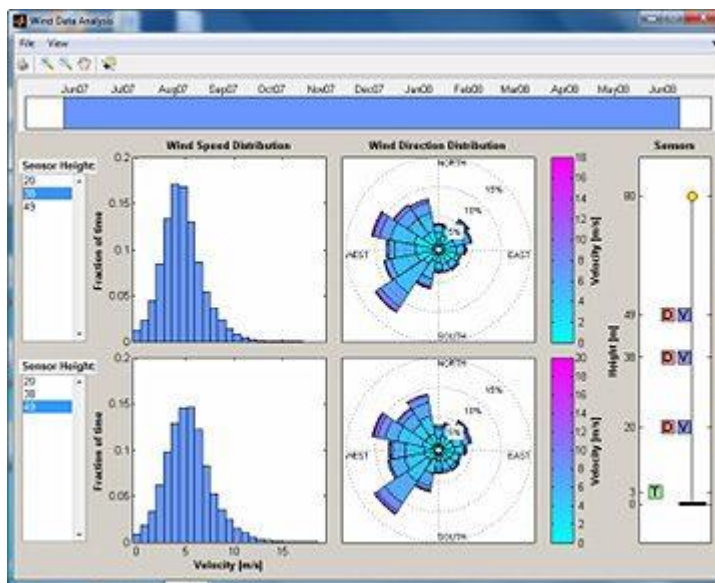
Para el desarrollo de la GUI de manera adecuada se ha elegido un software académico Matlab el tipo de archivo utilizado es “.m”, por ser una configuración amigable con el usuario. Con este software se desarrollará la GUI mediante una extensión denominada GUIDE, este permite la creación de entornos gráficos llamados “Guides” que facilitan al usuario el ingreso de datos, la programación de imágenes, tablas y celdas de inserción de valores como muestra para que en su posterioridad los resultados puedan ser analizados. Para la explicación del funcionamiento de esta herramienta se detalla a continuación:

La aplicación del GUI hace al usuario que tenga el control de la plataforma del software, sin la complicación de utilizar un lenguaje de programación complicada, generando al usuario un fácil y rápido manejo del sistema.

#### Creación de una GUI de MATLAB de forma programática

Para la ejecución del GUI fue necesario hacer la programación correspondiente mediante MATLAB para un sistema de control y diseño de los procesos térmicos, obteniendo resultados esperados para el fácil manejo de la interfaz. (MathWorks. Inc, 2021)

Figura 14: Pantalla de editor GUIDE en MATLAB



Fuente: MathWorks. Inc.

### **3.1.2 Diseño y Construcción de GUI asistente para el dimensionamiento de Espesores**

Es importante tener las consideraciones para su elaboración, como el tipo de usuario que trabajará con ella, objetivo de la interfaz, cómo ejecutar de forma interactiva con el usuario para un fácil manejo.

Lo que se quiere conseguir es que el sistema ejecute procedimientos válidos de cálculo, para el análisis de espesores térmicos en el proceso de transferencia de calor. El usuario final para la ejecución de esta interfaz va preferiblemente para profesionales con un perfil de ingeniería o cualquier personal técnico.

Es importante considerar en un primer momento las variables que se digitalizaran para la simulación necesaria que necesita el usuario, y poder conseguir los cálculos de los términos requeridos.

Uno de los puntos importantes para la interfaz gráfica es el diseño gráfico del sistema y colocar los datos para el desarrollo del proceso deseado a través del GUIDE de MATLAB.

## **3.2 Listado de Fórmulas Utilizadas**

Se detallara todas las fórmulas necesarias dentro de la interfaz gráfica para la configuración de los espesores térmicos.

### **3.2.1 Modelo matemático de pérdida de calor para tubería con aislante completo.**

En el primer procedimiento de comenzar con el análisis de aislamiento de una sola capa de materiales comerciales, generando una optimización del costo anual del aislante térmico, a continuación, se mostrara el primer modelo para obtener las pérdidas de calor en tuberías. El detalle completo de este modelo se encuentra en el anexo 3. Como resultado de este modelamiento obtenemos las siguientes formulas:

Ecuación 16: Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante

$$q_{ln} = \frac{Q}{L} = \frac{T_{v,\infty} - T_{s1}}{\frac{1}{h_v(2\pi r_1)}} = \frac{T_{s1} - T_{int}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{acero}}} = \frac{T_{int} - T_{s2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{aisl}}} = \frac{T_{s2} - T_{a,\infty}}{\frac{1}{h_a(2\pi r_3)}} = \frac{T_{v,\infty} - T_{a,\infty}}{R_{t,eqn}}$$

Ecuación 17: Resistencia térmica equivalente por unidad de longitud de tubería con Aislante nuevo (K/W)

$$R_{t,eqn} = \frac{1}{h_v(2\pi r_1)} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{acero}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{aisl}} + \frac{1}{h_a(2\pi r_3)}$$

Donde:

$q_{ln}$  : Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante nuevo (W/m)

$R_{t,eqn}$  : Resistencia térmica equivalente por unidad de longitud de tubería con Aislante nuevo (K/W)

$r_1$  : Radio interno de la tubería (m)

$r_2$  : Radio externo de la tubería (m)

$r_3$  : Radio externo del aislante (m)

$T_{v,\infty}$  : Temperatura del vapor de agua (°C)

$T_{s1}$  : Temperatura de la superficie interna de la tubería (°C)

$T_{int}$  : Temperatura de interface entre la tubería y el aislante (°C)

$T_{s2}$  : Temperatura superficie del aislante (°C)

$T_{a,\infty}$  : Temperatura del aire circundante (°C)

$h_v$  : Coeficiente de convección del vapor (W/m<sup>2</sup>.K)

$k_{acero}$  : Conductividad térmica de la tubería de acero (W/m.K)

$k_{aisl}$  : Conductividad térmica del aislante (W/m.K)

$h_a$  : Coeficiente de convección del aire (W/m<sup>2</sup>.K)

$R_v$  : Resistencia térmica por convección del vapor de agua (m.K/W )

$R_{acero}$  : Resistencia térmica por conducción del acero (m.K/W)

$R_{aisl}$  : Resistencia térmica por conducción del acero del aislante (m.K/W)

$R_a$  : Resistencia térmica por convección del aire (m.K/W)

$\bar{Q}$  : Flujo de calor por unidad de longitud (W/l)

### 3.2.2 CÁLCULO DEL COSTO DE LA UNIDAD DE CALOR

#### Cálculo de producción

El tonelaje de producción ( $T_{bag}$ ) obtenido es:

*Ecuación 18: Tonelaje de producción*

$$T_{ba} = 0.30 * T_{proc}$$

#### Determinación del flujo de calor suministrado ( $q$ )

El calor suministrado viene dado por:

*Ecuación 19: Calor suministrado*

$$Q = \dot{m}_B \times PC_B$$

Donde:

$Q$  : Calor suministrado (MJ)

$\dot{m}_B$  : Consumo horario (Ton/h)

$PC_B$  : Poder calorífico (kJ/hg)

#### Costo unitario de combustible ( $C_{comb}$ )

Para calcular el costo unitario del combustible se usa las equivalencias entre consumo y costo de combustible.

*Ecuación 20: Costo unitario del combustible*

$$C_{comb} = \dot{m}_{bag} EQ_1 EQ_2$$

#### Cálculo del costo normalizado del combustible ( $\bar{c}_{comb}$ )

Finalmente, el costo de la unidad de calor se calcula mediante:

*Ecuación 21: Costo de la unidad de calor*

$$\bar{c}_{comb} = \frac{C_{comb}}{Q}$$

#### Costo de unitario de planilla ( $C_{planilla}$ )

Esto permite el cálculo del costo de la planilla de operarios mediante la formula

*Ecuación 22: Costo total unitario de la planilla de operarios*

$$C_{\text{planilla}} = N \cdot S_{\text{prom}} \cdot H$$

Donde:

$C_{\text{plani}}$  : Costo total unitario de la planilla de operarios (Soles/h)

$N$  : Número de operarios

$S_p$  : Salario promedio mensual (Soles/mes)

$H$  : Número de horas mensuales (h)

Costo unitario de mantenimiento ( $c_{\text{mantto}}$ )

Se sabe que el costo de mantenimiento depende de los materiales que se adquieren en función de las características de la instalación y del historial de reparación. Expresándolo en costo unitario usamos la fórmula:

*Ecuación 23: Costo unitario de mantenimiento*

$$C_{\text{mantto}} = P_{\text{mantto}} \cdot TC \cdot H$$

Donde:

$C_{\text{mantto}}$ : Costo unitario de mantenimiento (Soles/h)

$P_{\text{mantto}}$ : Partida de mantenimiento mensual (dólares/mes)

$TC$  : Tipo de cambio a la fecha (soles/dólar)

$H$  : Número de horas mensuales (h)

Costo unitario total de la unidad de calor ( $c_{\text{calor}}$ )

Sin considerar el costo de capital; se tiene

*Ecuación 24: Costo unitario total de la unidad de calor*

$$C_{\text{calo}} = C_{\text{comb}} + C_{\text{planilla}} + C_{\text{mantto}}$$

Costo unitario total normalizado de la unidad de calor ( $C_h$ )

Se calcula mediante la fórmula:

*Ecuación 25: Costo unitario total normalizado de la unidad de calor ( $C_h$ )*

$$C_h = \frac{C_{calor}}{Q} \quad (26)$$

Costo de capital ( $ccap$ )

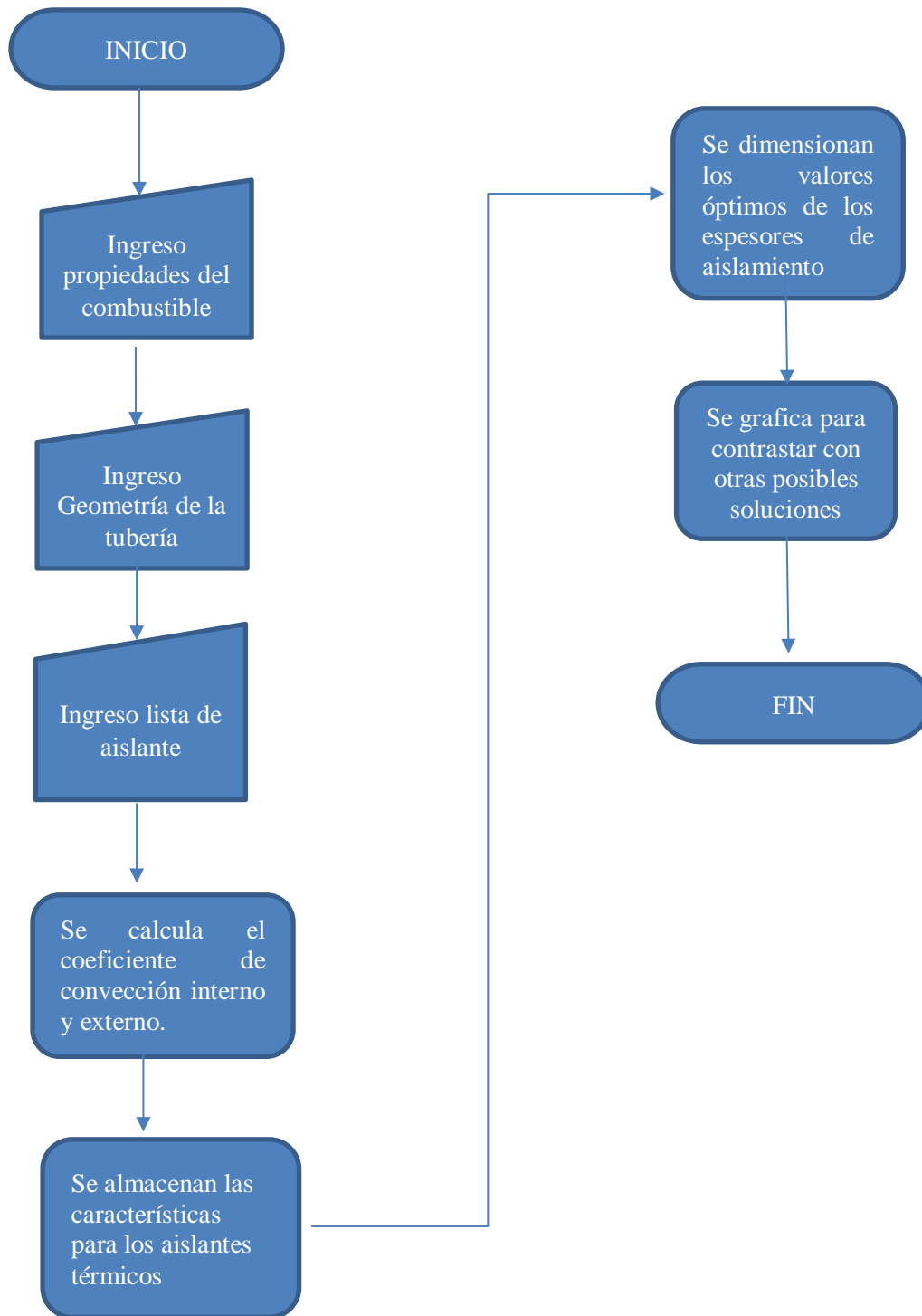
Este dato se calcula en base a la inversión del equipo y/ materiales (aislamiento, por ejemplo) al valor actual del mercado de la instalación, considerando una vida útil de 20 años y una tasa de interés del 18 %.

### **3.3 Desarrollo de entorno virtual con la GUI**

Con el proyecto de tesis se quiere conseguir desarrollar una interfaz gráfica GUI para la aplicación de casos en la selección de espesores de aislamiento térmico y muestre resultados óptimos en casos generales con la ayuda de MATLAB.

La Figura 15 muestra el diagrama de flujo de las ventanas que se irán mostrando hasta llegar a determinar el espesor adecuado de selección para el aislamiento de tuberías de vapor.

Figura 15: Diagrama general de funcionamiento de la GUI para dimensionamiento de EAT



Fuente: Propia

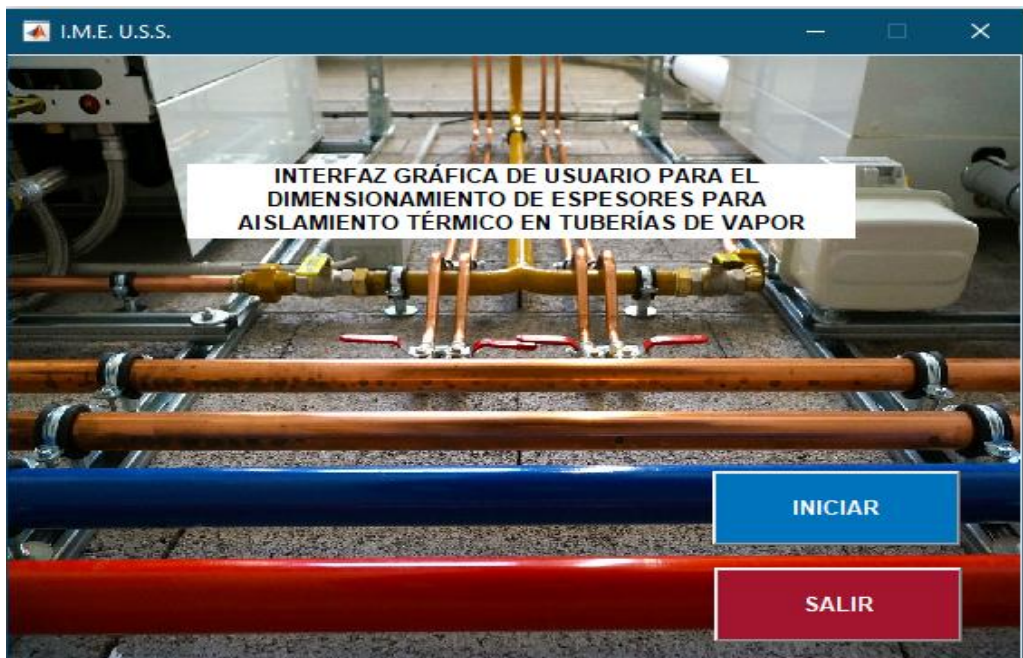


### 3.3.1 Algoritmos para cada Ventana de GUI

Se trabajará de acuerdo a ventanas o pasos dentro del sistema GUI:

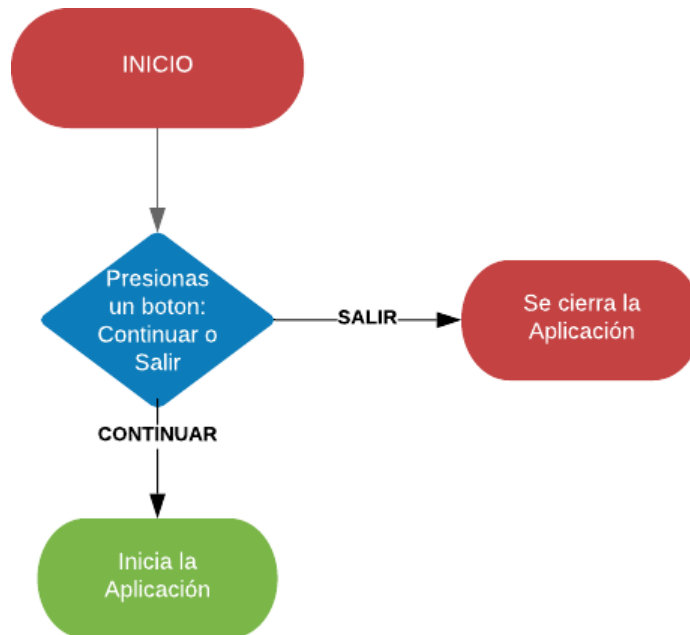
- **Portada:** Se puede decir que es como se presenta la interfaz, detallando la aplicación de esta como el dimensionamiento de espesores para aislamiento térmico en tubería de vapor” y otorga el comienzo y salida en el sistema del software, como se muestra a continuación:

*Figura 16: Portada de GUI asistente para el dimensionamiento de EAT*



Fuente: Propia

Figura 17: Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT



Fuente: Propia.

- **Ingreso de datos:** es la ventana inicial de la GUI, en esta el usuario ingresa los valores que definen los datos correspondientes a los factores del problema: Datos (Propiedades) del combustible y geometría de la tubería, además se muestran los Aislante y Convección el detalle de los datos a ingresar es:

**Propiedades del combustible:**

- Nombre del combustible: En esta celda deberán ingresar la denominación del combustible. Este parámetro no interviene en el cálculo final, sin embargo sirve de registro si fuera necesario archivar la información que se va ingresando.
- Consumo de combustible anual [Ton/año]: Es la cantidad aproximada de combustible que se requiere para la producción de vapor. Este dato si influye directamente en la ecuación final y debe de ser recogido a través del histórico de demanda de la empresa.
- Poder calorífico [kJ/kg]: Propiedad propia del combustible. Puede ser obtenido de tablas comerciales de combustible.
- Densidad del combustible [kg/m3]: Propiedad propia del combustible. Puede

ser obtenido de tablas comerciales de combustible.

- Costo volumétrico del combustible [Soles/litro]: Este parámetro está referido al valor monetario del combustible en mención, que puede ser determinado tomando en cuenta el precio nacional o internacional. Si fuera el caso de un biocombustible sólido asignarle un valor de almacenamiento y mantenimiento.
- Temperatura vapor [°C]: Temperatura asignada por el usuario o cliente, en función a la necesidad de producción.

### **Geometría de la tubería**

- Radio Ext. [m]: Comprende la dimensión externa de la tubería. Puede ser obtenida también a partir del espesor de la tubería.
- Radio Int. [m]: Corresponde a la dimensión del radio interno de la tubería. Puede ser medido o tomado de la descripción de fábrica.
- Constante de conductividad térmica [W-m2K]: Depende del material de la tubería.
- Temperatura ambiente [°C]: Temperatura del medio en el que se analizará el aislamiento térmico.
- Largo Tubería [m]: Descripción del tamaño de la tubería o dimensiones totales de las tuberías conectadas.

### **Convección:**

- Coeficiente de convección interno: cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección que ocurre dentro de la tubería. Puede ser calculado analíticamente.
- Coeficiente de convección externo. cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección que por fuera de la tubería. Puede ser calculado analíticamente, sin embargo se debe tener en cuenta que el diámetro externo cambia conforme se le agrega material de aislamiento.

### **Aislante:**

- Lista de aislante: Muestra los aislamientos más comunes usados en la industria. Podría agregarse material nuevo si fuera necesario.

La configuración gráfica de la ventana se presenta en la Figura 18

Figura 18: Ventana 1 de GUI asistente para el dimensionamiento de EAT

Fuente Propia

- **Datos del caso de Estudio:** En el subtítulo “Datos del Caso de Estudio” de la Figura 18, los valores relacionados al coeficiente de convección externo e interno respectivamente,  $h(ac-air)$  y  $h(ac-vap)$ , deben ser calculados a partir de habilitar la opción “Referencia”.

Es así, como aparecerá una nueva ventana #2 de GUI (Figura 19) en la cual les solicitará ingresar valores de cálculo para determinar el coeficiente de convección.

Esta ventana 2 consta de una parte de ingreso de datos, botones para proceder con el cálculo ventanas para mostrar los resultados.

Datos a ingresar en Ventana 2:

La GUI adjunta una Figura que sirve como referencia para ingresar datos.  
 Caudal [m3/s]: Está relacionado con el flujo másico que pasa dentro de la tubería.  
 Densidad [kg/m3]: Propia del fluido que ingresa por dentro de la tubería  
 Viscosidad Absoluta (N.s/m2): Propiedad del fluido. Puede obtener de la tabla que se muestra en la misma GUI.  
 Número de Prandt: Propiedad del flujo. Puede obtener de la tabla que se muestra en la misma GUI.  
 Constante de conductividad del fluido: Propiedad del fluido.

Después de haber llenado las celdas en blanco se debe activar el botón “Calcular y Guardar” a fin de generar los datos de salida (resultados de cálculo)

Datos de salida en Ventana 2

Velocidad Promedio: Propia del fluido en movimiento.

Reynolds: Parámetro adimensional que sirve para diferenciar el régimen de flujo. (Laminar o Turbulento)

Número Nusselt: Es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie, y puede ser obtenido de forma analítica

Coefficiente de convección (h-interno): Resultado final de la ventana 2

Finalmente se habilita la opción “siguiente”.

Figura 19: Ventana 2 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT.

Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P <sub>sat</sub> , kPa	Densidad, ρ kg/m <sup>3</sup>		Entalpia de vaporización, h <sub>fg</sub> , kJ/kg	Calor específico, c <sub>p</sub> , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-5</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>
110	143.27	950.5	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 <sup>-3</sup>	1.261 × 10 <sup>-5</sup>	1.58	1.00	0.798 × 10 <sup>-3</sup>
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 <sup>-3</sup>	1.296 × 10 <sup>-5</sup>	1.44	1.00	0.858 × 10 <sup>-3</sup>
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 <sup>-3</sup>	1.330 × 10 <sup>-5</sup>	1.33	1.01	0.913 × 10 <sup>-3</sup>
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 <sup>-3</sup>	1.365 × 10 <sup>-5</sup>	1.24	1.02	0.970 × 10 <sup>-3</sup>
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 <sup>-3</sup>	1.399 × 10 <sup>-5</sup>	1.16	1.02	1.025 × 10 <sup>-3</sup>
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 <sup>-3</sup>	1.434 × 10 <sup>-5</sup>	1.09	1.05	1.145 × 10 <sup>-3</sup>
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 <sup>-3</sup>	1.468 × 10 <sup>-5</sup>	1.03	1.05	1.178 × 10 <sup>-3</sup>
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 <sup>-3</sup>	1.502 × 10 <sup>-5</sup>	0.983	1.07	1.210 × 10 <sup>-3</sup>
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 450	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 <sup>-3</sup>	1.537 × 10 <sup>-5</sup>	0.947	1.09	1.280 × 10 <sup>-3</sup>
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 <sup>-3</sup>	1.571 × 10 <sup>-5</sup>	0.910	1.11	1.350 × 10 <sup>-3</sup>
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 <sup>-3</sup>	1.641 × 10 <sup>-5</sup>	0.865	1.15	1.570 × 10 <sup>-3</sup>
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 750	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 <sup>-3</sup>	1.712 × 10 <sup>-5</sup>	0.836	1.24	1.720 × 10 <sup>-3</sup>
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 <sup>-3</sup>	1.788 × 10 <sup>-5</sup>	0.832	1.35	2.000 × 10 <sup>-3</sup>
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 <sup>-3</sup>	1.870 × 10 <sup>-5</sup>	0.854	1.49	2.380 × 10 <sup>-3</sup>
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 <sup>-3</sup>	1.965 × 10 <sup>-5</sup>	0.902	1.69	2.950 × 10 <sup>-3</sup>
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 <sup>-3</sup>	2.084 × 10 <sup>-5</sup>	1.00	1.97	—
340	14 566	610.5	92.62	1 028	8 240	11 370	0.469	0.110	0.070 × 10 <sup>-3</sup>	2.255 × 10 <sup>-5</sup>	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	26 800	0.427	0.178	0.060 × 10 <sup>-3</sup>	2.571 × 10 <sup>-5</sup>	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 <sup>-3</sup>	4.313 × 10 <sup>-6</sup>	—	—	—

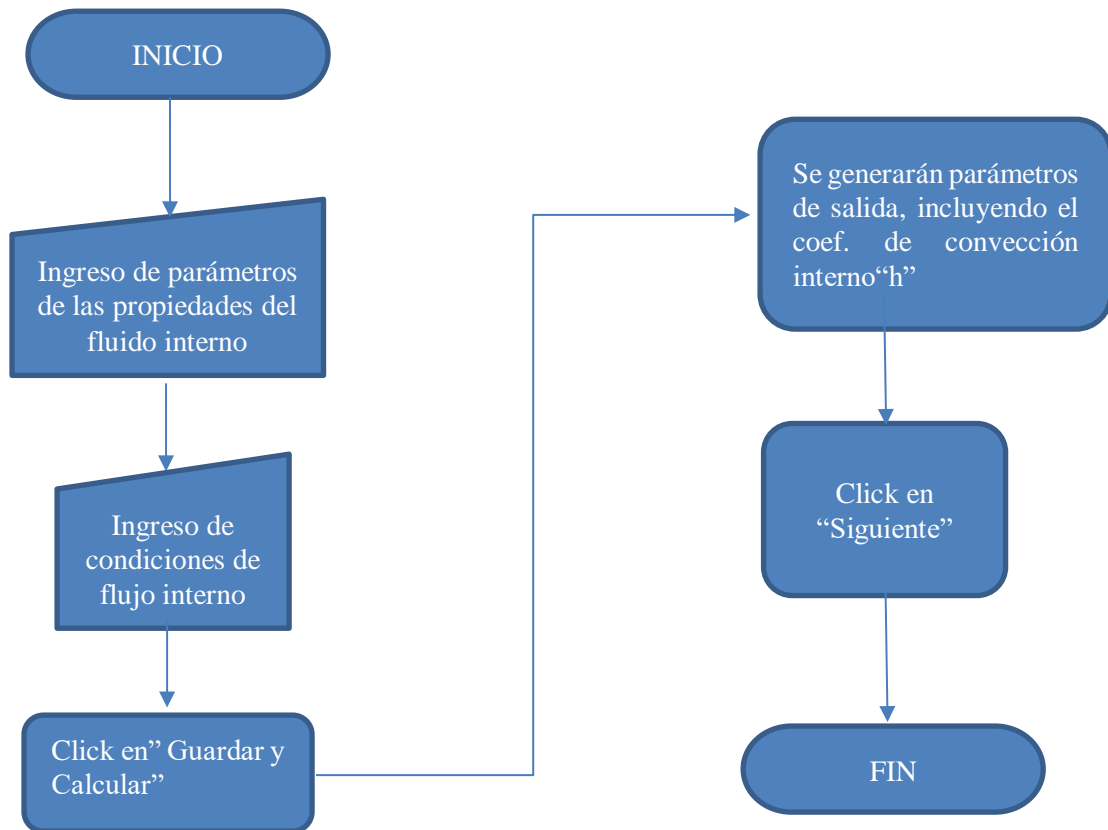
  

Caudal [ m3 / s ]	<input type="text"/>	K [ W / m · K ]	<input type="text"/>	N. Nusselt	<input type="text"/>	Calcular y Guardar
Densidad [ kg / m3 ]	<input type="text"/>	Vprom	<input type="text"/>	h vapor	<input type="text"/>	
Visc. Abs [ N · s / m6 ]	<input type="text"/>	Reynolds	<input type="text"/>			Siguiente
Número Prandtl	<input type="text"/>					

Fuente: Propia.

La Figura 20 muestra el procedimiento de uso.

Figura 20: Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2)



Fuente: Propia.

Después de haber utilizado el botón "Siguiente" de la Ventana 2, corresponde realizar el cálculo del coeficiente de convección externo. La Figura 21 muestra la ventana 3 que al igual que la ventana 2 muestra una tabla guía de apoyo para la digitación de ciertos parámetros como el Número de Prandtl y el coeficiente de conductividad.

Figura 21: Ventana 3 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT

**TABLA 28** Aire seco a presión atmosférica

Temperatura, T			Densidad, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de dilatación térmica, $\beta \times 10^3$ (1/K)	Calor específico, $c_p$ (J/kg K)	Conductividad térmica, k (W/m K)	Difusividad térmica, $\alpha \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Viscosidad absoluta, $\mu \times 10^5$ (N s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática, $\nu \times 10^4$ (m <sup>2</sup> /s)	Número de Prandtl, Pr	$\frac{g\beta}{\nu^2} \times 10^{-8}$ (1/K m <sup>3</sup> )
°F	K	°C	$\times 6.243 \times 10^{-2}$ = (lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> )	$\times 0.5556$ = (1/R)	$\times 2.388 \times 10^{-4}$ = (Btu/lb <sub>n</sub> °F)	$\times 0.5777$ = (Btu/h ft °F)	$\times 3.874 \times 10^4$ = (ft <sup>2</sup> /h)	$\times 0.6720$ = (lb <sub>m</sub> /ft s)	$\times 3.874 \times 10^4$ = (ft <sup>2</sup> /h)		$\times 1.573 \times 10^{-2}$ = (1/R ft <sup>3</sup> )
32	273	0	1.252	3.65	1011	0.0237	19.2	17.456	13.9	0.71	1.85
68	293	20	1.164	3.41	1012	0.0251	22.0	18.240	15.7	0.71	1.36
104	313	40	1.092	3.19	1014	0.0265	24.8	19.123	17.6	0.71	1.01
140	333	60	1.025	3.00	1017	0.0279	27.6	19.907	19.4	0.71	0.782
176	353	80	0.968	2.83	1019	0.0293	30.6	20.790	21.5	0.71	0.600
212	373	100	0.916	2.68	1022	0.0307	33.6	21.673	23.6	0.71	0.472
392	473	200	0.723	2.11	1035	0.0370	49.7	25.693	35.5	0.71	0.164
572	573	300	0.596	1.75	1047	0.0429	68.9	29.522	49.2	0.71	0.0709
752	673	400	0.508	1.49	1059	0.0485	89.4	32.754	64.5	0.72	0.0350
932	773	500	0.442	1.29	1075	0.0540	113.2	35.794	81.0	0.72	0.0193
1832	1273	1000	0.268	0.79	1139	0.0762	240	48.445	181	0.74	0.00236

Fuente: K. Raznjevič. *Handbook of Thermodynamic Tables and Charts*, McGraw-Hill, Nueva York, 1976.

Tmedia [ °C ]	184.5	Número de Grashof	N. Nusselt	
Factor [ g - CDT / $\nu^2$ ]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Calcular y Guardar
Número Prandtl	<input type="text"/>	Número de Rayleigh	h aire [ W / m <sup>2</sup> - K ]	Listo
Kaire [ W / m - K ]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Fuente: Propia.

Datos a ingresar en Ventana 3:

Temperatura Media [°C]: Temperatura promedio entre la temperatura de vapor y la temperatura del medio ambiente.

Número de Prandtl: Propiedad del flujo. Puede obtener de la tabla que se muestra en la misma GUI.

Constante de conductividad del fluido: Propiedad del aislamiento.

Después de haber llenado las celdas en blanco se debe se activa el botón “Calcular y Guardar” a fin de generar los datos de salida (resultados de cálculo)

Datos de salida en Ventana 2

Número de Grashof: Es un término que no tiene unidades o adimensional, para el cálculo de la relación las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido.

Número Rayleigh: También es un término que no tiene unidades o adimensional, relacionado a la transferencia de calor generado en el fluido. Contiene un rango mínimo y máximo, si se encuentra por debajo se considera transferencia por conducción y si está por encima se considera la

transferencia por convección.

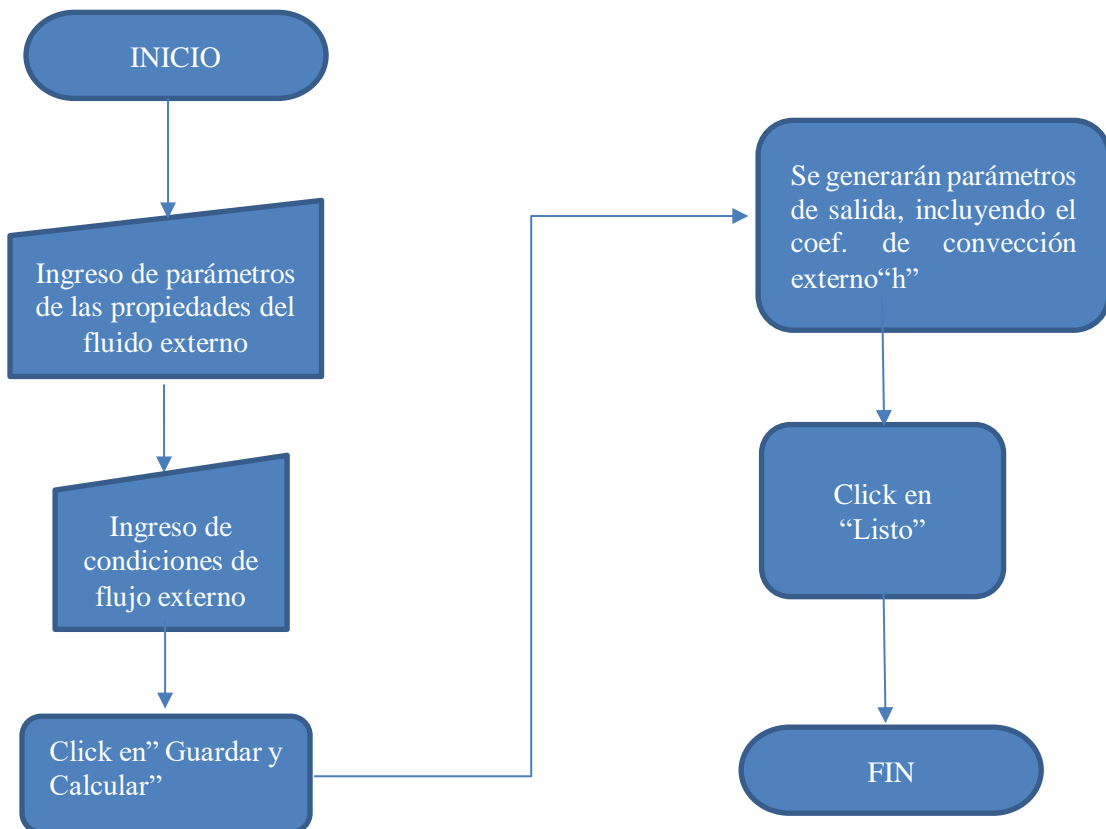
Numero de Nusselt.

Coefficiente de convección (h-externo): Resultado final de la ventana.

Finalmente se habilita la opción “Listo”.

La Figura 22 muestra el procedimiento de uso.

Figura 22: Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2)



Fuente: Propia.



- **Guide\_aislantes:** En el subtítulo “Lista de Aislantes” de la Figura 18, los parámetros como la constante de conductividad térmica para aislantes debe ser ingresado, por lo que al habilitar la opción de “Agregar”, emergerá la Ventana 4 titulada (Guide \_ aislante). En esta ventana es donde se ingresan los valores para el factor aislante. Conforme se vayan ingresando más materiales esta lista se guardará esa información y la almacenará para las próximas corridas.

Datos de Entrada:

**Material:** En esta celda deberán ingresar la denominación del material de aislamiento de análisis. Este parámetro no interviene en el cálculo final, sin embargo sirve de registro si fuera necesario archivar la información que se va ingresando.

**Constante de conducción térmica:** Propia del Material de aislamiento.

**Coefficiente de convección de aire:** El que fue generado en la Ventana 3.

**Costo Volumétrico:** Precio en el mercado del material aislante, sea propuesto por el fabricante u obtenido como valor calculado por la industria (almacenamiento y mantenimiento).

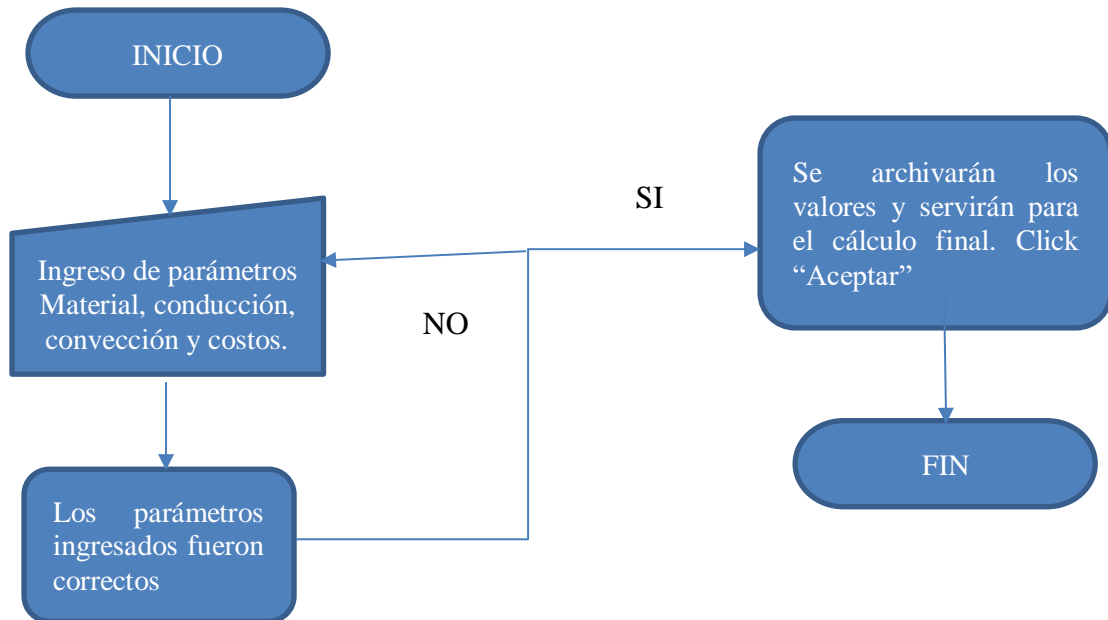
Figura 23: Ventana 4 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT

The image shows a software window titled "Guide\_aislantes". It contains four input fields for data entry, each with a label to its left. The labels are "MATERIAL", "Cond. Térm. ( k )", "Coef. Conv. Aire ( h )", and "Costo Volumétrico :". To the right of the input fields, there are two buttons: a blue button labeled "Aceptar" and a red button labeled "Cancelar". The window has a standard title bar with a close button (X) and a maximize button (square).

Fuente: Propia.

La Figura 24 muestra el procedimiento de uso.

Figura 24: Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2)



Fuente: Propia.

- **Guide\_02:** es la Quinta ventana de la GUI (Figura 25), en esta se muestran los resultados de los precálculos, flujos de calor consumido, costos de trabajo y las pérdidas sin aislamiento en la tubería. Esta ventana sólo muestra resultados como:

**Precálculos:**

Muestra el valor soles por litro de combustible

Los Litros por kilogramo de combustible en función de la densidad.

Flujo másico de la quema de combustible

Flujo de calor consumido:

Muestra la energía en forma de calor que está presente en el sistema de tuberías. Esta sección se muestra en Kilojoules por hora y Megajoules por hora, además, en kilowatt térmico y megawatt térmico.

Cálculo de Costos de Trabajo:

Combustible: Muestra el costo unitario por combustible por hora y el costo normalizado con respecto al kilowatt hora.

Unidad de calor: Muestra el costo generado por el calor por hora y el costo normalizado con respecto al kilowatt hora. Esto puede ser igual que el costo del combustible si no consideramos otros gastos que se hacen durante la producción.

Pérdidas Sin aislamiento en la Tubería (Referencia)

Muestra la resistencia térmica total debido a las constantes de transferencia de calor por convección y conductividad. Además muestra el calor total que se pierde si no hubiera aislamiento térmico por hora y por año, lo cual representa también una pérdida económica.

Figura 25: Ventana 5 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT

The screenshot shows a software window titled 'Guide\_02' with a dark blue header. The main content area is divided into several sections:

- CÁLCULOS INICIALES**
  - Precalculos**
    - EQ1: 4 [Sol / litro]
    - EQ2: 500 [litro / kg]
    - Flujo Másico: 2.62557 [kg / h]
  - Flujo de Calor Consumido [Q/t]**
    - 118.151 [kJ / h]
    - 0.118151 [MJ / h]
    - 0.0328196 [kWtérmico]
    - 3.28196e-05 [MWtérmico]
  - Calculo de Costos de Trabajo**
    - Combustible**
      - Costo Unitario: 5251.14 [Soles / h]
      - Costo Normalizado: 160000 [Soles / kWterm - h]
    - Unidad de Calor**
      - Costo Unitario: 5251.14 [Soles / h]
      - Costo Normalizado: 160000 [Soles / kWterm - h]
- Pérdidas Sin Aislamiento en la Tubería (Referencia)**

Rtermica S/A	Q perdido al ext	Pérdidas por hora	Pérdidas Anuales
0.000128233	-3.34546e+0	-33454.6	-5.35274e+0
[ m - K / W ]	[ W ]	[ kW ]	[ Soles / h ]

Continuar (blue button) and Retroceder (red button) are located at the bottom right of this section.

Fuente: Propia.

- **Guide\_03:** Finalmente, la última Ventana (Figura 26) de la GUI muestra los resultados obtenidos, como el espesor óptimo en función a los costos de instalación y pérdidas de calor.

En la Primera parte se debe seleccionar el tipo de aislante con el que será evaluado el espesor óptimo.

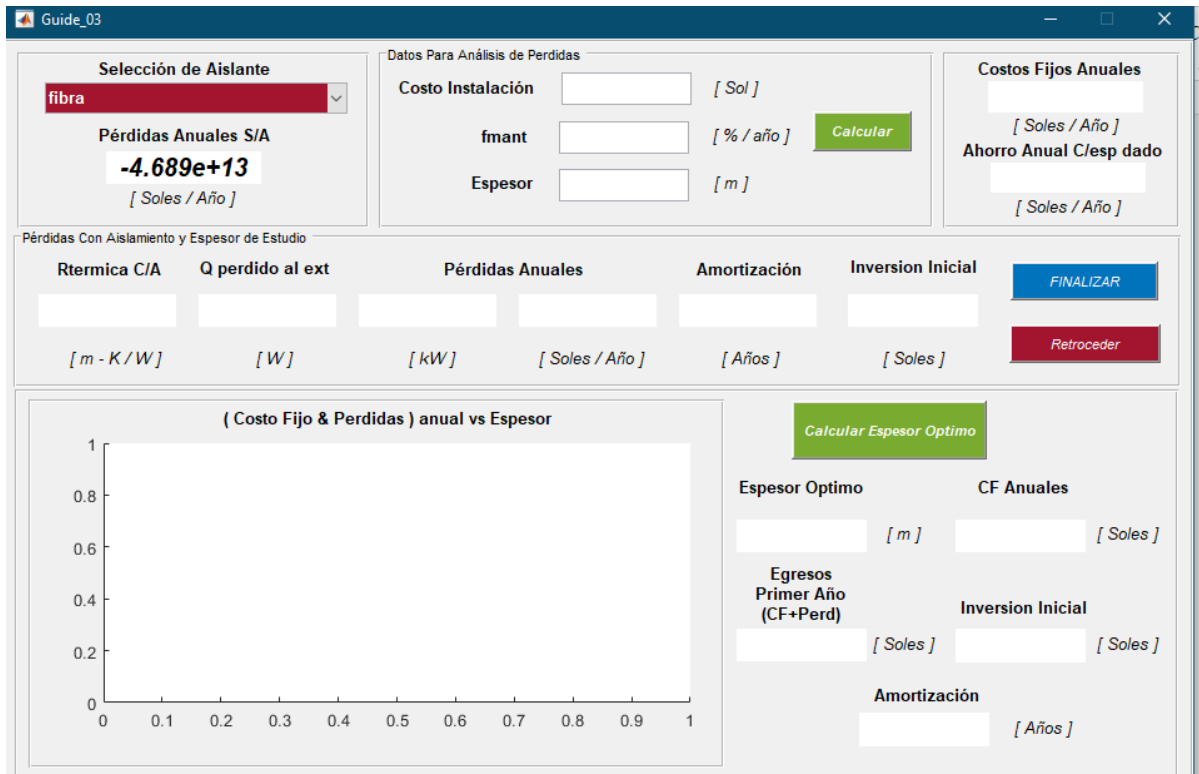
En la sección “Datos para Análisis de Pérdidas” se ingresarán valores de costos de instalación, los que generalmente se presentan de forma aproximada a menos que ya se cuenten con los históricos de esta actividad. Por otro lado se contemplarán los costos de mantenimiento 2 veces por año, y se ingresará también un porcentaje referido al costo de instalación. Por último, se ingresa el valor del espesor comercial a fin de que el programa, presentado en el Anexo 3. Comience la iteración en la determinación del espesor óptimo, así habilitamos la opción “Calcular” para generar los resultados de forma sistemática.

Los costos fijos anuales se muestran así como el ahorro anual debido a la implementación del aislamiento.

En la Sección “Pérdidas con aislamiento y espesor de estudio”, muestran los parámetros de pérdida de calor que siguen presentes, sin embargo, serán las mínimas puesto que se está optimizando los costos, es así que el software hace un balance entre costos de instalación y costos por generación de energía a través de combustible. En esta sección, además permite retroceder si fuera el caso que algún dato ingresado estuviera equivocado o sino finalizamos el cálculo.

En la última sección, muestra una gráfica de costos de inversión vs costos de pérdidas a fin de encontrar un punto de equilibrio entre estos mostrando el espesor óptimo.

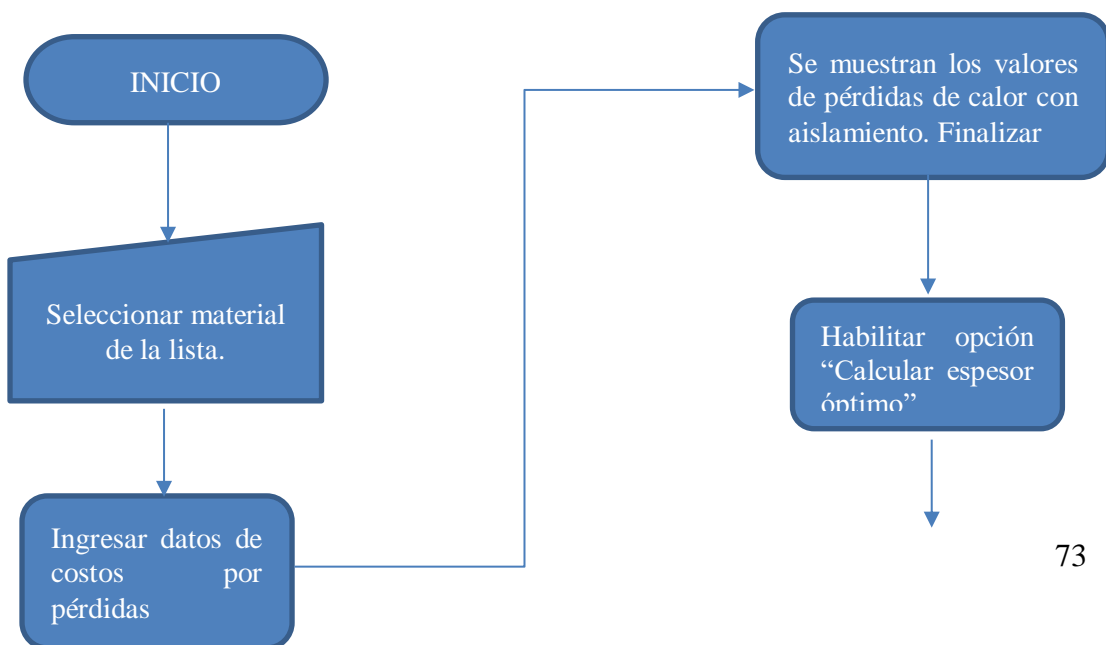
Figura 26: Ventana 5 de la GUI asistente para el dimensionamiento de EAT



Fuente: Propia.

La Figura 27 muestra el procedimiento de uso.

Figura 27: Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para obtener coeficiente de convección interna (Ventana 2)



Fuente: Propia.

La aplicación de este estudio se desarrollara para un trabajo real de investigación que se realizó en la empresa Agroindustrial Pucalá S.A.C. para el diseño de un sistema de aislamiento térmico en las tuberías de vapor .

Se aplicará el software desarrollado para calcular el espesor óptimo necesario para este dicho proyecto con la información que se usó a fin de comparar los resultados y verificarlos.

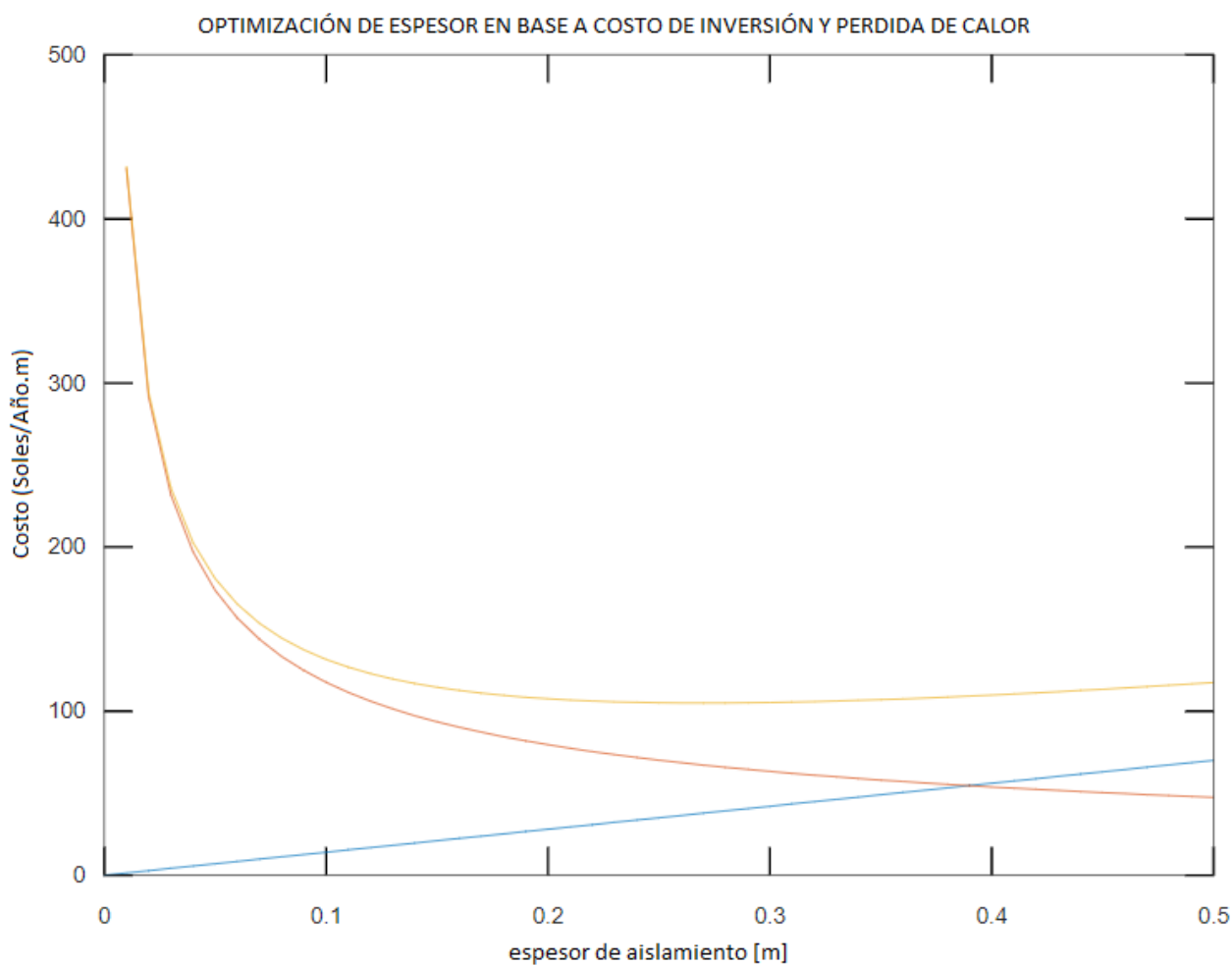
En este caso, tiene que satisfacerse un sistema:

*Tabla 4:Resultado del cálculo de espesores*

Parámetros de entrada	Valor
Longitud de la Tubería [m]	390.335
Toneladas de Bagazo [Ton]	1200
Poder calorífico inferior del bagazo [kJ/kg]	7130
Costo del galón de combustible [Soles/galón]	7
Conductividad Térmica Lana de Vidrio [W/m.°C]	0.044
Costo de la Lana de Vidrio en [Soles/m3]	132.59
Temperatura del Vapor [°C]	338
Conductividad Térmica del Acero	48.5
Temperatura del aire del ambiente [°C]	28.5
Diámetro exterior de tubería [m]	168.28
Diámetro interior de la tubería [m]	146.33

La Figura 28 muestra el resultado del cálculo de espesores. En el que se muestra la tendencia logarítmica de las pérdidas debido al flujo de calor, el que disminuye, conforme se aumenta el aislamiento y la gráfica de costos por inversión, la que aumenta conforme se aumenta la materia prima (aislamiento). Sumando estas dos variables económicas se puede determinar que en función a su minimización el espesor mínimo bordea los 0.2 m.

Figura 28: Optimización de espesor en base a costos de inversión y pérdida de calor



Una vez ingresados los datos de la Tablas 4 en las correspondientes GUI's se encontraron parámetros muy similares a los que fueron determinados en la investigación de referencia para la validación.

Tabla 5: Comparación de resultados

Denominación	GUI	Investigación Referencia	Error (%)
Coefficiente de convección de aire ( $W/m^2 K$ )	13.5	15	1
Coefficiente de convección de vapor ( $W/m^2 K$ )	435	500	1.3
Costo (Soles/Año.m)	125	157	2
Espesor (m)	0.225	0.2	1.1

## **4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El objetivo final de la GUI era el dimensionamiento del aislamiento térmico a través del cálculo de la generación de vapor, transferencia de calor y costos de inversión, dicho objetivo resultó satisfactorio pues la GUI en su ventana final luego de añadir valores finales representa gráficamente la curva de espesores vs costo necesarios para determinar el espesor óptimo.

Por otro lado, es relevante observar el bajo margen de error que presenta la GUI desarrollada con respecto a los parámetros finales, menores que 5%, Por otro lado, los valores tomadas de la bibliografía de referencia en los casos de coeficiente de convección interna y externa fueron propuestos como aproximados, es así que nuestros resultados se basan en el análisis físico y matemático por lo que son más exactos y son justamente estos valores que generan los costos y espesores óptimos.



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo eficiente de la GUI presentada anteriormente fue necesario identificar todas las variables y formulaciones matemáticas que influyen en el proceso de aislamiento térmico en tuberías de vapor, para ello se recurrió a información bibliográfica y realizar un revisión sistemática con las recomendaciones de diversos autores, esto como punto de partida para las consideraciones de diseño y características del proyecto.

Por otro lado la revisión bibliográfica, además, resultó en una compilación de ecuaciones matemáticas genéricas que propiciaron la facilidad de programación, dentro de estas ecuaciones se mostraron funciones de transferencia de calor por conductividad, además de las ecuaciones por convección forzada tanto para la sección interna de la tubería como para la parte externa.

Se determinó ventajosa la cualidad del programa en que el usuario pueda ingresar los datos correspondientes a las variables de combustible a quemar, pues esto le da libertad el usuario y le da mayor alcance a la aplicabilidad de la misma, a diferencia de GUI's de investigaciones anteriores, A diferencia de otras GUI's la del presente proyecto trabaja directamente con los parámetros comunes y cotidianos los que pueden encontrarse por histórico de la empresa o por medición real con instrumento, además considera la inversión del proyecto como el mantenimiento que podría realizarse haciendo un análisis más exacto y riguroso, por lo cual el dimensionamiento obtenido por este siempre será el más óptimo, posibilitando la factibilidad del proyecto.

Las gráfica obtenida en la ventana final referente a costos mínimos, el que a su vez genera el espesor óptimo permiten determinar al usuario qué otros arreglos y cercanos podrían ser más eficientes tomando en cuenta algunas otras variables, cumpliendo siempre con el rol de ser una herramienta asistente para el diseñador.

Se reconoce, además, que, debido a la facilidad de utilización, no se requieren conocimientos importantes con respecto al aislamiento térmico para la utilización de esta GUI, permitiendo a usuarios ajenos a la rama de ingeniería mecánica eléctrica tener una idea e incluso dimensionar satisfactoriamente el aislamiento térmico en tuberías de vapor.

Entre las recomendaciones que se plantean para futuras investigaciones están:

- Considerar un análisis más preciso de cálculo de costos de inversión y de recuperación dentro de la GUI.
- Contrastar la GUI con data real tomada de algún equipo de laboratorio, como los que se encuentran en el taller de ciencias térmicas.
- Optar por un análisis de espesores multicapa a fin de determinar dos o más espesores óptimos de aislamiento térmico.

## Referencias

- Alvarez Gallegos, A. S., & Estévez Cuenca, E. F. (2016). *DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS DE VENTILACIÓN Y CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EN EDIFICACIONES ESTÁNDAR MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16534/1/CD-7199.pdf>
- Aza Medina, L. C. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico : Propiedades y potencialidades* [UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA]. <http://hdl.handle.net/2117/88419>
- Bahadori, A., & Vuthaluru, H. B. (2010). A simple correlation for estimation of economic thickness of thermal insulation for process piping and equipment. *Applied Thermal Engineering*, 30(2–3), 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.08.010>
- Bai, Q., & Bai, Y. (2018). Heat Transfer and Thermal Insulation. In *Subsea Engineering Handbook* (2nd ed., pp. 363–408). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812622-6.00014-2>
- Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., & Lin, T. R. (2014). Pipeline Insulation. In *Offshore Pipelines Design, Installation, and Maintenance* (2nd ed., pp. 113–124). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-397949-0.00009-1>
- Hernández, G., Mediaceja, R., Alfonso, L., Héctor, L., Rodríguez, P., & Leyva, G. (2016). Procedimiento para la selección del espesor óptimo económico de aislamiento térmico en tuberías con trazas de vapor. *Minería y Geología*, 32(2), 21–36.
- JOSE P., MONTEAGUDO YANES, JOSE J. PEREZ LANDIN y, EDDY, & GUERRA FERNANDEZ. (1998). Aislamiento Termico De Tuberias Con Acompañamiento De Vapor. *INGENIERIA QUIMICA- UNIVERSIDAD DE CIEN FUEGOS, December*, 161–167. <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38384966/211018521-Aislamiento-de-Tuberias-Con-Traceado-de-Vapor.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1493418910&Signature=OqLXBCFF8LyUg81Yg35PsxX5dq0%3D&response-content-disposition=inline%3Bfi>
- Kruczek, T. (2013). Determination of annual heat losses from heat and steam pipeline networks and economic analysis of their thermomodernisation. *Energy*, 62, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.019>
- Martínez Valdés, O., & Arzola Ruiz, J. (2016). Selección óptima bajo criterios múltiples de materiales refractarios y aislantes para cazuelas metalúrgicas. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 32(4), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.08.001>

- Subirós Muñoz, D. (2009). “Desarrollo de una interfaz gráfica de usuario para el preprocesador meteorológico AERMET” [Instituto Superior Minero Metalúrgico].  
<http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3416/subiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, H., Duan, M., An, C., & Su, J. (2020). Investigation of thermal behavior of long-distance multilayer pipeline with MicroPCM particles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 153, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119605>
- Yin, H., Guo, H., Lin, Z., Xiao, W., & Duan, Z. (2018). Determining optimum insulation thickness by thermoeconomic analysis for a pipeline system in a subway central cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 136(2), 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.078>
- Zaki, G. M., & Al-Turki, A. . (2018). Optimization of multilayer thermal insulation for pipelines. *Heat Transfer Engineering*, 21(2), 63–70. <https://doi.org/10.1007/BF00823247>
- Zhang, L., Wang, Z., Yang, X., Jin, L., Zhang, Q., & Hu, W. (2017). Thermo-economic Analysis for Directly-buried Pipes Insulation of District Heating Piping Systems. *Energy Procedia*, 105, 3369–3376. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.759>

## **4. ANEXOS**

6.1. ANEXO I.- CÓDIGO DE ÉTICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ



## CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999

6.2. ANEXO II.- CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

## CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Versión: 03	Código: VRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal	Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS	