



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO PARA LA  
DETERMINACIÓN GRÁFICA DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL AISLAMIENTO  
DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE VAPOR DE LAS PLANTAS PILOTO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR  
FERNANDO GOLBERTH ALVÁN OCHOA  
CARLOS CACHIQUÉ PEÑA**

**ASESOR:**

**Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2019**



**UNAP**

Facultad de  
Ingeniería Química



**ACTA DE SUSTENTACIÓN**

En la ciudad de Iquitos, a las Diez Horas con Diez Minutos del vigésimo quinto día del mes de mayo del año dos mil diecinueve, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se dio inicio al acto público de sustentación de la tesis titulada: **“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO PARA LA DETERMINACIÓN GRÁFICA DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL AISLAMIENTO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE VAPOR DE LAS PLANTAS PILOTO”**, presentada por los bachilleres: FERNANDO GOLBERTH ALVÁN OCHOA y CARLOS CACHIQUE PEÑA, para obtener el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERO QUÍMICO que otorga la UNAP, de acuerdo a la Ley 30220 y el Estatuto General de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

El Jurado Calificador nombrado por la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química, está integrado por los siguientes profesionales:

Ing. OSWALDO MIRANDA GONZALES, Dr.	Presidente
Ing. JOSÉ MANUEL PERDIZ DÁVILA, MSc.	Miembro
Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA, MSc.	Miembro
 Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ	 Asesor

Luego de haber escuchado con mucha atención la exposición y formuladas las preguntas respectivas las que fueron respondidas en forma SATISFACTORIA, el Jurado Calificador -previa deliberación- llegó a las siguientes conclusiones:

La tesis ha sido: APROBADA Por: UNANIMIDAD

Con calificación de: BUENA

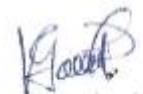
Siendo las ONCE HORAS CON DIEZ MINUTOS se dio por concluido el acto, felicitando a los sustentantes por sus exposición.

*Las observaciones se les hará llegar en hoja aparte.*

  
Ing. OSWALDO MIRANDA GONZALES, Dr.  
\*Presidente

  
Ing. JOSÉ MANUEL PERDIZ DÁVILA, MSc.  
Miembro

  
Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA, MSc.  
Miembro

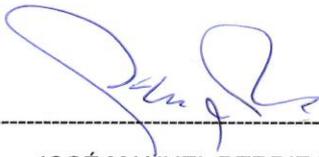
  
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ  
Asesor

## JURADOS Y ASESOR



---

Ing. OSWALDO MIRANDA GONZALES, Dr  
Presidente



---

Ing. JOSÉ MANUEL PERDIZ DÁVILA, Mtro.  
Miembro



---

Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA.  
Miembro



---

Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ. Mtro  
Asesor

# RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



TESIS RESUMEN PDF FER...

Uploaded: 04/02/2019

Checked: 04/02/2019

## Doc vs Internet + Library

94.7% Originality

5.3% Similarity

144 Sources

### Web sources: 144 sources found

1. <a href="https://es.slideshare.net/immortal2466/donald-kern">https://es.slideshare.net/immortal2466/donald-kern</a>	3.07%
2. <a href="https://michaelgovea.blogspot.com/2016/01/radio-critico-deaislamiento-al-agregar.html">https://michaelgovea.blogspot.com/2016/01/radio-critico-deaislamiento-al-agregar.html</a>	2.02%
3. <a href="https://finishlapdotcom.wordpress.com/marco-teorico">https://finishlapdotcom.wordpress.com/marco-teorico</a>	0.39%
4. <a href="http://ual.dyndns.org/Biblioteca/Costos_II/Pdf/Unidad_03.pdf">http://ual.dyndns.org/Biblioteca/Costos_II/Pdf/Unidad_03.pdf</a>	0.37%
5. <a href="https://grupobmarketingpbluis.blogspot.com/2009">https://grupobmarketingpbluis.blogspot.com/2009</a>	0.29%
6. <a href="https://empiezoinformatica.wordpress.com/category/office">https://empiezoinformatica.wordpress.com/category/office</a>	0.29%
7. <a href="https://empiezoinformatica.wordpress.com/tag/excel">https://empiezoinformatica.wordpress.com/tag/excel</a>	0.29%
8. <a href="https://empiezoinformatica.wordpress.com/category/office/excel">https://empiezoinformatica.wordpress.com/category/office/excel</a>	0.29%
9. <a href="https://empiezoinformatica.wordpress.com/author/carlosfmur1948">https://empiezoinformatica.wordpress.com/author/carlosfmur1948</a>	0.29%
10. <a href="https://www.buenastareas.com/materias/punto-de-equilibrio-bimbo/0">https://www.buenastareas.com/materias/punto-de-equilibrio-bimbo/0</a>	0.27%
11. <a href="https://html.rincondelvago.com/principios-economicos-basicos.html">https://html.rincondelvago.com/principios-economicos-basicos.html</a>	0.27%
12. <a href="https://es.slideshare.net/BADU3L/factores-que-intervienen-en-la-fijacion-de-precios-5539233">https://es.slideshare.net/BADU3L/factores-que-intervienen-en-la-fijacion-de-precios-5539233</a>	0.27%
13. <a href="https://es.slideshare.net/greenbhoy/la-linea-recta-9834768">https://es.slideshare.net/greenbhoy/la-linea-recta-9834768</a>	0.27%
14. <a href="https://www.buenastareas.com/materias/conclusion-del-punto-de-equilibrio/0">https://www.buenastareas.com/materias/conclusion-del-punto-de-equilibrio/0</a>	0.27%
15. <a href="https://carlosmacascontabilidaddegerencia.blogspot.com/p/contabilidad-de-gerencia.html">https://carlosmacascontabilidaddegerencia.blogspot.com/p/contabilidad-de-gerencia.html</a>	0.27%
16. <a href="https://blogadmon1.wordpress.com/category/economia">https://blogadmon1.wordpress.com/category/economia</a>	0.27%
17. <a href="https://contabilidadyalgomas.wordpress.com/2017/03/27/tipos-de-costos-empresariales">https://contabilidadyalgomas.wordpress.com/2017/03/27/tipos-de-costos-empresariales</a>	0.24%
18. <a href="https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no64/14a-la_planeacion_de_tiempos_y_co...">https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no64/14a-la_planeacion_de_tiempos_y_co...</a>	0.23%
19. <a href="https://hasa08.wordpress.com/marco-teorico">https://hasa08.wordpress.com/marco-teorico</a>	0.23%
20. <a href="http://economia.com.ve/glosario-economico">http://economia.com.ve/glosario-economico</a>	0.23%
21. <a href="https://essauquimica10.blogspot.com/2019/01/periodo-ii.html">https://essauquimica10.blogspot.com/2019/01/periodo-ii.html</a>	0.23%
22. <a href="https://itsangelica.files.wordpress.com/2008/08/antologia-administracion-de-proyectos.doc">https://itsangelica.files.wordpress.com/2008/08/antologia-administracion-de-proyectos.doc</a>	0.23%
23. <a href="http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/images/trabajos/2000_32697.pdf">http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/images/trabajos/2000_32697.pdf</a>	0.23%
24. <a href="http://c3.usac.edu.gt/nutricion.usac.edu.gt/public_html/wp-content/uploads/2017/05/Arroyo-C.-Ma...">http://c3.usac.edu.gt/nutricion.usac.edu.gt/public_html/wp-content/uploads/2017/05/Arroyo-C.-Ma...</a>	0.21%
25. <a href="https://juricont.blogspot.com/2013/06/contabilidad-de-costo-l.html">https://juricont.blogspot.com/2013/06/contabilidad-de-costo-l.html</a>	0.21%
26. <a href="http://fabiolamarquezrodriguez2.blogspot.com/2008/11/activo-disponible-es-la-parte-del.html">http://fabiolamarquezrodriguez2.blogspot.com/2008/11/activo-disponible-es-la-parte-del.html</a>	0.21%
27. <a href="https://tallermercadeoalejandrogomez.blogspot.com/2009/06/oferta-y-demanda.html">https://tallermercadeoalejandrogomez.blogspot.com/2009/06/oferta-y-demanda.html</a>	0.21%
28. <a href="https://docplayer.es/5925967-Termodinamica-y-transferencia-de-calor.html">https://docplayer.es/5925967-Termodinamica-y-transferencia-de-calor.html</a>	0.21%
29. <a href="https://docplayer.es/15659860-Ejercicios-de-repaso-para-calcular-y-analizar-el-punto-de-equilibrio...">https://docplayer.es/15659860-Ejercicios-de-repaso-para-calcular-y-analizar-el-punto-de-equilibrio...</a>	0.21%
30. <a href="https://ingerick18.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/temperatura-y-...">https://ingerick18.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/temperatura-y-...</a>	0.2%
31. <a href="https://biofisicaug.wordpress.com/2016/03">https://biofisicaug.wordpress.com/2016/03</a>	0.2%
32. <a href="https://biofisicaug.wordpress.com/author/biofisicaug">https://biofisicaug.wordpress.com/author/biofisicaug</a>	0.2%
33. <a href="https://andresjavierb.wordpress.com/coheteria-hidraulica/segundo-corte-2/actividades/calor">https://andresjavierb.wordpress.com/coheteria-hidraulica/segundo-corte-2/actividades/calor</a>	0.2%
34. <a href="https://manuelatejedor.wordpress.com/2013/08/04">https://manuelatejedor.wordpress.com/2013/08/04</a>	0.2%

Similarity

Citation

Dedico este trabajo de tesis a Dios, por darme la vida, la habilidad e inteligencia para poder culminar la carrera profesional.

Dedico esta tesis a mi familia, las personas que siempre me brindaron su cariño, su amor y paciencia, me apoyaron incondicionalmente en todos los aspectos para poder llegar a ser un profesional de bien.

**FERNANDO GOLBERTH**

Mi tesis la dedico con todo amor y cariño a **Diós**, por permitirme tener la fuerza para terminar la carrera profesional.

Mis amados padres, Nestor y Beridiana, Kenny y Magdalena por mostrarme el camino a la superación, quienes con su palabra de aliento, no me dejaban caer para que siga adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

A mis profesores, gracias por su tiempo y por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

**CARLOS**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Esta tesis, ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de los autores y su asesor de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que nos apoyaron y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos difíciles.

Agradecer hoy y siempre a nuestras familias porque desean nuestro bienestar, y nos dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

***FERNANDO GOLBERTH***

***CARLOS***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADOS Y ASESOR	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. BASES TEÓRICAS	3
1.2.1. TRANSMISIÓN DEL CALOR.	3
1.2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERÍA.	3
1.2.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $k$ ).	4
1.2.4. LA LEY DE FOURIER.	4
1.2.5. CONDUCCIÓN-CONVECCIÓN.	5
1.2.6. DIFERENCIA PROMEDIO DE TEMPERATURA.	6
1.2.7. TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE VARIOS AISLANTES.	7
1.2.8. FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED DE UN TUBO SIN AISLAMIENTOS.	7
1.2.9. PÉRDIDA DE CALOR EN UNA TUBERÍA CON AISLAMIENTO.	8
1.2.10. OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE TÉRMICO	12
1.2.11. ECUACIONES PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE LOS COSTOS FIJOS Y LOS COSTOS VARIABLES.	12
1.2.12. AISLAMIENTO TÉRMICO	14
1.2.12.1. MATERIALES BÁSICOS DE LOS AISLANTES.	14
1.2.12.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLANTES TÉRMICOS.	15
1.2.12.3. CLASIFICACIÓN.	15
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	16
1.3.1. COSTOS FIJOS (CF)	16
1.3.2. COSTOS VARIABLES ( $C_v$ )	16

1.3.3.	<b>COSTO TOTAL (Cr)</b>	16
1.3.4.	<b>AISLAMIENTO TÉRMICO</b>	16
<b>CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>		17
2.1.	<b>Formulación de la hipótesis.</b>	17
2.2.	<b>Variables y su operacionalización.</b>	17
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>		18
3.1.	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	18
3.2.	<b>DISEÑO MUESTRAL</b>	18
3.3.	<b>PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	18
3.4.	<b>PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b>	18
3.5.	<b>ASPECTOS ÉTICOS</b>	18
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b>		19
4.1.	<b>CÁLCULO DE LA PÉRDIDA ANUAL DE CALOR EN LA TUBERÍA SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.</b>	19
4.2.	<b>CANTIDAD DE CALOR GENERADO EN EL CALDERO (mv)</b>	19
4.3.	<b>DETERMINACIÓN DEL CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE</b>	19
4.4.	<b>EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR.</b>	20
4.4.1.	<b>MÉTODO GRÁFICO PARA CALCULAR LAS PÉRDIDAS DE CALOR.</b>	20
4.4.2.	<b>MÉTODO ANALÍTICO.</b>	21
4.4.2.1.	<b>PÉRDIDA DE CALOR EN LA TUBERÍA SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.</b>	21
4.4.	<b>CALCULO DE LA PERDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR CON DIFERENTES AISLANTES TÉRMICOS.</b>	22
4.5.	<b>CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR POR TIPO DE AISLANTE.</b>	23
4.5.1.	<b>CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.</b>	23
4.5.2.	<b>CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.</b>	29
4.5.3.	<b>CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR CON EL AISLANTE DE LANA DE VIDRIO.</b>	31
4.6.	<b>CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR ÓPTIMO POR TIPO DE AISLANTE.</b>	33
4.7.	<b>CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR ÓPTIMO POR AISLANTE TÉRMICO.</b>	33
4.7.1.	<b>CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS (Cf)</b>	33
4.7.1.1.	<b>CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.</b>	33
4.7.1.2.	<b>CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.</b>	35

4.7.2.	<b>CÁLCULO DE LOS COSTOS VARIABLES (Cv)</b>	36
4.7.2.1.	<b>CÁLCULO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, <math>V_c</math></b>	36
4.7.2.2.	<b>CONSUMO HORARIO DE AGUA, <math>VH_2O</math></b>	36
4.7.2.3.	<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CALDERO, <math>C_e</math></b>	37
4.7.2.4.	<b>CÁLCULO DEL COSTO DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.</b>	37
4.7.2.5.	<b>CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR POR TIPO DE AISLANTE.</b>	37
4.7.2.5.1.	<b>CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.</b>	37
4.7.2.5.2.	<b>CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.</b>	39
4.7.2.5.3.	<b>CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO LANA DE VIDRIO COMO AISLANTE.</b>	40
4.8.	<b>REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS DE COSTOS ANUALES.</b>	41
4.8.1.	<b>DETERMINACIÓN GRÁFICA DEL ESPESOR ÓPTIMO POR TIPO DE AISLANTE.</b>	41
	<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN</b>	49
	<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES</b>	50
	<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES</b>	51
	<b>CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	52

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N° 01:</b>	Espesor de aislante vs Pérdida de calor	28
<b>Cuadro N° 02:</b>	Pérdida de Calor en función del espesor del Aislante de Lana de Vidrio	30
<b>Cuadro N° 03:</b>	Pérdida de calor en función del espesor del Aislante de Lana de Vidrio	32
<b>Cuadro N° 04:</b>	Resumen de los Costos del Asbesto más los Costos de Instalación y Mantenimiento por 30 m de tubería.	34
<b>Cuadro N° 05:</b>	Resumen de los Costos del Aislante Lana Mineral y de Instalación y Mantenimiento de 30 m de tubería.	35
<b>Cuadro N° 06:</b>	Resumen de los Costos por Pérdida de Calor usando Asbesto como Aislante.	38
<b>Cuadro N° 07:</b>	Resumen de Datos del Costo Anual por Pérdida de Calor usando Lana Mineral como Aislante	39
<b>Cuadro N° 08:</b>	Resumen de Datos del Costo Anual por Pérdida de Calor usando Lana de Vidrio como Aislante.	40
<b>Cuadro N° 09:</b>	Datos Consolidados de los Costos Fijos (Cf) para el Aislante de Asbesto.	41
<b>Cuadro N° 10:</b>	Datos Consolidados de los Costos Fijos Anuales (Cf) para el Aislante de Lana Mineral.	42
<b>Cuadro N° 11:</b>	Datos Consolidados de los Costos Fijos Anuales (Cf) para el Aislante de Lana de Vidrio	42
<b>Cuadro N° 12:</b>	Datos Consolidados de los Costos Variables (Cv) para el Aislante de Asbesto.	43
<b>Cuadro N° 13:</b>	Datos Consolidados de los Costos Variables (Cv) para el Aislante de lana Mineral.	43
<b>Cuadro N° 14:</b>	Datos Consolidados de los Costos Variables (Cv) para el Aislante de Lana de Vidrio.	44
<b>Cuadro N° 15:</b>	Resumen del Costo Total, CT, usando Asbesto como aislante	44
<b>Cuadro N° 16:</b>	Resumen del Costo Total, CT usando Lana Mineral como Aislante.	45
<b>Cuadro N° 17:</b>	Resumen del Costo Total, CT usando Lana Mineral como Aislante.	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 01:</b> Flujo de calor, conducción, convección	5
<b>Figura N° 02:</b> Flujo de calor en una pared compuesta	7
<b>Figura N° 03:</b> Flujo de calor en una tubería	7
<b>Figura N° 04:</b> Pérdida de calor en una tubería aislada	9
<b>Figura N° 05:</b> Pérdida de calor en una tubería aislada: vista lateral	11
<b>Figura N° 06:</b> Tanque de alimentación de combustible al caldero	19

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 01:</b> Diferentes Costos en una tubería aislada	13
<b>Gráfico N° 02:</b> Costos vs espesor de aislamiento	14

## RESUMEN

### ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO PARA LA DETERMINACION GRÁFICA DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL AISLAMIENTO DE LA TUBERÍA PRINCIPALDE VAPOR DE LAS PLANTAS PILOTO.

**Autores: FERNANDO GOLBERTH ALVÁN OCHOA  
CARLOS CACHIQUE PEÑA**

**Asesor: Víctor García Pérez**

La instalación de productos aislantes en instalaciones industriales es de gran importancia, por la reducción de gasto energético que proporciona. Los procesos industriales a nivel mundial más del 30 % del consumo energético total, por lo que se debe procurar que los procesos químicos, sean lo más eficientes posible, procurando un ahorro energético con el mismo nivel de producción.

El desarrollo del presente trabajo, consta de varios capítulos; en el capítulo I, nos referimos al marco teórico referido a la transferencia de calor, conductividad térmica de los diferentes materiales, explicamos la ley que rige esta transferencia, como es la ley de Fourier, los diferentes mecanismos de transferencia de calor como son conducción, convección y radiación, diferencia promedio de temperatura en paredes compuestas, así como también la transferencia de calor a través de varios aislantes. En el capítulo II, explicamos la optimización en el consumo de calor utilizando aislantes térmicos en tuberías de vapor, teniendo en cuenta el ahorro energético y económico que esto implica, se mencionan las curvas de los costos fijos, costos variables, en función del espesor del aislante; se mencionan los materiales básicos de los aislantes, así como sus características.

En el capítulo III, calculamos la pérdida anual de calor en tubería sin aislamiento térmico, determinamos el consumo horario de combustible, avaluamos la pérdida de calor, explicamos el método gráfico para calcular las pérdidas de calor. En el capítulo IV, calculamos la pérdida de calor en tuberías de vapor con diferentes aislantes térmicos como son: asbesto, lana de vidrio, al final se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como la bibliografía empleada.

Palabras clave: Transferencia de calor, Materiales aislantes, Espesor óptimo, Ahorro energético

## **ABSTRACT**

### **COMPARATIVE TECHNICAL-ECONOMIC STUDY FOR THE GRAPHICAL DETERMINATION OF THE OPTIMAL THICKNESS OF THE INSULATION OF THE MAIN STEAM PIPELINE OF THE PILOT PLANTS.**

**Authors: FERNANDO GOLBERTH ALVÁN OCHOA  
CARLOS CACHIQUE PEÑA**

**Adviser: Víctor García Pérez**

The installation of insulating products in industrial facilities is of great importance, due to the reduction in energy consumption that it provides. Industrial processes worldwide account for more than 30% of total energy consumption, so chemical processes must be as efficient as possible, seeking energy savings with the same level of production.

The development of this work consists of several chapters; In chapter I, we refer to the theoretical framework related to heat transfer, thermal conductivity of different materials, we explain the law that governs this transfer, such as Fourier's law, the different heat transfer mechanisms such as conduction, convection and radiation, average temperature difference in composite walls, as well as heat transfer through various insulators.

In chapter II, we explain the optimization of heat consumption using thermal insulation in steam pipes, taking into account the energy and economic savings that this implies, the curves of fixed costs, variable costs, depending on the thickness of the insulating; the basic materials of the insulators are mentioned, as well as their characteristics.

In chapter III, we calculate the annual heat loss in pipe without thermal insulation, we determine the hourly fuel consumption, we evaluate the heat loss, we explain the graphical method to calculate heat losses.

In chapter IV, we calculate the heat loss in steam pipes with different thermal insulators such as: asbestos, glass wool, at the end the conclusions and recommendations are presented, as well as the bibliography used.

**Keywords:** Heat transfer, Insulating materials. Optimal thickness, Energy saving

## INTRODUCCIÓN

Para el ingeniero químico, el proceso de transferencia de calor, le debe resultar un tema familiar, porque es su rutina de trabajo, siempre se va a encontrar con la necesidad de transferir calor sensible como, en los procesos de calentamiento y/o enfriamiento de calor latente, como son los procesos de transferencia con cambio de fase, como la evaporación y la condensación; por esta razón debe saber usar en forma racional y óptima el calor que genera una fuente. Para evitar las pérdidas de calor en la conducción por tubería del vapor, ésta debe estar protegida por una capa de aislamiento que impida la transferencia de esta energía hacia los alrededores.

En el presente estudio, se busca encontrar el aislamiento y el espesor óptimo comparativo, que debe tener el aislante (de asbesto, lana mineral, lana de vidrio) en la línea de conducción principal desde el punto de vista económico.

La importancia de este estudio, recae en el ahorro de dinero que brinda a la industria; porque la generación de calor está en función de la cantidad de combustible utilizado y del agua, así como del consumo de energía eléctrica que al final redundará en costos.

Para ello se desarrollan ecuaciones que determinan la pérdida de calor en función del espesor y del costo de generación de vapor que vienen a constituir los costos variables, así como una ecuación que determine los costos fijos en función del espesor.

El presente estudio técnico - económico, consiste primero en encontrar las ecuaciones de la curva de los costos fijos que provienen de los costos del aislamiento en sus diferentes dimensiones y los costos variables que provienen de determinar el costo por Btu/hr de calor que se pierde en el flujo del vapor por las tuberías; y así, construir la gráfica para determinar el espesor óptimo por cada aislamiento.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La optimización debe ser la preocupación constante de un ingeniero de proceso químico, con el fin de lograr una mayor producción por unidad de tiempo y/o una mayor producción a un menor costo.

La aplicación de este principio muy importante, se puede aplicar en las plantas piloto de la universidad, principalmente a las plantas de alcohol y cerveza, cuya administración está a cargo de la Facultad de Ingeniería Química, en lo referente al uso racional del vapor generado en el caldero. El caldero genera 1,670 libras por hora de vapor y este es conducido a través de una tubería de tres (03) pulgadas de diámetro por una línea principal con una longitud de 30 metros, que actualmente está acondicionada con una capa de aislamiento de asbesto con un espesor de una pulgada.

Sobre el particular, Ochoa Jaime en 1994 ha elaborado la tesis "Estudio técnico - económico de la pérdida de calor y determinación del aislante óptimo en la planta piloto de alcohol de la FIQ - UNAP". En este estudio se hacen cálculos de balance de energía y se determina básicamente cuanto calor requiere dicha planta para obtener el alcohol rectificado y el aislante óptimo, pero no hay un estudio especializado para determinar el espesor óptimo del aislamiento térmico.

## **1.2. BASES TEÓRICAS**

### **1.2.1. TRANSMISIÓN DEL CALOR.**

**F. Kreiht-2001.** El calor es una forma de Energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las velocidades de esas transferencias de energía es la Transferencia de Calor, la que se produce siempre del modo que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja.

Hay tres tipos fundamentales de transferencia de calor (Yunus, 2004): Conducción, Convección y radiación. Los tres tipos de transmisión de calor se pueden producir al mismo tiempo y es aconsejable tomar en consideración la transferencia de calor por cada uno de ellos en cada caso particular.

La transferencia de calor por conducción consiste en el paso del calor de una parte de un cuerpo a otra parte del mismo cuerpo, o bien, de un cuerpo a otro que está en contacto con él, sin desplazamiento apreciable de las partículas del cuerpo.

### **1.2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERÍA.**

**Perry, 1985.** Desde el punto de vista ingenieril, el problema clave es determinar la razón de transferencia de calor para una diferencia de temperatura específica. Para estimar el costo, la factibilidad y el tamaño del equipo necesario para transferir una determinada cantidad de calor en un tiempo dado habrá que realizar un detallado análisis de transferencia de calor.

Las dimensiones de calderas, calentadores, refrigeradores e intercambiadores de calor dependen no solo de la cantidad de calor por transmitir sino también de la razón a la cual se va transferir el calor en condiciones dadas.

### 1.2.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $k$ ) .

**Dewitt, 19.** Los diferentes materiales almacenan calor en forma diferente, la propiedad de calor específico,  $C_p$ , es una medida de capacidad de un material para almacenar energía térmica temporalmente. Por ejemplo; el  $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$  para el Agua, y el  $C_p = 0,45 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$  para el hierro a la temperatura ambiente, indica que el agua puede almacenar casi 10 veces más energía que el hierro por unidad de masa. Del mismo modo, la conductividad térmica,  $k$ , es una medida de la capacidad de un material para conducir el calor. Así,  $k = 0,608 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  para el agua y  $k = 80,2 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  para el hierro, a la temperatura ambiente, indica que el hierro conduce el calor, es más de 100 veces más rápido que el agua. Por lo tanto, se dice que el agua es mal conductor del calor en relación con el hierro, aun cuando el agua es un medio excelente para almacenar energía térmica.

### 1.2.4. LA LEY DE FOURIER.

Es la ecuación diferencial fundamental para la transferencia de calor por conducción:

$$\frac{dQ}{d\theta} = kA \frac{dt}{dx}$$

En donde:

$\frac{dQ}{d\theta}$  : Cantidad de calor por unidad de tiempo, o la rapidez de flujo de calor.

A: Área en ángulo recto con la dirección en la que fluye el calor.

$\frac{dt}{dx}$  : Es la rapidez de cambio de temperatura con la distancia, en la dirección del flujo de calor, o sea el gradiente de temperatura.

### 1.2.5. CONDUCCIÓN-CONVECCIÓN.

En muchos casos prácticos de transmisión de calor, por ejemplo, en condensadores, en calentadores y enfriadores, el calor se transmite de un fluido a otro a través de una pared que los separa. Los procesos que se presentan en los fluidos pueden ser muy complejos. Sin embargo, para facilitar el análisis es conveniente suponer que la mayor parte del fluido no ofrece resistencia a la transmisión de calor, sino que hay una película muy delgada de fluido adyacente a la pared que presenta una resistencia considerable. Así; en la Fig. N° 01:

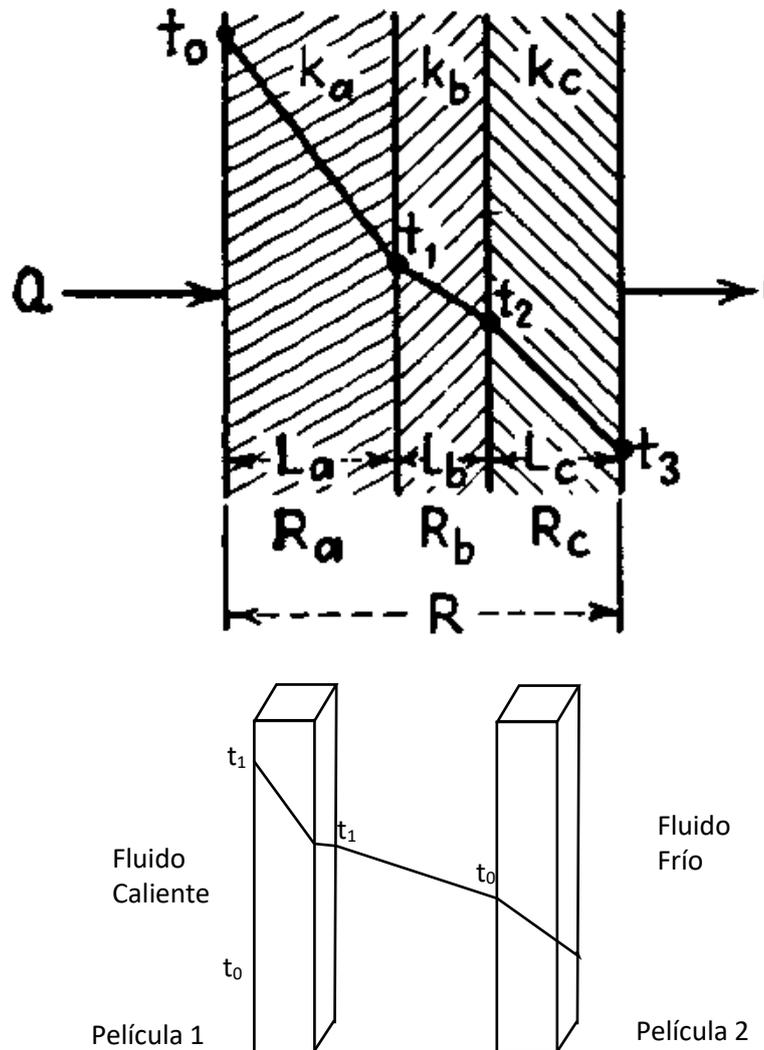


Figura N° 01: Flujo de calor, conducción, convección

$$q = h_i \cdot A_i \cdot (t_i - t_1) = \frac{k}{L} \cdot A_m \cdot (t_1 - t_0) = h_0 \cdot A_0 \cdot (t_0 - t_1)$$

Donde:  $h_i$  y  $h_0$  = Coeficiente de película  
 $k$  = Conductividad térmica de la pared

Si  $t_1$  y  $t_0$  se eliminan de la ecuación anterior, se obtiene una relación para el flujo de calor en régimen permanente a través de varias resistencias en serie:

$$q = \frac{t_1 - t_0}{\frac{1}{h_1 \cdot A_1} + \frac{1}{k \cdot A_m} + \frac{1}{h_0 \cdot A_0}}$$

Cada uno de los términos en el denominador representa una resistencia a la transferencia de calor. Puede tenerse también una resistencia  $1/h_s \cdot A_s$  debida a las incrustaciones o depósitos en la superficie, entonces:

$$q = \frac{1}{UA} = \left( \frac{1}{h_1 \cdot A_1} + \frac{1}{k \cdot A_m} + \frac{1}{h_s \cdot A_s} + \frac{1}{h_0 \cdot A_0} \right)$$

O también  $q = \frac{\Delta T}{\Sigma R}$

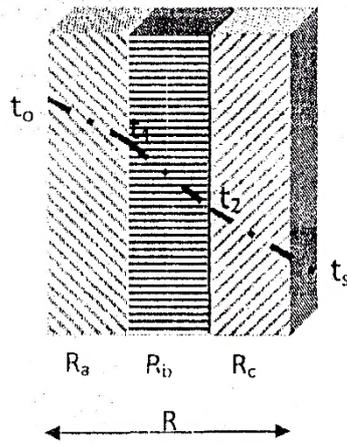
### 1.2.6. DIFERENCIA PROMEDIO DE TEMPERATURA.

En la transmisión de calor desde la superficie de un sólido a la temperatura  $t_s$  hasta un fluido  $t_i$  intervienen tanto la conducción como la convección. Se resuelve el problema por aplicación del Coeficiente Global de Transmisión de Calor y tomando la diferencia media logarítmica:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta t_m \qquad \Delta t_m = \frac{t_i - t_0}{2,3 \log t_1 / t_0}$$

### 1.2.7. TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE VARIOS AISLANTES.

La conducción de calor que se realiza a través de paredes compuestas Fig. N° 02, es de gran utilidad para la aplicación del concepto de resistencia al paso de calor, que resulta de establecer una analogía entre la conducción del calor y la de la corriente eléctrica. La ecuación para la intensidad de paso de calor a través de un sólido puede ponerse en la forma:



$$q = \frac{\Delta t}{\left(\frac{x}{k_m}\right) A_m} \frac{\Delta t}{R}$$

En el caso de una pared compuesta

$$q = \frac{t_0 - t_1}{R_a} = \frac{t_1 - t_2}{R_b} = \frac{t_2 - t_3}{R_c}$$

Figura N°02: Flujo de calor en una pared compuesta

### 1.2.8. FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED DE UN TUBO SIN AISLAMIENTOS.

El paso de calor a través de una pared plana, el área a través de la cual el calor fluye, es constante en toda la trayectoria del flujo de calor. En lo que se refiere a la Fig. 03, que muestra un tubo de una unidad de longitud, el área de la trayectoria del flujo de calor a través de la pared del tubo aumenta con la distancia de la trayectoria desde  $r_1$  a  $r_2$ . El área a cualquier radio  $r$  está dado por  $2\pi r \cdot L$ , y si el calor fluye hacia fuera del tubo el gradiente de temperatura para el incremento de longitud es  $dt/dr$ . La ecuación de FOURIER:

$$dQ = k \cdot d \cdot A \cdot \frac{dt}{dx}$$

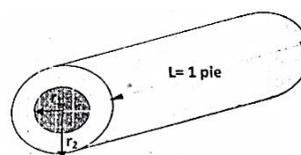


Figura N°03: Flujo de calor en una tubería

Se transforma para una longitud,  $L = 1$  pie

$$q = 2\pi rk \left( -\frac{dt}{dr} \right), BTU/hr \text{ prelineal}$$

Dónde:  $r = r_1$  y

$$t = t_1$$

$r_1$  = radio interior del tubo

$t_1$  = temperatura en el interior del tubo

y cuando:  $r = r_0$  y

$$t = t_0$$

$r_0$  = radio exterior del tubo

$t_0$  = temperatura exterior del tubo

Integrando la ecuación exterior, se obtiene:

$$t = -\frac{q}{2\pi k} \ln(r) + c$$

Despejando entre límites  $r_i$ ,  $r_0$  y  $t_i$ ,  $t_0$  se tiene

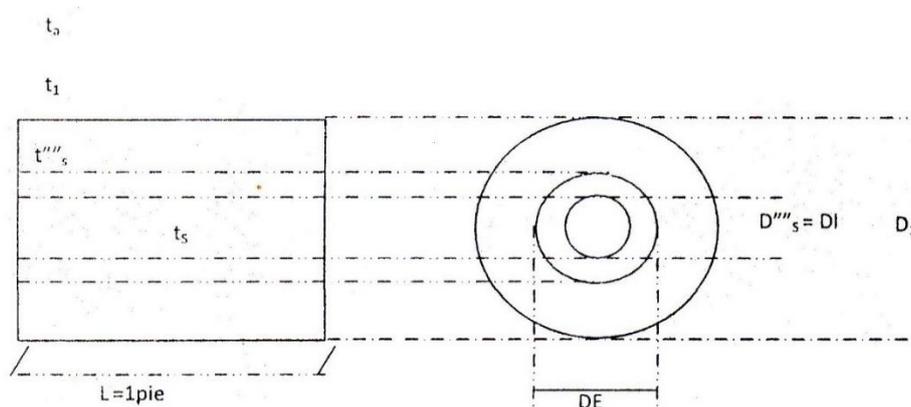
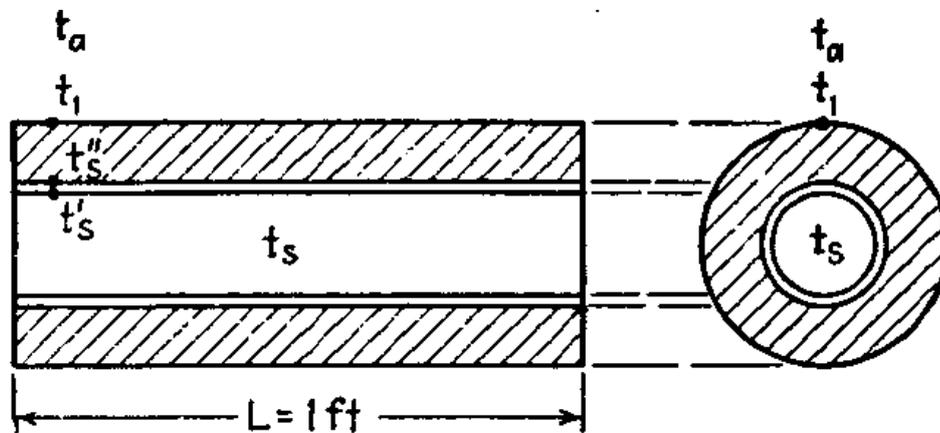
$$q = \frac{2\pi k(t_i - t_0)}{2,3 \log r_0/r_i} \quad \text{ó}$$

$$q = \frac{2\pi k(t_i - t_0)}{2,3 \log (D_0/D_i)}$$

### 1.2.9. PÉRDIDA DE CALOR EN UNA TUBERÍA CON AISLAMIENTO.

En paredes planas con capas de aislamiento se supone que la superficie externa fría, podría mantenerse a una temperatura definida. Sin esta suposición, la solución de problemas sería indeterminada, ya que como  $\Delta t$  serían desconocidos e independientes en una sola ecuación. En realidad, las temperaturas asignadas a la pared exterior dependen no solamente de las resistencias entre las superficies calientes y frías, sino también en la habilidad de la atmósfera más fría que lo rodea para remover el calor que llega a la superficie externa. Sea un tubo con aislamiento como de la Fig. N° 04, que conduce vapor a la

temperatura  $t_s$  considerablemente mayor que de la temperatura atmosférica  $t_a$ :



**Figura N°04:** Pérdida de calor en una tubería aislada

La diferencia total de temperatura que origina el flujo de calor hacia fuera del tubo es  $t'_s - t''_a$ . Las resistencias al flujo de calores tomados en orden son:

1. La resistencia del vapor al condensarse y dar su calor a la superficie interior del tubo, resistencia que experimentalmente se encuentra que es muy pequeña, por ser  $t_s$  y  $t'_s$  casi las mismas, la ecuación es:

$$q = h_s \pi D_s (t_s - t'_s)$$

2. La resistencia del tubo metálico, que también resulta pequeña, excepto para tuberías,  $t'_s$  y  $t''_s$  son casi las mismas.

$$q = \frac{2\pi k_b}{2,3 \log \left( \frac{D_s''}{D_s} \right)} (t'_s - t''_s)$$

Donde  $k_b$ ; Conductividad térmica del tubo metálico.

3. La resistencia del aislante de conductividad  $k_c$

$$q = \frac{2\pi k_c}{2,3 \log \left( \frac{D_1}{D_s} \right)}$$

$D_1 = DE + 2$  (Espesor del aislamiento)

La resistencia del aire que rodea para eliminar el calor de la superficie externa. Esta resistencia es apreciable, aun cuando la remoción de calor es por convección natural del aire ambiental en adición a la radiación y tiene como origen la diferencia de temperatura entre la superficie exterior y el aire frío ambiental.

4. La convección natural resulta del entibamiento del aire adyacente a la tubería, por lo tanto, se reduce su densidad. El aire tibio sube y continuamente se reemplaza por el aire frío.

$$q = h_a \pi (t_i - t_a)$$

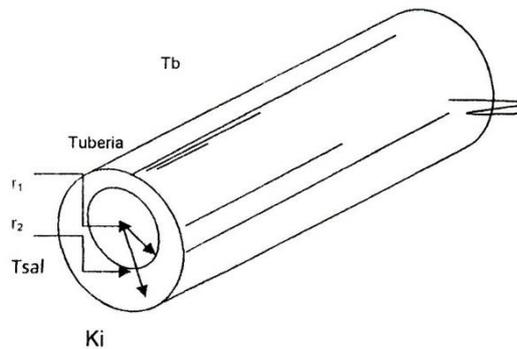
Combinando todas estas ecuaciones se obtiene:

$$t_s - t_a = q \left( \frac{1}{h_s \pi D_s} + \frac{2,3}{2\pi k_b} \log \frac{D_s}{D_s} + \frac{2,3}{2\pi k_c} \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_a \pi D_1} \right)$$

El término dentro de paréntesis son las cuatro resistencias y de éstas, las dos primeras usualmente se desprecian por dar resultados que están por las diez milésimas de la unidad. Por consiguiente, esta ecuación se reduce a:

$$q = \frac{\pi(t_s - t_a)}{\frac{2,3}{2k_c} \log\left(\frac{D_1}{D_s}\right) + \frac{1}{h_a D_1}}$$

De la Figura N° 05, se ve que ha depende no solamente de la diferencia de temperatura sino también de las temperaturas actuales en el exterior del aislante y del aire.



**Figura N° 05:** Pérdida de calor en una tubería aislada: vista lateral

### **1.2.10. OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE TÉRMICO**

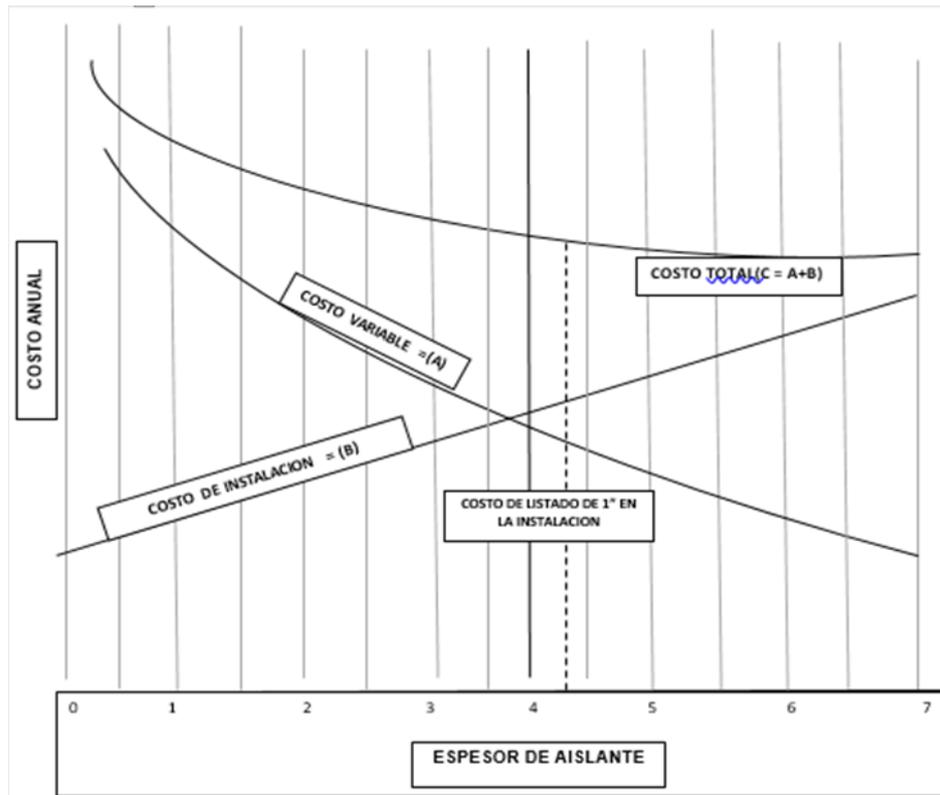
**Hernández 1998.** Optimizar es buscar las condiciones más favorables y éstas siempre conducen a consideraciones de costos o utilidades. Por lo tanto, un diseño económicamente óptimo se basa en condiciones que den un menor costo de producción por unidad de tiempo o la máxima utilidad por unidad de producción.

En este estudio, el problema es determinar el espesor óptimo del aislante térmico en una instalación que se conduce vapor saturado por una tubería de 3 pulgadas de diámetro nominal. Como el espesor del aislante se incrementa, los costos fijos también se incrementan y los costos variables por pérdida de calor en cambio decrecen. El costo total es la suma de los Costos Fijos más los Costos Variables como se muestra en la Gráfico 1. El punto de inflexión mínima en la curva del Costo Total, determina el espesor óptimo aislante.

### **1.2.11. ECUACIONES PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE LOS COSTOS FIJOS Y LOS COSTOS VARIABLES.**

El procedimiento para optimizar el espesor del aislante a usar, es determinar la variable espesor  $X$  en función de los costos. Los costos del aislante se obtienen del fabricante. Esta relación se puede desarrollar tanto para los costos fijos, como para los costos variables.

En el caso de los costos Fijos, la relación del espesor versus los Costos del aislante, dará una línea recta en la gráfica Costos versus Espesor del aislante en pulgadas de la Grafico. N° 01.



**Gráfico N° 01:** Diferentes Costos en una tubería aislada

Similarmente en el caso de los Costos Variables se relaciona los costos por pérdida de calor anual como una función del espesor del aislamiento. Las dos relaciones, pueden expresarse en las siguientes ecuaciones:

- a) Ecuación de los Costos Fijos:

Como los costos fijos tienen la forma de una línea recta, la ecuación es:

$$\text{CostosFijos} \equiv \phi(x) \equiv ax + b$$

- b) Ecuación de los Costos Variables:

Tiene la forma de una curva:

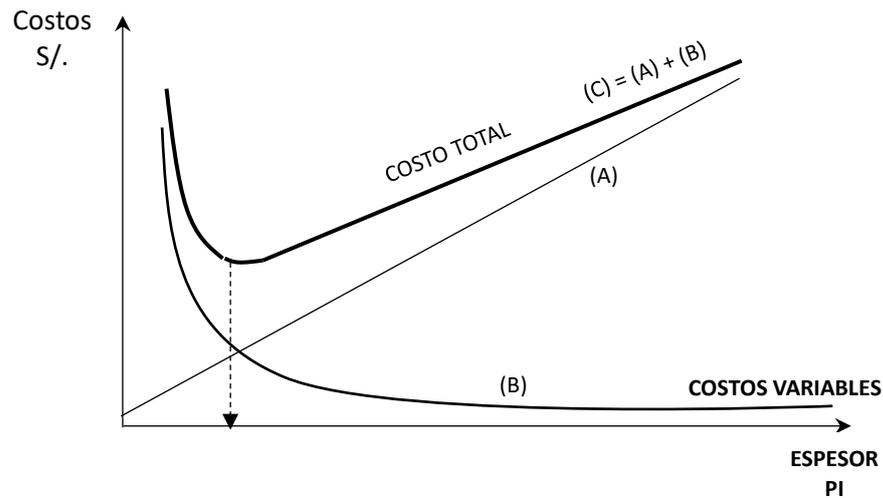
$$\text{CostosVariables} = \phi(x) = \frac{c}{x} + d$$

c) Ecuación del Costo Total:

Es la suma de los dos costos anteriores:

$$C_r = \phi(x) + \phi(x) = ax + b + \frac{c}{x} + d$$

Donde a, b, c, d son constantes. La representación gráfica de estos costos se da en la Gráfica N° 02.



**Gráfico N° 02:** Costos vs espesor de aislamiento

### 1.2.12. AISLAMIENTO TÉRMICO

Los materiales o las combinaciones de materiales que tienen bolsas de aire o llenas de gas, o bien, espacios vacíos que retrasan la transferencia de calor con una eficiencia razonable, en condiciones ordinarias, se pueden considerar como aisladores térmicos.

#### 1.2.12.1. MATERIALES BÁSICOS DE LOS AISLANTES.

Los aislantes térmicos pueden ser:

1. Materiales minerales, fibrosos o celulares como el asbesto, vidrio, sílice, rocas o las escorias.
2. Materiales orgánicos fibrosos o celulares, como la caña, algodón, caucho, madera.
3. Materiales plásticos o celulares, como el poliestireno o poliuretano.

### **1.2.12.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLANTES TÉRMICOS.**

1. La conductividad térmica debe ser baja.
2. A conductividad térmica baja, resistentes a las altas temperaturas.
3. Deben ser resistentes al agua, al vapor y a productos químicos.

### **1.2.12.3. CLASIFICACIÓN.**

- a. Aislamiento para alta temperatura (temperaturas mayores a 900 °C, se tiene la cerámica de ladrillos refractarios, etc.)
- b. Aislamiento para temperatura media (temperatura de 25 °C a 900 °C, se tiene el silicato de calcio hidratado, el asbesto, lana mineral, magnesio al 85%, lana de vidrio, etc.)
- c. Aislamiento para bajas temperaturas (menores a 25 °C, se tiene el corcho vegetal y otros materiales celulósicos.

### **1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

#### **1.3.1. COSTOS FIJOS ( $C_F$ )**

Representa los costos del aislante obtenidos del fabricante más el 20% de costo por instalación y mantenimiento.

#### **1.3.2. COSTOS VARIABLES ( $C_v$ )**

Representa el costo por cada Btu por año o por cada Kw-h que se pierde a los alrededores por año según el Sistema Inglés o el Sistema Internacional respectivamente que se use.

#### **1.3.3. COSTO TOTAL ( $C_r$ )**

El costo total es la suma de los costos fijos más los costos variables. La curva que se obtiene de este costo tiene un punto de inflexión mínimo que, proyectado a la abscisa de los espesores del aislamiento, da como resultado, la obtención del espesor óptimo.

#### **1.3.4. AISLAMIENTO TÉRMICO**

**Ocon, Tojo, 1996.** El aislamiento térmico se puede definir mejor por el índice de conducción de calor en comparación con los metales. Por ejemplo, el acero conduce el calor a un índice mayor a 600 veces mayor que un material aislante típico.

## **CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

**2.1. Formulación de la hipótesis.**

**2.2. Variables y su operacionalización.**

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

- 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO**
- 3.2. DISEÑO MUESTRAL**
- 3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**
- 3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**
- 3.5. ASPECTOS ÉTICOS**

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA ANUAL DE CALOR EN LA TUBERÍA SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.

**David, 1988.** La importancia de hacer balance térmico radica en conocer cuánto de vapor genera el caldero y determinar cuánta energía se pierde a lo largo de la conducción del mismo, por las tuberías. Determinar los costos de producción y también los costos que representan las pérdidas de calor.

### 4.2. CANTIDAD DE CALOR GENERADO EN EL CALDERO ( $m_v$ )

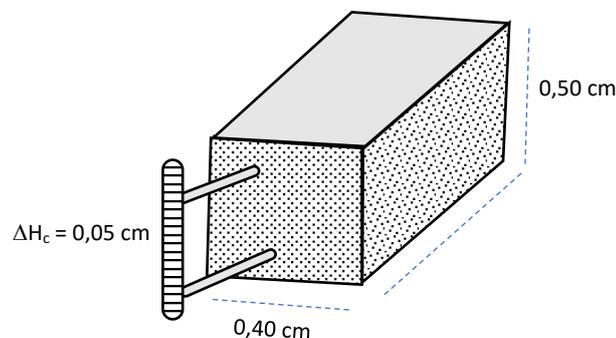
Según las especificaciones técnicas del caldero, produce una cantidad de vapor:  $m_v = 1380$  libras/hora.

### 4.3. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE, $m_c$

El tanque que almacena combustible, para dosificar, sin inyección al quemador de este caldero, es rectangular, cuyas dimensiones de este tanque son

Largo	:	0,76 m
Ancho	:	0,40 m
Alto	:	0,50 m

En el controlador de nivel de este tanque, experimentalmente se ha determinado que hay un descenso en el nivel de combustible de 0,05 m por hora de operación. **Base: 1 hora de operación.**



**Figura N° 6:** Tanque de alimentación de combustible al caldero

Datos:

Densidad del Petróleo Diesel 2;  $\rho_c = 54,6 \text{ lb/pie}^3$

El Consumo horario de combustible,

$$m_c = (\text{AreadeTrabajo})\Delta H_c P_c$$

$$m_c = (0,76 \times 0,40) \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} \times 54,6 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{(0,3048)^3 \text{ m}^3}$$

$$m_c = 29,3 \frac{\text{lb}}{\text{hora}}$$

$$V_c = \frac{m_c}{P_c} = \frac{29,5 \text{ lb/hora}}{54,6 \text{ lb/pie}^3} \times \frac{7,48 \text{ gal}}{\text{pie}^3}$$

$$V_c = 4,0 \text{ gal/hora}$$

$$V_c = 15,1416 \text{ litros/hora}$$

#### 4.4. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR.

El cálculo exacto para determinar el flujo de calor desde el interior de un tubo hacia los alrededores frecuentemente resulta muy complejo. Se debe multiplicar resistencias en serie que se presentan en la trayectoria del flujo de calor. Se deben considerar, además, los flujos caloríficos por conducción, convección y radiación. También hay que considerar los flujos de calor por evaporación y condensación de la tubería.

Por eso se asume una simplificación en el método para calcular pérdidas de calor considerando dos métodos: el método gráfico y el método analítico.

##### 4.4.1. MÉTODO GRÁFICO PARA CALCULAR LAS PÉRDIDAS DE CALOR.

Se puede obtener un valor aproximado por unidad de pérdida de calor desde la figura N° 1 y 2. La unidad de pérdida de calor multiplicado por el área o superficie transversal de calor y por hora da la pérdida de calor total.

#### 4.4.2. MÉTODO ANALÍTICO.

##### 4.4.2.1. PÉRDIDA DE CALOR EN LA TUBERÍA SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.

La pérdida de calor desde la tubería a los alrededores se calcula usando las relaciones de transferencia de calor por convección natural del ítem 1.2.8., se obtiene:

$$q = \frac{2\pi k(t_i - t_0)}{2,3 \log D_0 / D_i} \quad \text{Donde:}$$

k: Conductividad térmica de la tubería

t<sub>i</sub>: temperatura en el interior del tubo.

D<sub>i</sub>: Diámetro interior del tubo.

D<sub>o</sub>: Diámetro exterior del tubo.

El cálculo de la pérdida de calor en la tubería principal de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Química, sin aislamiento se calcula de los siguientes datos:

DATOS: Operación en las Plantas Pilotos son:

t<sub>i</sub> = 153 °C = 307 °F; P=75 lb/pulg.

t<sub>o</sub> = 26 °C= 80 °F; Temperatura ambiente

Longitud de la tubería principal: 30 m = 98,4 pies

Material: Acero

Diámetro nominal: 3,0 pulgadas

Diámetro interior, D<sub>i</sub>: 3,068 pulgadas

Diámetro exterior, D<sub>o</sub>: 3,50 pulgadas

Conductividad térmica del Acero: 27,6 Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F/pie lineal

La pérdida de calor por pie lineal de tubería es:

$$q = \frac{2\pi k(t_i - t_0)}{2,3 \log D_0 / D_i} = \frac{2(3,1416)(27,6)(307 - 80)}{2,3 \log 3,50 / 3,068} = \frac{39,365,5}{0,132} \\ = 298\,233,5 \text{ Btu/hr/pielinea}$$

La tubería mide 98,4 pies, entonces:

q = 298 223,5x98,4 Btu/hr = 29 345 192,4 Btu/hr

Pérdida de calor anual:

q = 70 428 461 760 Btu/Año

#### 4.4. CALCULO DE LA PERDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR CON DIFERENTES AISLANTES TÉRMICOS.

Del ítem 4.4.2.1 ha se obtenido la pérdida de calor en la tubería que conduce vapor saturado sin aislamiento térmico que dio como resultado:

$q = 298223,5 \text{ Btu/hr/pie lineal}$ . Por 98,4 pies lineales  $q = 29\ 569\ 200 \text{ (Btu/hr)}$  (2400 hr/Año),  $q = 70\ 428\ 461\ 760 \text{ Btu/Año}$

Para saber cuánto de energía calorífica pierde a los alrededores se calculan usando diferentes materiales de aislante, como son; el Asbesto, la lana mineral, y la lana de vidrio, se emplea la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\pi(t_s - t_a)}{\frac{2,3}{2k_c} \log \left( \frac{D_1}{D''_s} \right) + \left( \frac{1}{h_a D_1} \right)} \dots \dots \dots 1$$

Donde:

$t_s$ : temperatura del vapor en el sistema del tubo

$t_a$ : temperatura del aire de los alrededores

$D_1$ :  $DE + 2(\text{espesor del aislante})$

$D''_s$ : diámetro exterior del tubo, DE

$h_a$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación

$k_c$ : conductividad térmica del aislante.

**4.5. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR POR TIPO DE AISLANTE.**

**4.5.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.**

Conductividad térmica  $k = 0,114 \text{ Btu/hr.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F.pie lineal}$

El cálculo de la Pérdida de calor se lleva a cabo usando los siguientes espesores del Asbesto como aislante térmico en pulgadas: 1/8, 3/8, 3/4, 1.00, 1 1/2, 2.0, 2 1/4, 2 1/2, 3.0, 4, 5.

a) Pérdida de Calor con un espesor de aislante de 1/8 pulgada

Datos:

		Tubería de Acero: Cód. 40
$T_s$	$153^\circ \text{ C} = 307^\circ \text{ F}$	Diámetro exterior, $DE = 3,5$ pulgadas
$T_a$	$26^\circ \text{ C} = 80^\circ \text{ F}$	$D_1 = DE + 2(\text{espesor del Aislante})$ $D_1 = 3,50 + 2(1/8) = 3,750$ pulgadas
		$D''_s$ : DE, pulgadas

De la ecuación (1)  $q = \frac{\pi(t_s - t_a)}{\frac{2,3}{2k_c} \log \frac{D_1}{D''_s} + \frac{1}{h_a D_1}}$  tenemos:

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{ F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \left( \frac{3,750}{3,50} \right) + \left( \frac{1}{2,15(3,750)/12 \text{ pie}} \right)} = \frac{713}{0,30 + 1,49}$$

$$= \frac{713}{1,79}$$

$$q = 398(98,4 \text{ pies}) = 39,163 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \left( \frac{39,163 \text{ Btu}}{\text{hr}} \right) \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 93\,991\,200 \text{ Btu/Año}$$

- b) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de  $\frac{1}{4}$  pulgada.

$$D_1 = 0,54 + 2(1/4) = 1,04$$

$$D''_s = 0,54$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{4,0}{3,50} + \frac{1}{2,15(4,0)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{0,59 + 1,4} = \frac{713}{1,99}$$

$$q = 358,3 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pies} (98,4 \text{ pies}) = 35256,7 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 35256,7 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 84616080 \text{ Btu/Año}$$

- c) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de  $\frac{3}{8}$  pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2(3/8) = 4,25 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{4,25}{3,50} + \frac{1}{2,15(4,25)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{0,85 + 1,31}$$

$$= 330 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = \frac{330,00 \text{ Btu}}{\text{hr. pie}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 32472 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \frac{32472 \text{ Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 77932800 \text{ Btu/Año}$$

- d) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2(1/2) = 4,25 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ\text{F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{4,50}{3,50} + \frac{1}{2,15(4,50)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{1,10 + 1,24}$$

$$= 304 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 304,00 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie (98,4 pies)} = 29\,914 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \left(29\,914 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}\right) \left(2400 \frac{\text{hr}}{\text{Año}}\right) = 71\,793\,600 \text{ Btu/Año}$$

- e) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de  $\frac{3}{4}$  pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2\left(\frac{3}{4}\right) = 5,00 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ\text{F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{5,00}{3,50} + \frac{1}{2,15(5,00)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{1,56 + 1,12}$$

$$= 266 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = \frac{266,00 \text{ Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie (98,4 pies)} = 26\,174 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \frac{26\,174 \text{ Btu}}{\text{hr}} \left(\frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}}\right) = 62\,817\,600 \text{ Btu/Año}$$

- f) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 1,0 pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2(1,0) = 5,50 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ\text{F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{5,50}{3,50} + \frac{1}{2,15(5,50)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{1,98 + 1,01}$$

$$= 238,5 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 238,5 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie (98,4 pies)} = 23\,468 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 23\,468 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{hr}}{\text{Año}} \right) = 56\,323\,200 \text{ Btu/Año}$$

g) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 1 ¼ pulgada.

$$D_i = 3,50 + 2(1,25) = 6,00 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{6,0}{3,5} + \frac{1}{2,15(6,0)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{2,36 + 0,93}$$
$$= 217 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = \frac{217 \text{ Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 21\,352,8 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 21\,352,8 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 51\,246,720 \text{ Btu/Año}$$

h) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 1 ½ pulgada.

$$D_i = 3,50 + 2(1\,1/2) = 6,50 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{6,50}{3,50} + \frac{1}{2,15(6,50)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{2,71 + 0,86}$$
$$= 204 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 204 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 20,074 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 20,074 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{hr}}{\text{Año}} \right) = 48\,176\,640 \text{ Btu/Año}$$

- i) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 2,0 pulgadas.

$$D_1 = 3,50 + 2(2,0) = 7,50 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{7,50}{3,50} + \frac{1}{2,15(7,50)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{3,34 + 0,74}$$

$$= 175 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 175 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 17\,220 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 17\,220 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( 2400 \frac{\text{hr}}{\text{Año}} \right) = 41\,328\,000 \text{ Btu/Año}$$

- j) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 2 ¼ pulgadas.

$$D_1 = 3,50 + 2(2 \frac{1}{4}) = 8,0 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{8,0}{3,5} + \frac{1}{2,15(8,0)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{3,62 + 0,70}$$

$$= 165 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 165 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 16\,236 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 16\,236 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{hr}}{\text{Año}} \right) = 38\,966\,400 \text{ Btu/Año}$$

k) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 5 pulgadas.

$$D_i = 3,50 + 2(5,0) = 13,50 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{ F}}{\frac{2,3}{2(0,114)} \log \frac{13,50}{3,5} + \frac{1}{2,15(13,50)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{5,90 + 0,41}$$

$$= 113 \text{ Btu/hr. pie} - \text{lineal}$$

$$q = 113 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 11\,119 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 11\,119 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 26\,685\,600 \text{ Btu/Año}$$

CUADRO N° 01: Espesor de aislante vs Pérdida de calor

<b>Espesor del Aislante (Pulgadas)</b>	<b>Pérdida de Calor Anual (Btu/Año)</b>
1/8	93 991 200
1/4	84 616 080
3/8	77 932 800
1/2	71 792 100
3/4	62 817 600
1	56 323 200
1 1/4	51 246 720
1 1/2	48 176 640
2	41 328 000
2 1/4	38 966 400
2 1/2	37 034 399
3	33 948 000
4	29 532 426
5	26 685 600

Fuente Grupo de Trabajo

#### 4.5.2. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.

Conductividad térmica de la Lana Mineral es:

$$K = 0,033 \text{ Btu/hr.pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/pie-lineal}$$

- a. Pérdida de Calor anual con un espesor de aislante lana mineral de 1/8 pulgada.

		Tubería de Acero: Cód. 40
T <sub>s</sub>	153 °C 307 °F	= Diámetro exterior, DE= 3,5 pulgadas
T <sub>a</sub>	26 °C = 80 °F	D <sub>1</sub> = DE+2(espesor del Aislante) D <sub>1</sub> = 3,50 + 2(1/8) = 3,750 pulgadas
		D'' <sub>s</sub> : DE, pulgadas

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{ F}}{\frac{2,3}{2(0,033)} \log \frac{3,750}{3,50} + \frac{1}{2,15(3,750)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{1,44 + 1,49}$$

$$= 282 \text{ Btu/hr}$$

$$q = 282(98,4 \text{ pies}) = 27\,748 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \frac{27,731 \text{ Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 66\,597\,120 \text{ Btu/Año}$$

- b) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de ¼ pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2(1/4) = 4,0 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ \text{ F}}{\frac{2,3}{2(0,033)} \log \frac{4,0}{3,50} + \frac{1}{2,15(4,0)/12 \text{ pie}}}$$

$$= 209 \text{ Btu/hr.pie - lineal}$$

$$q = \frac{209 \text{ Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 20\,565 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \frac{20,565 \text{ Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 49\,288\,131 \text{ Btu/Año}$$

c) Pérdida de Calor Anual usando aislante de asbesto con un espesor de 3/8 pulgada.

$$D_1 = 3,50 + 2(3/8) = 4,25 \text{ pulgadas}$$

$$D''_s = 3,50 \text{ pulgadas}$$

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,033)} \log \frac{4,25}{3,5} + \frac{1}{2,15(4,25)/12 \text{ pie}}} = 168 \text{ Btu/hr.pie} - \text{lineal}$$

$$q = \frac{168 \text{ Btu}}{\text{hr}} \cdot \text{pie} (98,4 \text{ pies}) = 16\,531 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = \frac{16\,531 \text{ Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 39\,674\,880 \text{ Btu/Año}$$

La pérdida de calor con los demás espesores se resume en el Cuadro N° 02.

**Cuadro N° 02:** Pérdida de Calor en función del espesor del Aislante de Lana de Vidrio

<b>Espesor del Aislante (Pulgadas)</b>	<b>Pérdida de Calor Anual (Btu/Año)</b>
1/8	66 597 120
1/4	49 288 131
3/8	39 603 241
1/2	33 383 724
3/4	25 847 761
1	21 435 282
1 1/4	18 528 614
1 1/2	16 463 614
2	13 713 237
2 1/4	12 747 483
2 1/2	11 954 260
3	10 725 141
4	9 107 097
5	8 078 239

Fuente Grupo de Trabajo

#### 4.5.3. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR ANUAL EN LA TUBERÍA DE VAPOR CON EL AISLANTE DE LANA DE VIDRIO.

La conductividad térmica del aislante de Lana de Vidrio es:

$$K = 0,021 \text{ Btu/hr.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F/pie-lineal}$$

- a. Pérdida de Calor anual con un espesor de aislante lana mineral de 1/8 pulgada.

		Tubería de Acero: Cód. 40
T <sub>s</sub>	153 °C= 307 °F	Diámetro exterior, DE= 3.5 pulgadas
T <sub>a</sub>	26 °C = 80 °F	D <sub>1</sub> = DE+2(espesor del Aislante) D <sub>1</sub> = 3,50 + 2(1/8) = 3,750 pulgadas
		D <sub>s</sub> : DE, pulgadas

$$q = \frac{3,14(307 - 80)^\circ F}{\frac{2,3}{2(0,021)} \log \frac{3,75}{3,50} + \frac{1}{2,15(3,75)/12 \text{ pie}}} = \frac{713}{1,64 + 1,48}$$

$$= 228 \text{ Btu/hr}$$

$$q = 228(98.4 \text{ pies}) = 22 484,4 \text{ Btu/hr}$$

Pérdida del calor Anual

$$q = 22 484,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \left( \frac{2400 \text{ hr}}{\text{Año}} \right) = 53 962 560 \text{ Btu/Año}$$

La pérdida de calor con los demás espesores se resume en el cuadro N° 03.

**Cuadro N° 03:** Pérdida de calor en función del espesor del  
Aislante de Lana de Vidrio

<b>Espesor del Aislante (Pulgadas)</b>	<b>Pérdida de Calor Anual (Btu/Año)</b>
1/8	53 962 560
¼	36 764 646
3/8	28 394 954
½	23 321 617
¾	17 539 800
1	14 318 204
1 ¼	12 247 750
1 ½	10 807 578
2	8 923 268
2 ¼	8 270 239
2 ½	7 738 147
3	6 917 916
4	5 854 731
5	5 177 800

Fuente Grupo de Trabajo

#### **4.6. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR ÓPTIMO POR TIPO DE AISLANTE.**

El espesor óptimo de un aislante se puede determinar por consideración puramente económicos. Si un tubo descubierto fuera a conducir un fluido caliente, habría cierta pérdida de calor por hora cuyo valor podría determinarse del costo de producir los Btu en la Planta generadora de vapor. A menos pérdida de calor, mayor espesor del aislante y mayor costo inicial y mayores costos fijos anuales (mantenimiento y depreciación) los que deben añadirse a la pérdida anual de calor o costos variables.

#### **4.7. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR ÓPTIMO POR AISLANTE TÉRMICO.**

##### **4.7.1. CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS (Cf)**

Los Costos Fijos están constituidos por:

- a. Costo del aislante térmico
- b. Costo de Instalación y mantenimiento.

##### **4.7.1.1. CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.**

Los Costos de Instalación y mantenimiento representan el 20% de los Costos Fijos.

**Cuadro N° 4:** Resumen de los Costos del Asbesto más los Costos de Instalación y Mantenimiento por 30 m de tubería.

<b>Espesor (Pulgadas)</b>	<b>Costo Unitario (Nuevos Soles)</b>	<b>Costo Total del Aislante (Nuevos Soles)</b>	<b>Costo de Instalación y Mantenimiento (Nuevos Soles)</b>	<b>Costo Fijo Total (Nuevos Soles)</b>
1/8	45,00	1 350,00	270,00	1 620,00
¼	51,50	1 545,00	309,00	1 854,00
3/8	61,60	1 818,00	364,00	2 182,00
½	71,20	2 136 00	427,00	2 562,00
¾	88,10	2 643,00	529,00	3 171,00
1	100,00	3 000,00	600,00	3 600,00
1 ¼	121,80	3 654,00	731,00	4 384,00
1 ½	138,25	4 148,00	830,00	4 978,00
2	175,15	5 250,00	1 050,00	6 300,00
2 ¼	190,60	5 718,00	1 144,00	6 800,00
2 ½	213,25	6 398,00	1 280,00	7 677,00
3	243,50	7 305,00	1 461,00	8 766,00
4	310,00	9 300,00	1 860 00	11 160,00
5	350,00	10 500,00	2 100,00	12 600,00

**Referencia:** Datos de Costos del Fabricante Aisla Peru SAC. – Lima

#### 4.7.1.2. CÁLCULO DE LOS COSTOS FIJOS USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.

Los datos se resumen en el Cuadro N° 5

**Cuadro N° 5:** Resumen de los Costos del Aislante Lana Mineral y de Instalación y Mantenimiento de 30 m de tubería.

Espesor (Pulgada)	Costo Unitario (Nuevos Soles)	Costo Total del Aislante (Nuevos Soles)	Costo de Instalación y Mantenimiento (Nuevos Soles)	Costo Fijo Total (Nuevos Soles)
1/8	12.25	367.50	73.50	441.00
¼	15.75	472.50	94.50	567.00
3/8	18.40	552.00	110.40	662.00
½	25.50	765.00	153.00	918.00
¾	28.50	855.00	171.00	1026.00
1	39.10	1163.00	235.00	1407.00
1 ¼	45.10	1353.00	271.00	1624.00
1 ½	53.15	1593.00	319.00	1911.00
2	69.50	2085.00	417.00	2502.00
2 ¼	79.30	2379.00	436.00	2855.00
2 ½	89.20	2676.00	535.00	3211.00
3	101.70	3051.00	610.00	3661.00
4	120.50	3615.00	723.00	4338.00
5	135.65	4069.00	814.00	4883.00

Fuente Grupo de Trabajo

#### 4.7.2. CÁLCULO DE LOS COSTOS VARIABLES (Cv)

##### 4.7.2.1. CÁLCULO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, Vc

En el ítem 4.3 se determinó el Consumo de Combustible por hora.

Consumo de Combustible: 4,0 gal /h

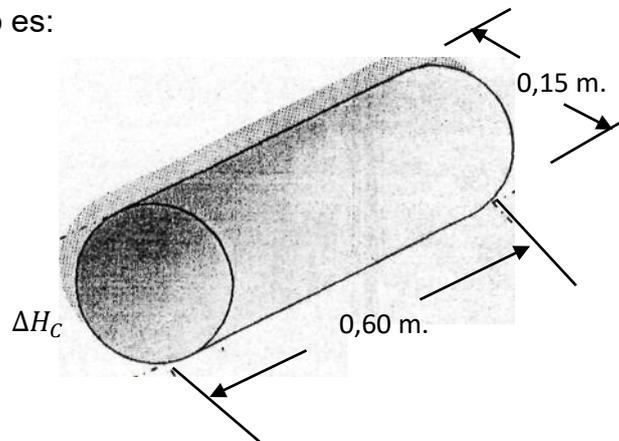
Consumo diario: 4,0 gal/h x 8 horas/día = 32 gal/día

Consumo Anual: 32 gal/día x 300 días/año = 9,600 gal /año

Costo Anual: 7,00 S/. gal x 9,600 gal/año = S/. 67,200/Año.

##### 4.7.2.2. CONSUMO HORARIO DE AGUA, $V_{H2O}$

Se ha demostrado experimentalmente que el consumo de agua en el caldero es:



Tanque de agua tratada para el Caldero

L = 0,60 m

A = 0,18 m

$\Delta H_{H2O}$  : Altura del indicador de volumen de agua

Masa de Agua por hora:

$$m_{H2O} = (\text{Área del tanque}) (\Delta H_{H2O} \times \rho_{H2O})$$

$$m_{H2O} = (0,18 \text{ m})(0,60 \text{ m})(0,03 \text{ m}) \left( \frac{998 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) = 3,23 \text{ kg/hr}$$

Consumo de Agua Anual: Volumen Anual

$$Vol_{H2O} = (2,7 \text{ m}^3/\text{hr})(8 \text{ hr/día})(300 \text{ días/año}) = 6467 \text{ m}^3/\text{año}$$

Dato de EPS SEDALORETO:

Costo del Agua Potable: S/. 1,50/m<sup>3</sup> x 6467 m<sup>3</sup>/año = S/. 9700 /año.

#### **4.7.2.3. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CALDERO,**

**Ce**

Ce; La capacidad del caldero es de 40 HP de potencia (dato del fabricante)

1 HP = 0,746 kw = 2545 Btu/hr

20 HP = 14,9 kw = 50900 Btu/hr

1 kw.h = 3412 Btu

X----- 50900 Btu/hr

X----- (14,9 kw) (2400 h/Año)

X----- 35760 kw.h/Año

Costo por kw-h, según la empresa prestadora de servicio Eléctrico ELECTRORIENTE; S/. 0.42

X = (35 760 kw-h/Año) (0.42)

El Costo de los Consumo de Energía por el Caldero es de:

S/.15,019.20 /año

#### **4.7.2.4. CÁLCULO DEL COSTO DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Representan el 20% de los Costos Fijos.

#### **4.7.2.5. CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR POR TIPO DE AISLANTE.**

##### **4.7.2.5.1. CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO ASBESTO COMO AISLANTE.**

Transformando unidades del Sistema Inglés al Sistema Internacional de Tablas de conversión de unidades de Yunus

1 KW-h = 3,413 Btu -

La pérdida de calor en una tubería aislada con Asbesto de 1/8 " es de 93 991 200 Btu/Año

Si 1 kw-h = 3,413 Btu

X----- 93 991 200 Btu/Año

X: ----- 27 539.17 kw-h/Año

El Costo:

X: ----- 27 539,17 kw-h/año (0,42) = SI. 11,566.45/año

El Costo de la pérdida de calor para los demás espesores de aislamiento se muestra en las siguiente Cuadro de costos:

**Cuadro N° 6:** Resumen de los Costos por Pérdida de Calor usando Asbesto como Aislante.

Espesor (Pulg.)	Pérdida de Calor Anual Btu/Año	Pérdida de Calor Anual kW-h/Año	Costo de Calor Anual kW-h/Año
1/8	93 991 200	27 539,17	11 566,5
¼	84 616 080	24 792,29	10 412,8
3/8	77 932 800	22 834,11	9 590,32
½	71 792 100	21 034,90	8 834,66
¾	62 817 600	18 405,39	7 730,26
1	56 323 200	16 502,55	6 931,07
1 ¼	51 246 720	15 015,15	6 306,37
1 ½	48 176 640	14 115,63	5 928,56
2	41 328 000	12 109,00	5 085,78
2 ¼	38 966 400	11 417,05	4 795,16
2 ½	37 034 399	10 850,98	4 557,41
3	33 948 000	9 946,68	4 177,60
4	29 532 426	8 652,92	3 634,23
5	26 685 600	7 818,81	3 283,90

Fuente: Grupo de Trabajo

#### 4.7.2.5.2. CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO LANA MINERAL COMO AISLANTE.

Los Costos se resumen en el Cuadro N° 7

**Cuadro N° 7:** Resumen de Datos del Costo Anual por Pérdida de Calor usando Lana Mineral como Aislante

Espesor (Pulg.)	Pérdida de Calor Anual Btu/Año	Pérdida de Calor Anual KW-h/Año	Costo de Calor Anual KW-h/Año
1/8	66 597 120	19 512	8 195
1/4	49 288 131	14 441	6 065
3/8	39 603 241	11 603	4 873
1/2	33 383 724	9 781	4 108
3/4	25 847 761	7 573	3 180
1	21 435 282	6 280	2 637
1 1/4	18 528 614	5 428	2 280
1 1/2	16 463 614	4 823	2 025
2	13 713 237	4 017	1 687
2 1/4	12 747 483	3 734	1 568
2 1/2	11 954 260	3 502	1 471
3	10 725 141	3 142	1 319
4	9 107 097	2 668	1 121
5	8 078 239	2 366	994

Fuente: Grupo de Trabajo

#### 4.7.2.5.3. CÁLCULO DEL COSTO ANUAL POR PÉRDIDA DE CALOR USANDO LANA DE VIDRIO COMO AISLANTE.

Los Costos se resumen en el Cuadro N° 8

**Cuadro N° 8:** Resumen de Datos del Costo Anual por Pérdida de Calor usando Lana de Vidrio como Aislante.

<b>Espesor (Pulg.)</b>	<b>Pérdida de Calor Anual Btu/Año</b>	<b>Pérdida de Calor Anual KW-h/Año</b>	<b>Costo de Calor Anual KW-h/Año</b>
1/8	53 962 560	15 810	6 640
¼	36 764 646	10 771	4 524
3/8	28 394 954	8 319	3 494
½	23 321 617	6 833	2 869
¾	17 539 800	5 139	2 158
1	14 318 204	4 195	1 761
1 ¼	12 247 750	3 588	1 507
1 ½	10 807 578	3 166	1 329
2	8 923 268	2 614	1 098
2 ¼	8 270 239	2 423	1 018
2 ½	7 738 147	2 267	952
3	6 917 916	2 027	851
4	5 854 731	1 715	720
5	5 117 800	1 499	630

Fuente: Grupo de Trabajo

#### 4.8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS DE COSTOS ANUALES.

##### 4.8.1. DETERMINACIÓN GRÁFICA DEL ESPESOR ÓPTIMO POR TIPO DE AISLANTE.

Es una gráfica Costos Anuales vs Espesor de Aislante se va a obtener es espesor óptimo, en dicha gráfica se determinará, previamente, la curva de los Costos Fijos ( $C_f$ ), la curva de los Costos Variables ( $C_v$ ), y la curva de los Costos Totales.

a) Los Datos para trazar la curva de los Costos Fijos ( $C_f$ ) son los siguientes:

- a. 1 Costos por espesor de Aislante.
- a. 2 Costos por Instalación y mantenimiento

En los Cuadro 9, 10 y 11 se consolidan Costos por tipo de aislante.

**Cuadro N° 9:** Datos Consolidados de los Costos Fijos ( $C_f$ ) para el Aislante de Asbesto.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	1,620
1/4	1,854
3/8	2,182
1/2	2,563
3/4	3,171
1	3,600
1 1/4	4,384
1 1/2	4,978
2	6,300
2 1/4	6,800
2 1/2	7,673
3	8,756
4	10,160
5	12,600

Fuente: Grupo de Trabajo

**Cuadro N° 10:** Datos Consolidados de los Costos Fijos Anuales ( $C_f$ ) para el Aislante de Lana Mineral.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	441
1/4	567
3/8	662
1/2	918
3/4	1,026
1	1,156
1 1/4	1,278
1 1/2	1,397
2	1,624
2 1/4	1,775
2 1/2	1,984
3	2,427
4	2,891
5	3,352

Fuente: Grupo de Trabajo

**Cuadro N° 11.** Datos Consolidados de los Costos Fijos Anuales ( $C_f$ ) para el Aislante de Lana de Vidrio

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	302
1/4	374
3/8	486
1/2	522
3/4	655
1	950
1 1/4	1,170
1 1/2	1,311
2	1,732
2 1/4	2,048
2 1/2	2,322
3	2,728
4	3,798
5	4,142

Fuente: Grupo de Trabajo

- b. Los Datos para trazar la curva de los Costos Variables ( $C_v$ ) son los siguientes:

$C_v$  = Costo por pérdida de calor.

Del capítulo V. se obtienen estos datos y se consolidan en los Cuadros N° 4, 5 y 6 para cada tipo de Aislante.

**Cuadro N° 12:** Datos Consolidados de los Costos Variables (C<sub>v</sub>) para el Aislante de Asbesto.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	11,576
¼	10,520
3/8	9,590
½	8,855
¾	7,732
1	6,930
1 ¼	6,298
1 ½	5,420
2	5,079
2 ¼	4,797
2 ½	4,554
3	4,178
4	3,648
5	3,289

Fuente: Grupo de Trabajo

**Cuadro N° 13:** Datos Consolidados de los Costos Variables (C<sub>v</sub>) para el Aislante de lana Mineral.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	8,190
¼	6,076
3/8	4,882
½	4,112
¾	3,188
1	2,653
1 ¼	2,282
1 ½	2,022
2	1,693
2 ¼	1,571
2 ½	1,473
3	1,320
4	1,121
5	996

Fuente: Grupo de Trabajo

**Cuadro N° 14:** Datos Consolidados de los Costos Variables ( $C_v$ ) para el Aislante de Lana de Vidrio.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	6,749
1/4	6,185
3/8	3,500
1/2	2,874
3/4	2,158
1	1,763
1 1/4	1,507
1 1/2	1,381
2	1,099
2 1/4	1,018
2 1/2	952
3	852
4	720
5	637

Fuente: Grupo de Trabajo

- b. Los Datos para trazar la curva del Costo Total ( $C_T$ ) son los siguientes:

Costo Total ( $C_T$ ) = Costos Fijos ( $C_p$ ) + Costos Variables ( $C_v$ )

$$C_T = C_p + C_v$$

Los resúmenes del Costo Total,  $C_T$  se muestran en los Cuadros 7, 8, y 9, en función del espesor de cada aislante.

**Cuadro N° 15:** Resumen del Costo Total,  $C_T$ , usando Asbesto como aislante

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	13,192
1/4	12,374
3/8	11,772
1/2	11,418
3/4	10,903
1	10,530
1 1/4	10,682
1 1/2	10,898
2	11,379
2 1/4	11,597
2 1/2	12,231
3	12,944
4	14,808
5	15,889

Fuente: Grupo de Trabajo

**Cuadro N° 16:** Resumen del Costo Total, CT usando Lana Mineral como Aislante.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	8,631
1/4	6,643
3/8	5,544
1/2	5,030
3/4	4,214
1	4,060
1 1/4	3,906
1 1/2	3,933
2	4,195
2 1/4	4,426
2 1/2	4,684
3	4,981
4	5,457
5	5,879

Fuente: Grupo de Trabajo

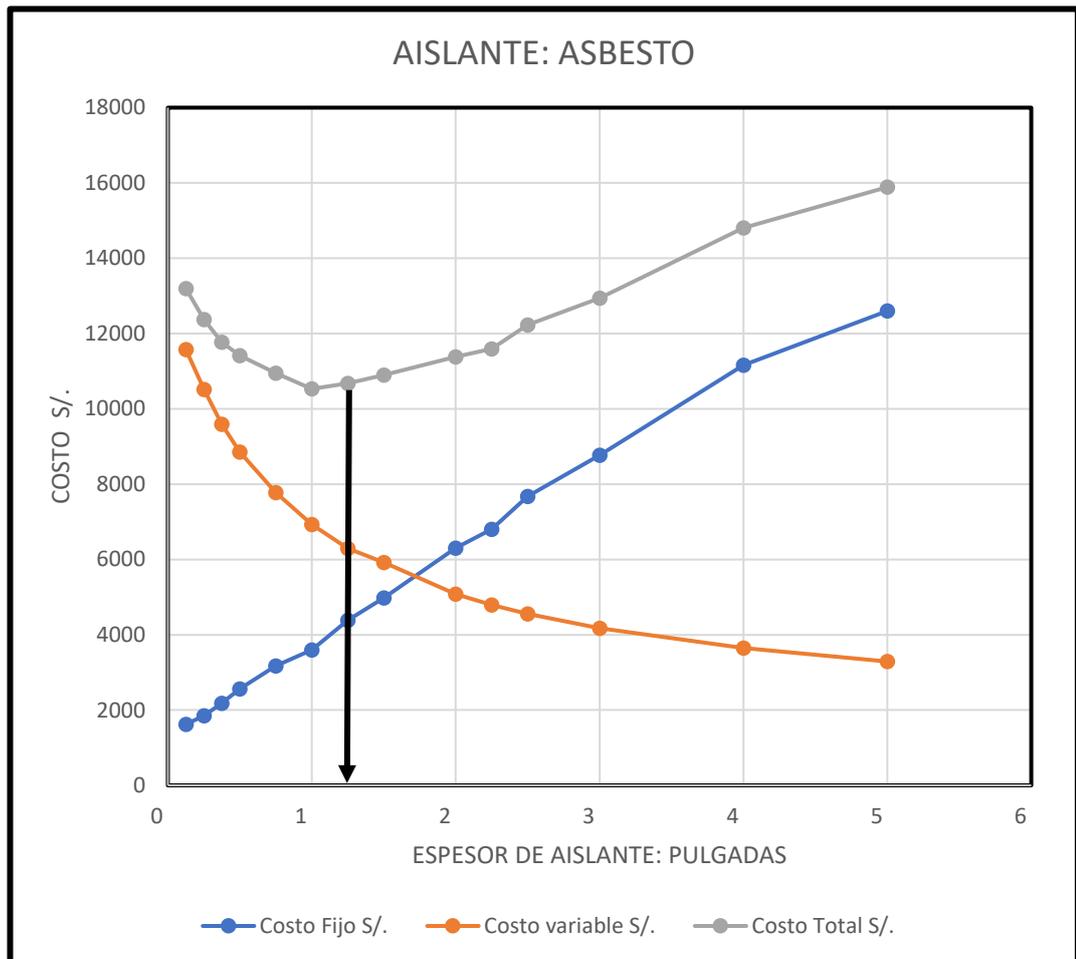
**Cuadro N° 17:** Resumen del Costo Total, CT usando Lana Mineral como Aislante.

<b>Espesor, pulgadas</b>	<b>Costo, S/. (Nuevos Soles)</b>
1/8	7,051
1/4	6,559
3/8	3,986
1/2	3,396
3/4	2,813
1	2,713
1 1/4	2,969
1 1/2	3,005
2	3,061
2 1/4	3,188
2 1/2	3,313
3	3,580
4	4,518
5	4,979

Fuente: Grupo de Trabajo

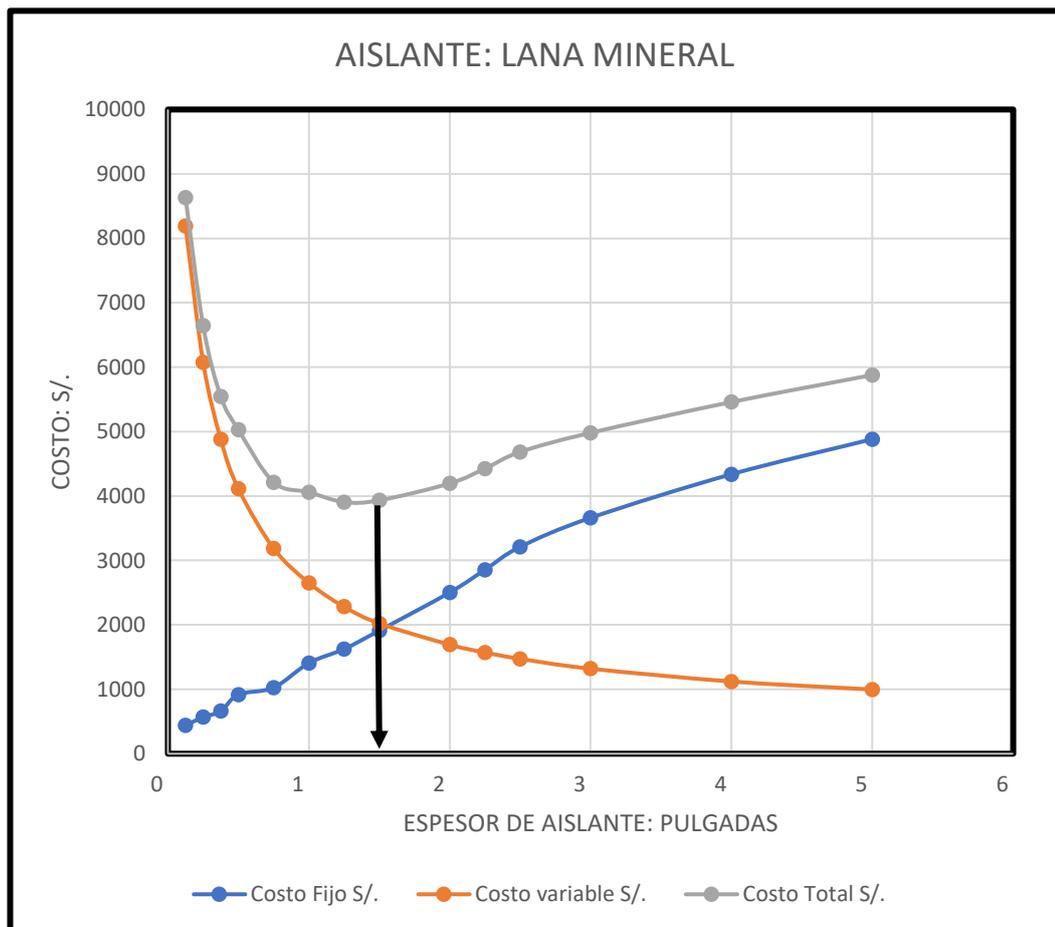
### AISLANTE: ASBESTO

Espeor (pulgadas)	Costo Fijo S/.	Costo variable S/.	Costo Total S/.
1/8	1620	11576	13196
1/4	1854	10520	12374
3/8	2182	9590	11772
1/2	2562	8855	11417
3/4	3171	7782	10953
1	3600	6930	10530
1 1/4	4384	6298	10682
1 1/2	4978	5920	10898
2	6300	5079	11379
2 1/4	6800	4797	11597
2 1/2	7677	4554	12231
3	8766	4178	12944
4	11160	3648	14808
5	12600	3289	15889



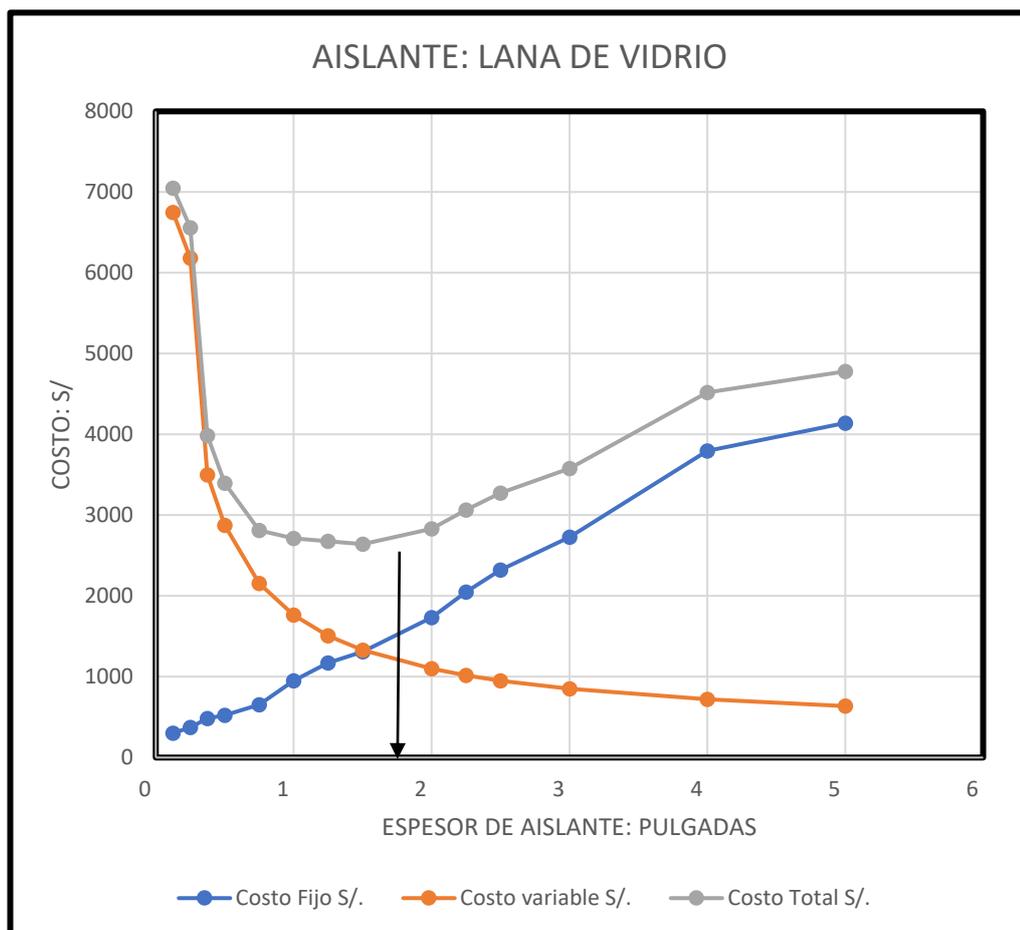
AISLANTE: LANA MINERAL

Esesor (pulgadas)	Costo Fijo S/.	Costo variable S/.	Costo Total S/.
1/8	441	8190	8631
1/4	567	6076	6643
3/8	662	4882	5544
1/2	918	4112	5030
3/4	1026	3188	4214
1	1407	2653	4060
1 1/4	1624	2282	3906
1 1/2	1911	2022	3933
2	2502	1693	4195
2 1/4	2855	1571	4426
2 1/2	3211	1473	4684
3	3661	1320	4981
4	4338	1121	5459
5	4883	996	5879



AISLANTE: LANA DE VIDRIO

Espesor (pulgadas)	Costo Fijo S/.	Costo variable S/.	Costo Total S/.
1/8	302	6749	7051
1/4	374	6185	6559
3/8	486	3500	3986
1/2	522	2874	3396
3/4	655	2158	2813
1	950	1763	2713
1 1/4	1170	1507	2677
1 1/2	1311	1331	2642
2	1732	1099	2831
2 1/4	2048	1018	3066
2 1/2	2322	952	3274
3	2728	852	3580
4	3798	720	4518
5	4142	637	4779



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES**

- a. El aislante óptimo es el de Lana de Vidrio por tener menor costo y menor tiempo de instalación.
- b. La ecuación de los Costos variables origina una línea curva en la gráfica, Costo Anual versus Espesor, por lo tanto, su expresión matemática tiene una forma de dicha línea.
- c. La ecuación de los Costos Fijos tiene la forma de una línea recta.
- d. De las gráficas 7.1, 7.2, y 7.3, en las que se muestran el espesor óptimo de cada aislante se deduce que cuando el espesor del aislamiento aumenta, los Costos Fijos generados por el costo del aislamiento más el costo de instalación resultan más caros que la pérdida de calor (o Costos Variables).
- e. De una evaluación económica que está implícita en el contenido del estudio se deduce que el asbesto es más costoso que la Lana Mineral y la Lana de vidrio respectivamente.
- f. El espesor óptimo por tipo de aislante es el siguiente:

<b>Aislante</b>	<b>Espesor óptimo, pulgadas</b>
<b>Asbesto</b>	1
<b>Lana Mineral</b>	1 $\frac{1}{4}$
<b>Lana de Vidrio</b>	1 $\frac{1}{2}$

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

- a. Se recomienda, con estos datos, crear un software, para determinar espesores óptimos de aislantes tanto de tuberías como de equipos donde existe transferencia de Calor.
- b. Se recomienda utilizar en las tuberías de la planta piloto, como aislante, lana de vidrio.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. F. Kreiht - M. Bohn; 2001. Principios de Transferencia de Calor; Ed. Thomson. México.
2. Yunus A. Zengel; 2004, Transferencia de Calor. Segunda Edición; Ed. Me Graw Hill; México.
3. Perry, John; 1985; Manual del Ingeniero Químico; Cuarta Edición; Ed. Me Graw Hill; México.
4. D. P. Dewitt; Fundamentos de la Transferencia de Calor; Ed. Prentice - Hall. México.
5. Kern, Donald; 1986; Procesos de Transferencia de Calor; Ed. cecsa; México.
6. Hernández, Roberto; 1998; Metodología de la Investigación; segunda edición; Ed. Me Graw; México.
7. Ocon, Tojo; 1996; Problemas de ingeniería Química; Primera edición; Ed. Fuentes Impresoras. México.
8. David, himmenblau; 1988; Balance de Materia y Energía; Cuarta Edición; Ed. Prenti'ce - Hall; México.
9. Alan, Foust; 1985; Principios de Operaciones Unitarias; Decima séptima edición; Ed. Continental Vol. 1; México.
10. Paul, Wright; 1994; Introducción a la Ingeniería; Primera Edición; Ed. Addison; Estados Unidos.
11. Ochoa Jaime en 1994 ha elaborado la tesis "Estudio técnico - económico de la perdida de calor y determinación del aislante óptimo en la planta piloto de alcohol de la FIQ - UNAP"