

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
RAFIA EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE SACOS INDUSTRIALES**

Trabajo de graduación presentado por Pietro Alfredo Rojas Marroquín
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química
Industrial

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



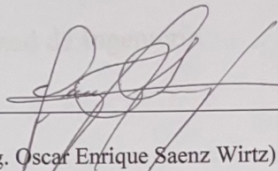
**ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
RAFIA EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE SACOS INDUSTRIALES**

Trabajo de graduación presentado por Pietro Alfredo Rojas Marroquín
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química
Industrial

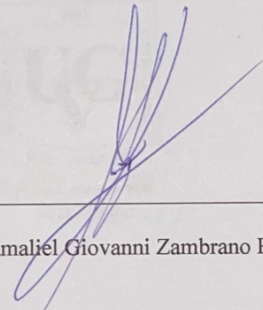
Guatemala,

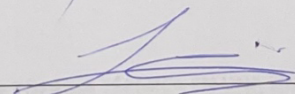
2021

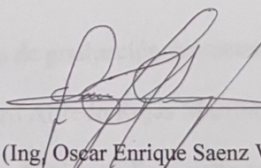
Vo.Bo.:

(f) 
(Ing. Oscar Enrique Saenz Wirtz)

Tribunal Examinador:

(f) 
(Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano)

(f) 
(Ing. Luis Ernesto Núñez Gonzalez)

(f) 
(Ing. Oscar Enrique Saenz Wirtz)

Fecha de aprobación: Guatemala 14 de Diciembre de 2021

ÍNDICE

Lista de figuras	viii
Lista de cuadros.....	x
Lista de ecuaciones	xi
Resumen.....	xii
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
A. General	2
B. Específicos	2
III. Justificación.....	3
IV. Marco teórico	4
A. Polipropileno.....	4
B. Rafia.....	5
C. Intercambiador de calor carcasa y tubos.....	5
D. Enfriador	6
E. Polipropileno a rafia	9
F. Métodos de transferencia de calor	10
G. Conductividad térmica.....	12
H. Radio crítico de aislamiento	12
I. Aislante térmico.....	13
J. Análisis térmico de intercambiador	14
K. ISO 50001	15
L. Economía circular	15
M. Análisis térmico de tuberías.....	16
N. Antecedentes.....	17
V. Metodología	18
VI. Resultados	23
VII. Análisis de resultados.....	25
VIII. Conclusiones	30
IX. Recomendaciones.....	31
X. Bibliografía.	32
XI. Anexo	33

XII.	Guía de análisis de consumo de energía térmica.	66
XIII.	Glosario	69

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del polipropileno.	4
Figura 2. Telares de sacos de polipropileno con rafia.....	5
Figura 3. Diagrama general intercambiador.....	6
Figura 4. Funcionamiento general de enfriador.	7
Figura 5. Diagrama de compresor scroll.	8
Figura 6. Diagrama de extrusión.	9
Figura 7. Movimiento por convección.	11
Figura 8. Ejemplo de métodos de transferencia de calor.	11
Figura 9. Gráfica de comportamiento radio de aislamiento vs calor.	13
Figura 10. Composición química del neopreno y su monómero cloropreno.	14
Figura 11. Diagrama de tubería con aislante.....	16
Figura 12. Circuito de enfriamiento para aislante deteriorado.....	37
Figura 13. Circuito térmico para tuberías con aislante propuesto en buen estado.	39
Figura 14. Rafia previa a embobinado.	45
Figura 15. Extrusión de película de PP a tanque de enfriado.....	46
Figura 16. Película de PP después de tanque de enfriado.	47
Figura 17. Corte de PP a rafia con cuchillas.	48
Figura 18. Intercambiador de calor carcasa y tubos.....	49
Figura 19. Ficha técnica de aislante actual.....	50
Figura 20. Ficha técnica de neopreno.	51
Figura 21. Tubería exterior de enfriador con aislante en mal estado.	52
Figura 22. Enfriador de línea de intercambiadores de calor de extrusor.	53
Figura 23. Tolda de llenado de polipropileno en extrusor Starex 8.....	54
Figura 24. Tornillo de extrusión con calentadores.....	55
Figura 25. Medición de temperatura con termómetro láser en entrada de agua de chiller a intercambiador.....	56
Figura 26. Diagrama de extrusor.....	57
Figura 27. Placa de datos de bomba de intercambiador.....	58
Figura 28. Termómetro de tanque de enfriado de película de polipropileno.	59
Figura 29. Carta psicrométrica.	60
Figura 30. Comportamiento de pérdida de calor con el espesor de aislante.	62

Figura 31. Diagrama de alcance de estudio realizado en planta.	63
Figura 32. Cotización detallada de una coquilla de 1.82m de largo de neopreno.....	65

Lista de cuadros

Cuadro 1. Mejoras propuestas para reducción de pérdidas térmicas en la línea de producción de rafia de polipropileno.	23
Cuadro 2. Calor transferido a película extruida y pedidas térmicas totales de la línea de producción de rafia de polipropileno.	23
Cuadro 3. Coeficiente de transferencia de calor calculado para tubería en mal estado (actual). ...	23
Cuadro 4. Pérdidas térmicas actuales en tuberías de transporte de agua de enfriamiento a línea de producción de rafia con aislante de lana minera (actual).	24
Cuadro 5. Pérdidas térmicas en tuberías de transporte de agua de enfriador a línea de producción de rafia con aislante de Neopreno (Sugerido).	24
Cuadro 6. Temperatura de entrada y salida de intercambiador de calor de extrusora starex 8.	33
Cuadro 7. Flujo másico de agua fluyendo en intercambiador de calor de extrusora starex 8.	33
Cuadro 8. Distribución y largo de tuberías de transporte de agua de enfriamiento a línea de producción de rafia.	34
Cuadro 9. Diámetro interno y externo de tubería sin aislante.	34
Cuadro 10. Temperaturas medidas ambiente y fluido.	34
Cuadro 11. Área lateral de superficie de tuberías en línea de distribución de enfriador a intercambiadores de calor de extrusoras.	34
Cuadro 12. Calor transferido al tanque de enfriado de película de polipropileno por intercambiador en Joules.	42
Cuadro 13. Conductividad térmica de los materiales aislantes y el acero.	43
Cuadro 14. Presión de vapor y temperatura de rocío calculada.	43
Cuadro 15. Parámetros para la elección del material aislante en el sistema estudiado enfriador – extrusor.	43
Cuadro 16. Coeficientes convectivos utilizado en los cálculos de calor transferido.	43
Cuadro 17. Análisis costo beneficio de cambio de aislante propuesto.	44

Lista de ecuaciones

- Ecuación 1. Calor.
- Ecuación 2. Equivalencia del Joule.
- Ecuación 3. Calor perdido al ambiente por la tubería con aislante.
- Ecuación 4. Proporción de aislante en buen estado
- Ecuación 5. Resistencia térmica para circuito de enfriamiento con aislante deteriorado.
- Ecuación 6. Calor por unidad de longitud aislada.
- Ecuación 7. Calor por unidad de longitud sin aislar.
- Ecuación 8. Calor total por unidad de longitud.
- Ecuación 9. Resistencia térmica fluido en tubería.
- Ecuación 10. Resistencia térmica acero.
- Ecuación 11. Resistencia térmica aislante.
- Ecuación 12. Resistencia térmica aire.
- Ecuación 13. Resistencia térmica equivalente de tubería con aislante propuesto en buen estado.
- Ecuación 14. rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante en buen estado.
- Ecuación 15. Cálculo de la presión de vapor.
- Ecuación 16. Presión de vapor con humedad relativa.
- Ecuación 17. Área lateral de superficie.
- Ecuación 18. Cálculo de radio crítico de aislamiento.
- Cálculo 1. Cálculo de transferencia de calor de intercambiador a tanque de enfriado de película de polipropileno.
- Cálculo 2. Calor perdido por tubería con aislante térmico Neopreno.
- Cálculo 3. Incertidumbre de los valores calculados en el intercambiador de calor con los datos del termómetro láser.

Resumen

El objetivo principal es proponer mejoras para el consumo de energía térmica en una línea de producción de rafia de una empresa productora de sacos industriales, midiendo la potencia utilizada para identificar los puntos de mayor consumo. Actualmente se tiene una transferencia de calor del intercambiador al tanque de agua de enfriamiento de la película de polipropileno, que corresponde a -45.64kw . Las pérdidas térmicas con el aislante actual en la distribución de tuberías de agua de enfriador a extrusores son de -0.106kw por metro lineal de tubería. Por otro lado, el análisis de cambio de aislante muestra una mejora con pérdidas térmicas de -0.047kw por metro lineal de tubería. Se determinó que con el cambio de aislante se tendrá una reducción de pérdidas térmicas en las tuberías del 55.81% con respecto al actual, esto se traduce en una reducción no solo de las pérdidas térmicas si no también en un aumento en la eficiencia del enfriador ya que este necesitara menor cantidad de energía para poder suplir a los equipos que requieran agua de enfriamiento, el ahorro económico por el cambio de aislante es de Q12,917.00/ mes. Se sugiere darle atención especial a los equipos y tuberías que no tienen o tienen un aislante que no cumple o podría ser mejorado, para disminuir las pérdidas de calor a los alrededores ya que estas pérdidas térmicas se traducen a pérdidas monetarias.

I. Introducción

El análisis térmico se basa en la evaluación de las pérdidas de calor actuales para una mejora continua con un conocimiento más profundo de la línea. En este análisis se contempla la energía térmica utilizada en la línea de producción de rafia la cual es el agua de enfriamiento de enfriador, esta involucra directamente la distribución de tuberías de transporte de agua de enfriamiento y, por lo tanto, el aislante de estas. La rafia es un hilo de fibra sintética o natural, obtenido por extrusión de poliolefinas (polietileno y polipropileno). La rafia es tenaz y gruesa, se usa en la industria del cordado y en la textil como materia prima en sustitución del yute. Esta se obtiene luego de extruir la lengua de polipropileno es cortada con el ancho deseado (En la Figura 15 en anexos se puede observar el corte de la lengua).

La energía térmica se define como la energía interna de un sistema termodinámico que se encuentra en equilibrio, es proporcional a la temperatura del sistema e incrementa o disminuye por transferencia de energía en forma de calor o trabajo del o hacia el sistema. El sistema consta de una extrusora de rafia y una torre de enfriamiento, los enfriadores por agua usan torres de enfriamiento para eliminar el calor. Por otra parte, los enfriadores de aire eliminan el calor a través de su condensador, al igual que un equipo de aire acondicionado tradicional. Un indicador de las pérdidas de calor actuales es la cantidad de energía que se pierde en las tuberías que van del enfriador hacia el extrusor de rafia. Las técnicas de reducción se basan en un análisis de los principales puntos de pérdidas de calor en la tubería y el estudio de un aislante con características que se adapten más al sistema actual. El indicador económico de las pérdidas se basa en los Watts contabilizados que se pierden durante el proceso de enfriamiento.

Las pérdidas de calor pueden verse afectadas por la temperatura ambiente y el material a extruir. Un aislante térmico es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. La acción y efecto de su aplicación se conoce como aislamiento térmico, ya que establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa. El radio crítico de aislamiento es la medida del radio de un aislante en el que la transferencia de calor es máxima o la resistencia del flujo de calor es muy baja, por lo que al colocar un material aislante se debe verificar que el radio externo de este sea mayor al radio crítico o que el radio crítico sea menor al radio del exterior cilindro, para que cumpla debidamente con su propiedad de aislante. Estos conceptos antes mencionados se profundizan en el marco teórico.

II. Objetivos

A. General

Proponer mejoras para el consumo de energía térmica en una línea de producción de rafia de una empresa productora de sacos industriales, midiendo la potencia utilizada para identificar los puntos de mayor consumo.

B. Específicos

- Realizar un análisis de la transferencia de calor del fluido de película extruida de la línea de polipropileno para encontrar los mayores puntos de pérdidas de calor actuales.
- Realizar un modelo matemático para el cálculo de la resistencia térmica del aislante actual utilizado en la línea de producción de rafia en el sistema enfriador – extrusor para determinar las pérdidas de calor actuales totales en la tubería.
- Evaluar el aislante actual utilizado en las tuberías de enfriador a la línea de producción de rafia, midiendo las pérdidas de calor a lo largo del sistema y proponer un aislante para reducir las pérdidas de calor actuales.

III. Justificación

En la industria en general, las pérdidas por energía térmica son de gran significancia debido al impacto que generan no solo en el ambiente si no en la economía y eficiencia de los procesos. La industria de producción de sacos mundialmente se caracteriza por tener la mayoría de los procesos térmicos ligados a la red de energía eléctrica, estos procesos térmicos suelen ser los que mayor impacto económico y es por tal razón que se busca reducir al máximo las pérdidas de calor de dichos procesos.

La energía eléctrica es la principal fuente de energía para el accionamiento de los equipos de procesamiento de sacos, y puede llegar a representar entre el 20% y el 30% de los costos operacionales en una planta de transformación (Naranjo, 2012) Adicionalmente, procesos posteriores a la extrusión, como sistemas de estirado y corte, también pueden requerir el uso de motores eléctricos. En condiciones ideales, el 50% del total de la energía se usa para impulsar el tornillo de extrusión y el restante es empleado para sistemas de calentamiento, refrigeración, equipos auxiliares y servicios.

Actualmente, en la empresa de producción de sacos industriales estudiada se tienen oportunidades de reducir significativamente las pérdidas de energía térmica en el sistema de producción de rafia de polipropileno, ya que los aislantes actuales del enfriador pueden ser mejorados para reducir las pérdidas de calor en el enfriamiento de la línea. Se demostró que existe una mejora significativa al realizar los cambios correspondientes sugeridos y oportunidades replicables en otras áreas similares como la línea de polietileno o fugas de compresores. La ISO 50001 es un rango establecido de estándares para para el consumo eficiente de la energía. ISO 50001, específica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía (EMS). El propósito de un EMS es ayudar a las organizaciones a reducir continuamente su uso de energía. Las organizaciones que logran esta certificación ISO pueden reducir y administrar continuamente sus costos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

El estudio y análisis tiene como fin el ahorro térmico y por ende el económico constante, para la reducción de costos respecto a las pérdidas térmicas actuales de la línea de producción de rafia. Se demostró que existe una mejora viable con un beneficio de ahorro térmico y económico dentro de la empresa.

IV. Marco teórico

A. Polipropileno

El Polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero aleatorio y copolímero de alto impacto), los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos. El polipropileno es un tipo de plástico que puede ser moldeado con la calefacción solamente, es decir, es un termoplástico. Tiene propiedades similares al polietileno (PE), pero con un punto de ablandamiento más alto. (Arlie, 1990)

Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo El polipropileno, pertenece al grupo de los termoplásticos, es una cadena larga de polímero, hecha del monómero de propileno. Después de la exposición del propileno al calor y a la presión con un catalizador activo metálico, el monómero de propileno se combina para formar una cadena larga de polímero, llamada “propileno”, del griego “poly” que significa muchos y “mero” que significa unidades. (Arlie, 1990)

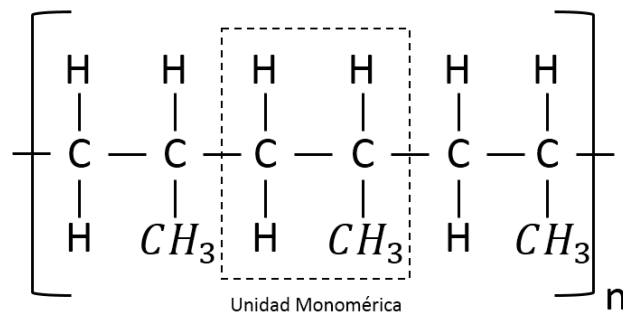


Figura 1. Estructura del polipropileno.

(Arlie, 1990)

B. Rafia

La rafia es un hilo de fibra sintética o natural, obtenido por extrusión de poliolefinas (polietileno y polipropileno). La rafia es tenaz y gruesa, se usa en la industria del cordado y en la textil como materia prima en sustitución del yute. Esta se obtiene luego de extruir la lengua de polipropileno es cortada con el ancho deseado (En la Figura 15 en anexos se puede observar el corte de la lengua).

Esta es el producto principal en la producción de sacos de polipropileno tejidos con telares. El proceso consta de el tejido de la rafia en un telar (como el que se muestra en la Figura 2) de esta manera se crea una especie de cilindro continuo el cual es embobinado, cortado y cosido para terminar el saco de polipropileno.

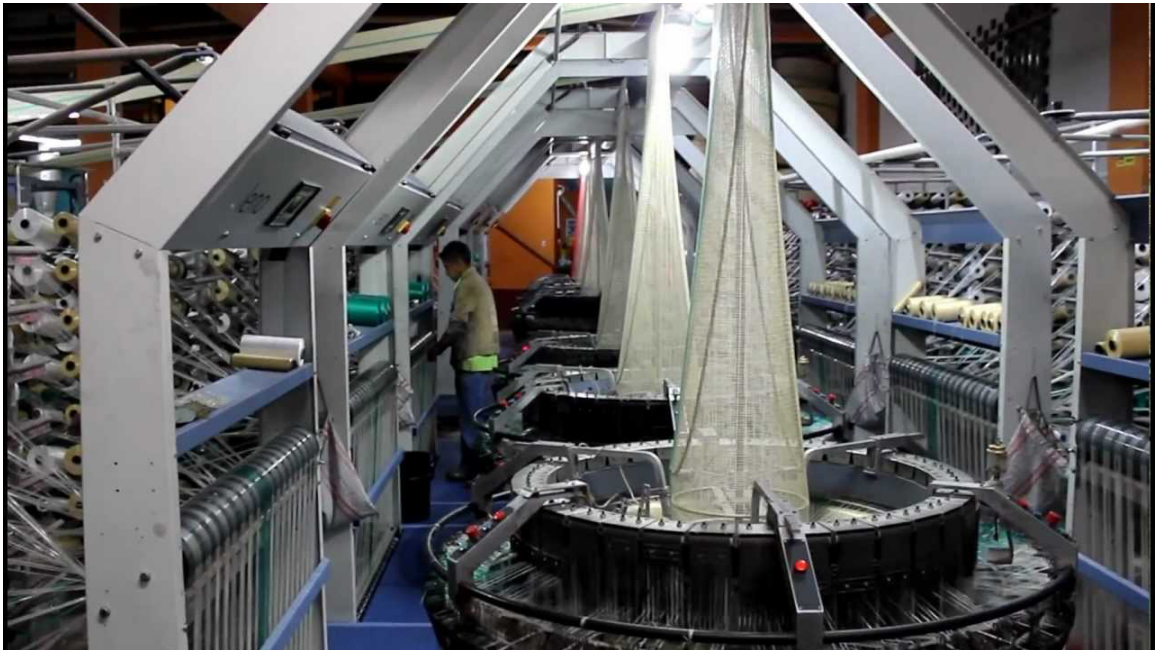


Figura 2. Telares de sacos de polipropileno con rafia.

C. Intercambiador de calor carcasa y tubos

Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos están compuestos por tubos cilíndricos, montados dentro de una carcasa también cilíndrica, con el eje de los tubos paralelos al eje de la carcasa. Un fluido circula por dentro de los tubos, y el otro por el exterior (fluido del lado de la carcasa). Son el tipo de

intercambiadores de calor más usado en la industria. Se usa una amplia variedad de configuraciones en los intercambiadores de calor de carcasa y tubos, dependiendo del desempeño deseado de transferencia de calor, caída de presión y los métodos empleados para reducir los esfuerzos térmicos, prevenir fugas, fácil mantenimiento, soportar las presiones y temperaturas de operación, y la corrosión. (Mendoza, 2006)

Los tubos son los componentes fundamentales, proporcionando la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior de los tubos, y la carcasa. Los tubos pueden ser completos o soldados y generalmente están hechos de cobre o aleaciones de acero. Otras aleaciones de níquel, titanio o aluminio pueden ser requeridas para aplicaciones específicas. Los tubos se mantienen en su lugar al ser insertados dentro de agujeros en la placa tubular, fijándose mediante expansión o soldadura. La placa tubular es generalmente una placa de metal sencilla que ha sido taladrada para albergar a los tubos (en el patrón deseado), las empaaduras y los pernos. En el caso de que se requiera una protección extra de las fugas puede utilizarse una doble placa tubular. (Mendoza, 2006)

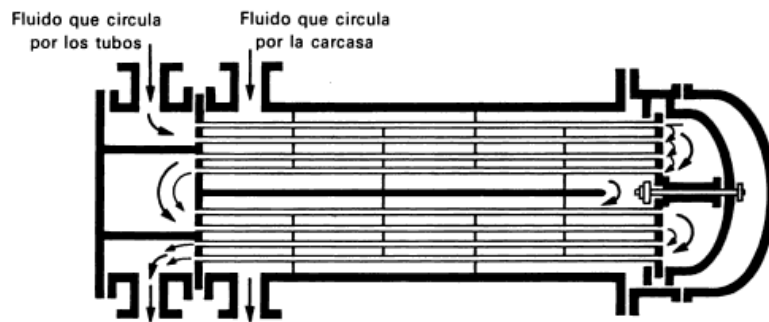


Figura 3. Diagrama general intercambiador.

(Mendoza, 2006)

D. Enfriador

Un Chiller es una unidad enfriadora de líquidos. Un enfriador es capaz de enfriar el ambiente usando la misma operación de refrigeración que los aires acondicionados o deshumidificadores, enfría el agua, aceite o cualquier otro fluido. Esta solución enfriada puede ser usada en un amplio rango de operaciones. Estas se clasifican de acuerdo con el método que utilizan para eliminar el calor no deseado retenido en la instalación. Existen dos tipos de enfriadores: las unidades de enfriamiento por agua y por aire. (Pita, 1991)

Los enfriadores por agua usan torres de enfriamiento para eliminar el calor. Por otra parte, los enfriadores de aire eliminan el calor a través de su condensador, al igual que un equipo de aire acondicionado tradicional. Por lo general, los lugares predilectos para colocarlos son el techo o el sótano. Los enfriadores de aire tienden a ser colocados en el techo, mientras que los de agua se colocan en el sótano para evitar pérdidas. (Pita, 1991)

Un enfriador de enfriamiento usa gas refrigerante para mover el calor entre el evaporador y el condensador. En el caso de los sistemas de enfriamiento por agua, esta se genera en el evaporador y es enviada a través del edificio por una bomba para recolectar el calor no deseado y lo regresa al evaporador para enfriarlo. Luego, el refrigerante junta este calor y lo mueve al condensador. En este punto, el condensador envía todo el calor recolectado a las torres de enfriamiento. Finalmente, el aire caliente pasa a unas bobinas de enfriamiento, las cuales enviarán el calor a la atmósfera través de ventiladores. En el diagrama mostrado en la Figura 4 se muestra el funcionamiento general de un enfriador. (Pita, 1991)

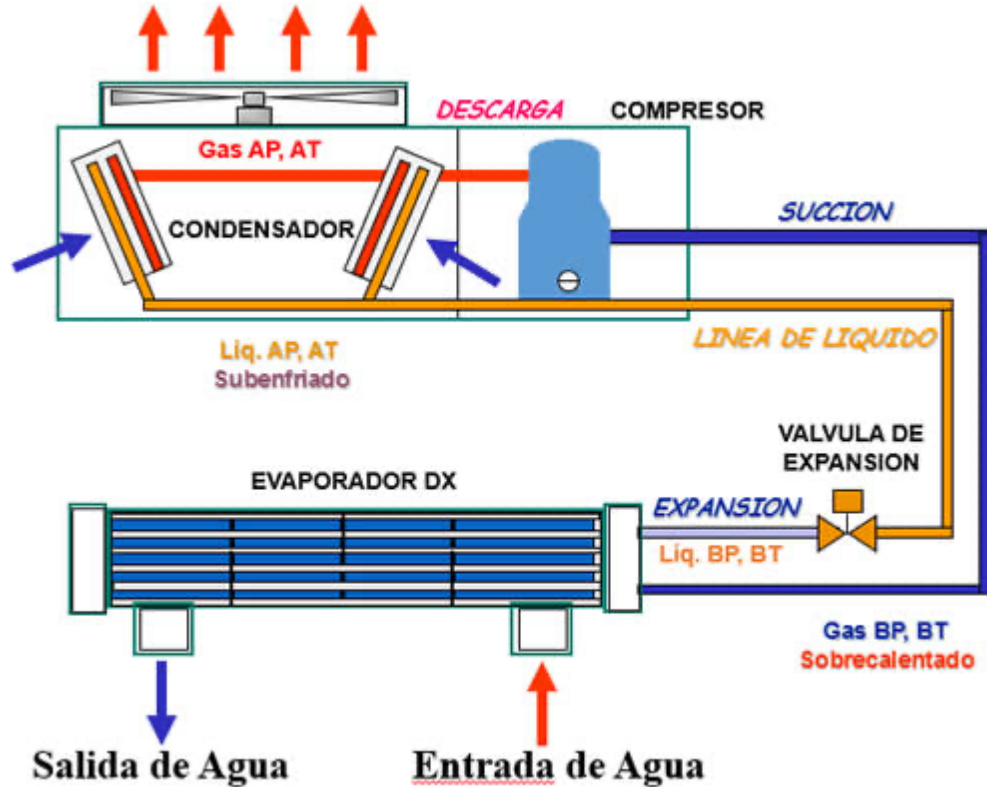


Figura 4. Funcionamiento general de enfriador.

El compresor es el elemento más importante del enfriador ya que es el encargado de generar una diferencia de presión que permite al refrigerante circular indefinidamente en el sistema. La función del compresor es elevar la presión y temperatura del refrigerante en forma de gas para después enviarlo al condensador. El tipo de compresor se selecciona según la aplicación y capacidad del equipo. Los compresores Scroll se usan en rangos de 1 a 100 Toneladas de refrigeración, mientras que los compresores tipo tornillo se usan en capacidades de 100 a 300 toneladas aproximadamente. Por otro lado los compresores del tipo centrífugo van desde las 150 toneladas hasta capacidades de 2000 toneladas o mas. Los compresores también se clasifican en herméticos, semiherméticos o abiertos. Los compresores herméticos se usan para equipos de baja capacidad, es decir hasta 100 Toneladas.

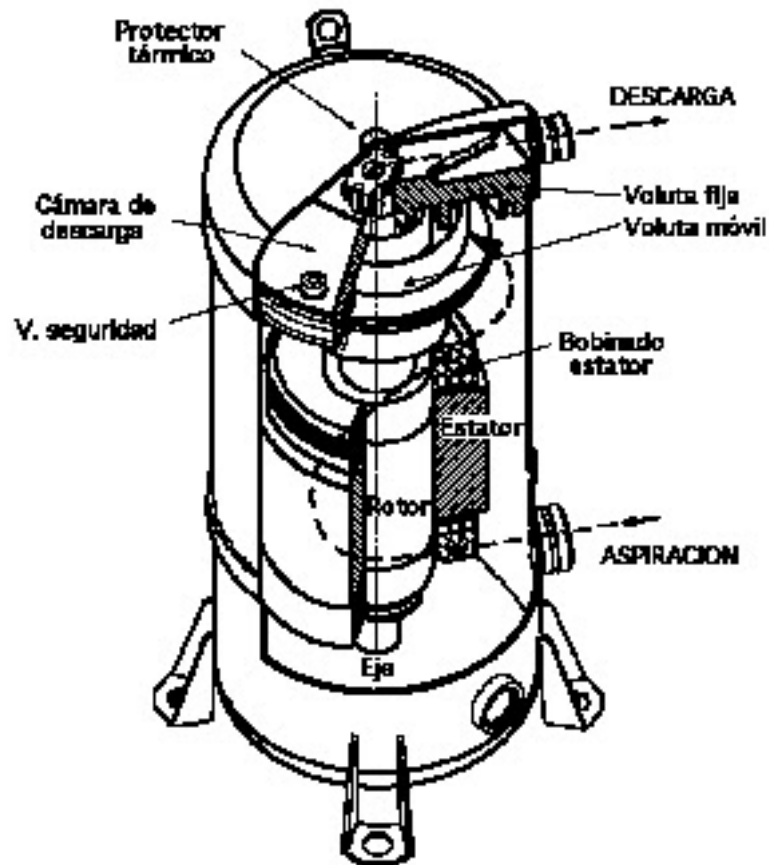


Figura 5. Diagrama de compresor scroll.

(Arlie, 1990)

E. Polipropileno a rafia

La conversión de la materia prima (PP) en rafia se basa principalmente en la extrusión. La extrusión de polímeros es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de moldeado del plástico, que, por flujo continuo con presión y empuje, se le hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido (o en estado visco elástico) es forzado a pasar a través de un dado también llamado cabezal, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. Robert W. (2010)

En el caso de la producción de rafia en la empresa productora de sacos se obtiene una película del espesor deseado luego de la extrusión, seguido a esto esta película pasa por un tanque de agua fría y es cortada con cuchillas paralelas para obtener el hilo el cual pasa por rodillos de calentamiento para darle las propiedades de tensión necesarias. (Se puede observar el hilo previo al embobinado en la Figura 12 en anexos) como paso final este es enrollado en carretes en la embobinadora, los cuales serán utilizados en diversos procesos luego. En la Figura 4 se puede observar el diagrama del proceso de extrusión en si, este comienza con la introducción de la materia prima por la tolva la cual ingresa al tornillo con calentadores que lo funden y extruyen por el cabezal formador.

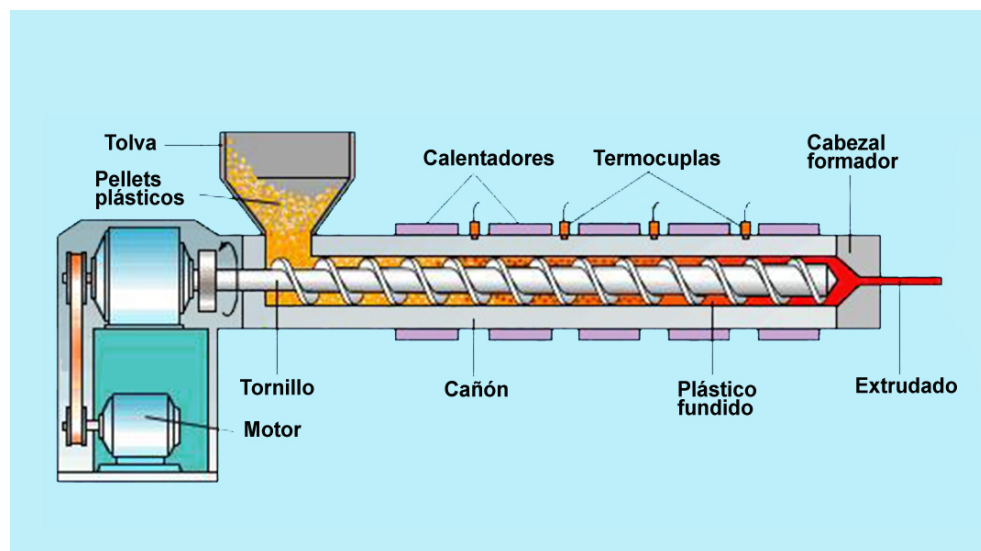


Figura 6. Diagrama de extrusión.

Robert W. (2010)

La extrusión es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados son la habilidad para crear secciones transversales muy complejas con materiales que son quebradizos, porque el material solamente encuentra fuerzas de compresión y de cizallamiento. Además, las piezas finales se forman con una terminación superficial excelente. a extrusión en caliente se hace a temperaturas elevadas, así se evita el trabajo forzado y hacer más fácil el paso del material a través del troquel. La mayoría de la extrusión en caliente se realiza en prensas hidráulicas horizontales con rango de 250 a 12.000 t. Rangos de presión de 30 a 700 Mpa, por lo que la lubricación es necesaria, puede ser aceite o grafito para bajas temperaturas de extrusión, o polvo de cristal para altas temperaturas de extrusión. La mayor desventaja de este proceso es el costo de las maquinarias y su mantenimiento.

F. Métodos de transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez transferencia de calor o transmisión de calor o transferencia térmica. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta. Robert W. (2010)

En general, se reconocen tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Para que se produzca convección, tiene que haber un transporte mecánico de masa además de una diferencia de temperatura, sin embargo, teniendo en cuenta que la convección también transfiere energía de zonas con mayor temperatura a zonas con menor temperatura, normalmente se admite el modo transferencia de calor por convección. Robert W. (2010)

Conducción: Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material por contacto directo entre sus partículas, cuando existe una diferencia de temperatura y en virtud del movimiento de sus micropartículas. El medio puede ser sólido, líquido o gaseoso, aunque en líquidos y gases solo se da la conducción pura si se excluye la posibilidad de convección. Robert W. (2010)

Convección: La transmisión de calor por convección se compone de dos mecanismos simultáneos. El primero, es la transferencia de calor por conducción, debido al movimiento molecular, a la que se superpone la transferencia de energía por el movimiento de fracciones del fluido que se mueven accionadas por una fuerza externa, que puede ser un gradiente de densidad (convección natural), o una diferencia de presión producida mecánicamente (convección forzada) o una combinación de ambas. En la Figura 7 se muestra el movimiento de las corrientes de convección en un tanque con calentamiento.

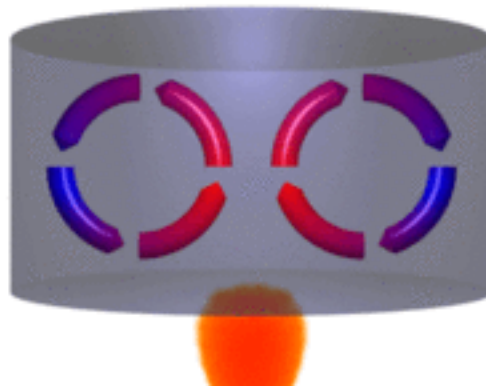


Figura 7. Movimiento por convección.

Radiación: Se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

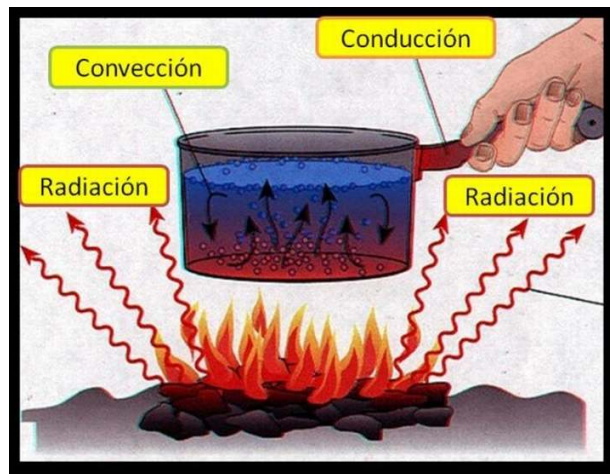


Figura 8. Ejemplo de métodos de transferencia de calor.

Robert W. (2010)

G. Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(m \cdot K)$ La conductividad térmica es una magnitud intensiva. Su magnitud inversa es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. (Resnik, 2002)

Es elevada en metales y en general en cuerpos continuos, es baja en polímeros, y muy baja en algunos materiales especiales como la fibra de vidrio, que se denominan por ello aislantes térmicos. Para que exista conducción térmica hace falta una sustancia, de ahí que es nula en el vacío ideal, y muy baja en ambientes donde se ha practicado un vacío bajo. (Resnik, 2002)

El coeficiente de conductividad térmica (κ) caracteriza la cantidad de calor necesario por m^2 , para que atravesando durante la unidad de tiempo, 1 m de material homogéneo obtenga una diferencia de $1^\circ C$ de temperatura entre las dos caras. (Resnik, 2002)

H. Radio crítico de aislamiento

El radio crítico de aislamiento es la medida del radio de un aislante en el que la transferencia de calor es máxima o la resistencia del flujo de calor es muy baja, por lo que al colocar un material aislante se debe verificar que el radio externo de este sea mayor al radio crítico o que el radio crítico sea menor al radio del exterior cilindro, para que cumpla debidamente con su propiedad de aislante. En la Figura 9 se muestra la gráfica de comportamiento de el espesor de aislante, se puede observar como el calor máximo transferido se encuentra en la intersección con el radio crítico, y al aumentar el espesor de aislamiento se puede notar una reducción del calor perdido. En la Figura 29 se puede verificar gráficamente el comportamiento del aislante conforme se aumenta o reduce su espesor de una manera más detallada. En la ecuación 7 en anexos se puede observar la fórmula para la obtención del radio crítico.

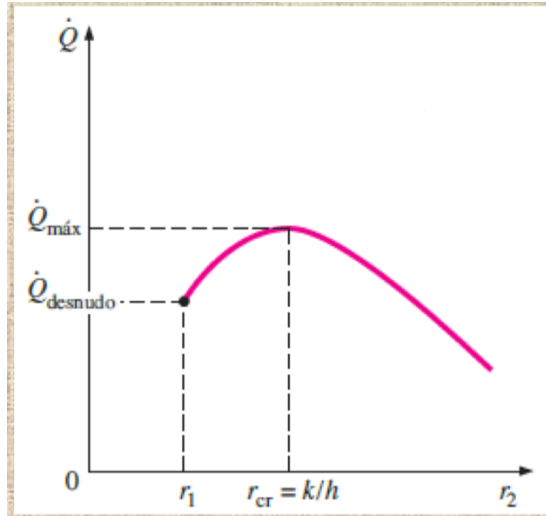


Figura 9. Gráfica de comportamiento radio de aislamiento vs calor.

I. Aislante térmico

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. La acción y efecto de su aplicación se conoce como aislamiento térmico, ya que establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa (como una vivienda o una nevera) con el ambiente que lo rodea. El fin es reducir las pérdidas de energía térmica transferida por conducción de nuestro sistema al ambiente.

La espuma de polietileno se caracteriza por ser económica, hidrófuga y fácil de colocar. Con respecto a su rendimiento térmico se puede decir que es de carácter medio. Su terminación es de color blanco o aluminio. Neopreno o policloropreno es una familia de cauchos sintéticos que se producen por polimerización de cloropreno. El neopreno presenta una buena estabilidad química y mantiene la flexibilidad en un amplio rango de temperaturas, asimismo es un material resistente a incendios por lo que es ampliamente utilizado en la industria. El nombre neopreno es la marca comercial del polímero de cloropreno. En la Figura 10 se muestra la composición del cloropreno y su conversión al polímero neopreno.

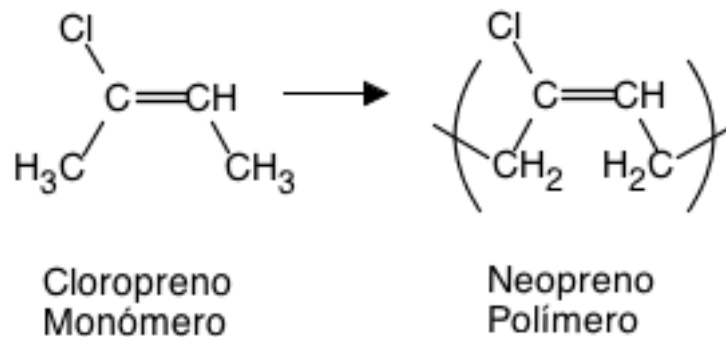


Figura 10. Composición química del neopreno y su monómero cloropreno.

Cuando se requieren aislantes para agua a temperatura menor que el ambiente se busca que la temperatura superficial sea menor a la del punto de rocío del sistema, esto es calculado con la presión de vapor y la carta psicométrica que se puede observar en la Figura 27 de anexos.

J. Análisis térmico de intercambiador

A lo largo del proceso de producción de rafia se utiliza un intercambiador de calor para enfriar un tanque de agua que funciona para bajar la temperatura de la película de polipropileno antes del corte (ver Figura 13 en anexos) este produce pérdidas térmicas al ambiente por lo que es de vital importancia su estudio y análisis de pérdidas y transferencia al tanque para conocer los mayores puntos de pérdidas térmicas en el proceso. La transferencia de calor del intercambiador al tanque de agua se da por conducción, se calcula por medio de la ecuación de calor (ver ecuación 1). (Resnik, 2002)

$$Q = mCp\Delta T$$

Ecuación 1. Calor. (Resnik, 2002)

En donde:

Q = calor (J)

m = flujo másico (kg/s)

Cp = capacidad calorífica del agua (J/kg*k)

ΔT = cambio de temperatura (K)

El calor está dado en joules, es la unidad derivada del Sistema Internacional utilizada para medir energía, trabajo y calor. Como unidad de trabajo, el julio se define como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton en un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza. En esta definición, al ser tan específica, no se consideran tipos de resistencia como el roce del aire. Su símbolo es J, con mayúscula y sin punto, como todos los símbolos de unidades del SI que derivan de nombres de persona. En la ecuación 2 se puede comprender más a fondo el joule con su equivalencia dada.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot \text{m} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Ecuación 2. Equivalencia del Joule. Robert W. (2010)

La capacidad calorífica o capacidad térmica de un cuerpo es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En una forma más rigurosa, es la energía necesaria para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una unidad de temperatura. La capacidad calorífica se expresa en su sistema internacional de medidas como (J/kg*K). (Resnik, 2002)

K. ISO 50001

La ISO 50001 es un rango establecido de estándares para para el consumo eficiente de la energía. ISO 50001, especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía (EMS). El propósito de un EMS es ayudar a las organizaciones a reducir continuamente su uso de energía. Las organizaciones que logran esta certificación ISO pueden reducir y administrar continuamente sus costos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. (Martínez, 2014)

L. Economía circular

Una economía circular es aquella que intercambia el ciclo típico de fabricación, uso y disposición a favor de la mayor reutilización y reciclaje posible. Cuanto más tiempo se usan los materiales y los recursos,

más valor se extrae de ellos. La economía circular propone cambiar la forma de producir y de consumir para poder tener un crecimiento económico, ya que la expansión del PIB se basa en un alto porcentaje en la extracción de materia prima de la naturaleza, pero esto llega a su punto límite. (Martínez, 2014)

M. Análisis térmico de tuberías

El análisis térmico de tuberías se basa en evaluar las pérdidas de calor de el agua que va del enfriador al intercambiador de calor de la línea por toda la distribución de tuberías. Se tomaron mediciones de temperatura de salida de agua de enfriador para evaluar las pérdidas. Se obtiene el calor perdido al ambiente por medio de la ecuación 3 utilizando el diagrama de tubería mostrado en la Figura 11 para el aislante actual y compararlo con el aislante propuesto. (Robert W. 2010)

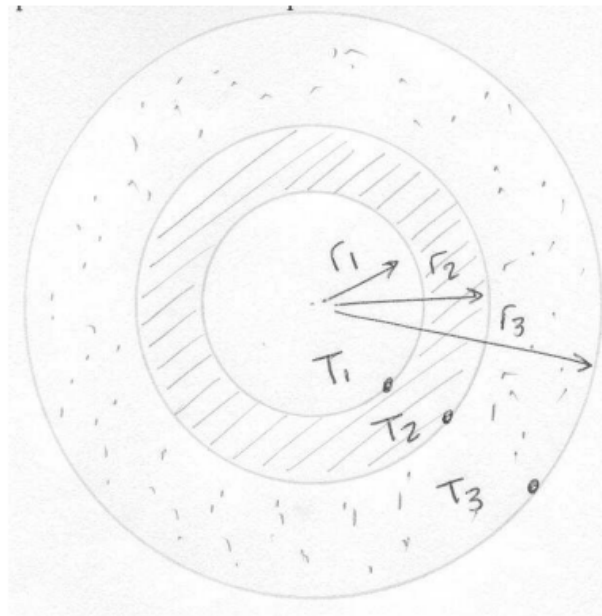


Figura 11. Diagrama de tubería con aislante.

(Kong, 2017)

$$q = - \frac{(2 \pi L) (T_3 - T_1)}{(1/k_A) \ln (r_2 / r_1) + (1/k_B) \ln (r_3 / r_2)}$$

Ecuación 3. Calor perdido al ambiente por la tubería con aislante. (Kong, 2017)

q = calor transferido al ambiente (W)

L = largo de tubería (m)

T_3 = temperatura ambiente (K)

T_1 = Temperatura del fluido (K)

k_a = Conductividad térmica tubería (W/m*K)

k_b = Conductividad térmica aislante (W/m*K)

La unidad de medida del calor transferido al ambiente es el watt. El watt es la unidad derivada coherente del Sistema Internacional de Unidades (SI) para la potencia. Su símbolo es W. Es igual a 1 joule por segundo (1 J/s). El watt-hora (Wh) se usa para expresar la cantidad de energía, no de potencia, que se puede generar o utilizar en una hora. Se podría definir como la energía necesaria para mantener una potencia constante de 1 vatio durante una hora. 1 Wh equivale a 3600 julios (J) y 1 kWh a 3,6 MJ.

N. Antecedentes

En 2018 estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad del Valle de Guatemala llevan a cabo el módulo de megaproyecto “Determinación de pérdidas térmicas y eficiencias en intercambiadores de calor de coraza y tubos, y de placas, mediante balances de energía” el cual tiene como objetivo identificar y analizar las pérdidas de equipos de transferencia de calor en un ingenio azucarero y proponer los materiales y espesores de aislantes para reducir las pérdidas actuales. Se obtuvieron resultados beneficiosos para el ingenio ya que lograron reducir sus pérdidas energéticas hasta un 40% en puntos de interés del proceso analizado en el proyecto.

En 2017, Marta Palomo Cano, estudiante de arquitectura de la Escuela politécnica de Madrid, realiza el estudio en grado de tesis de “AISLANTES TÉRMICOS. CRITERIOS DE SELECCIÓN POR REQUISITOS ENERGÉTICOS” que tiene como objetivo definir los criterios de selección de aislantes en los diferentes puntos de procesos tanto arquitectónicos como ingenieriles. Este nos explica los procesos utilizados y estándares para la correcta medición de las pérdidas térmicas y cómo abordar correctamente la mejora del proceso.

V. Metodología

A. Recolección de datos

1. Se solicitó a la empresa de producción de sacos los datos de temperatura y caudal durante una producción de rafia en la línea estudiada, por lo cual se tomó la decisión de medirlos durante la producción utilizando un termómetro láser y los paneles de los equipos que constaban con termos sensores, asimismo se utilizó el sensor de caudal para la obtención de diversas corridas dependiendo de la producción en ese momento. Estos datos se encuentran descritos en la Tabla 7 en anexos.
2. Se solicitó la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en las líneas de producción los cuales están descritos en la Tabla 10 en anexos.
3. Se solicitó a la empresa de producción de sacos los datos de recubrimientos y aislantes térmicos actuales en la línea de distribución de enfriador a extrusoras, así como la información de proveedores de los aislantes. Esta información puede encontrarse en la Figura 17 en anexos.
4. Se midieron los datos de temperatura de entrada y de salida del intercambiador durante el día con una producción constante de rafia utilizando un termómetro láser, en la Figura 23 se puede observar la medición de los valores de temperatura.
5. Con los datos anteriormente descritos para los intercambiadores de calor se realizó una hoja de cálculo para el sistema donde se detallaban 4 columnas importantes, las cuales son: “temperatura de entrada”, “temperatura de salida”, “flujo másico” y “Capacidad calorífica”. En la columna “temperatura de entrada” se colocaron los datos de la temperatura de entrada de agua de enfriador a intercambiador de calor en el extrusor de la línea de producción de rafia. En la columna “temperatura de salida” se colocaron los datos de la temperatura de salida de agua de enfriador a intercambiador de calor en el extrusor de la línea de producción de rafia. En la columna “flujo másico” se colocó el flujo másico del intercambiador que se encargaba de enfriar el agua del tanque de la película de polipropileno luego del extruido. En la columna “capacidad calorífica” se colocó la capacidad calorífica del fluido con el que se iba a trabajar, en este caso es agua. Estos datos y registros están descritos en las Tablas 7-9 de anexos.
6. Con los datos anteriormente descritos para la distribución de tuberías se realizó una hoja de cálculo para el sistema donde se detallaban 8 columnas importantes, las cuales son: “largo tubería”, “espesor

de aislante”, “diámetro interno”, “diámetro externo”, “Temperatura ambiente”, “Temperatura del fluido”, “capacidad calorífica del acero”, “capacidad calorífica del aislante”. En la columna “largo tubería” se colocaron los datos de largo de la línea de distribución de tuberías de enfriador hacia el intercambiador del extrusor en la línea de producción de rafia. En la columna “espesor de aislante” se colocaron los datos de los espesores actuales y sugeridos para el cambio de el recubrimiento de la tubería. En la columna “diámetro interno” se colocó el diámetro interno de la tubería con base en el teórico para una tubería de acero de 3”. En la columna “diámetro externo” se colocó el diámetro externo de la tubería con base en el teórico para una tubería de acero de 3”. En la columna “temperatura ambiente” se colocó la temperatura ambiente existente durante las mediciones de temperatura de fluido. En la columna “temperatura del fluido” se colocó la temperatura indicada por el termómetro láser asumiendo que esta era igual a la de la superficie de la tubería. En la columna “capacidad calorífica del acero” se colocó la capacidad media teórica para el acero. En la columna “capacidad calorífica del aislante” se colocó la capacidad calorífica del aislante actual y el sugerido respectivamente. Estos datos y registros están descritos en las Tablas 10-12 de anexos.

B. Determinación de transferencia de calor del sistema propuesto

1. Se delimitaron y escogieron los sistemas a medir, en este caso se medirán las pérdidas de calor por metro de la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en extrusores, se empezó por la medición de pérdidas de calor actuales para concretar y comprender la situación actual de la empresa en cuanto a pérdidas térmicas de calor. En la Figura 29 se puede observar el área de estudio involucrada.
2. Se llevó a cabo la medición de temperatura para encontrar los puntos de mayor perdida de calor en el sistema:
 - a. Con el termómetro láser suministrado se midió la temperatura de salida del intercambiador de calor utilizado en la línea de producción de rafia que va directo al extrusor Starex 8. Esta medición debe de realizarse en triplicado en la tubería a 1cm del intercambiador de calor directamente sobre el acero, se asume una conductividad total del calor del agua de enfriamiento hacia la superficie del tubo debido a la alta conductividad térmica del acero.
 - b. Con el termómetro láser suministrado se midió la temperatura de entrada al intercambiador de calor utilizado en la línea de producción de rafia que va directo al extrusor Starex 8. Esta medición debe de realizarse en triplicado en la tubería a 1cm del intercambiador de calor directamente sobre el acero, se asume una conductividad total del calor del agua de enfriamiento hacia la superficie del tubo debido a la alta conductividad térmica del acero.

- c. Se determinaron suposiciones para realizar los cálculos de transferencia de calor a la película extruida en la línea del extrusor Starex 8: La temperatura del ambiente se situó a 29°C, la cual fue tomada el día que se realizó la medición de las temperaturas con la termocupla y el termómetro infrarrojo. No se tiene en cuenta los efectos de la radiación, esto debido a que una de las suposiciones es que el cilindro es completamente de agua. La transferencia de calor por radiación suele considerarse para los materiales que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de este tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele ser despreciable hacia el interior del intercambiador.
- d. Utilizando la Ec. 1 se determinó el calor total transferido a la línea de extrusión Starex 8. Los valores de

$$Q = mC_p\Delta T$$

Ec. 1, Calor total transferido.

En donde:

Q = calor (J)

m = flujo másico (kg/s)

C_p = capacidad calorífica del agua (J/kg*k)

ΔT = cambio de temperatura (K)

C. Análisis de aislante térmico en tuberías

1. Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el proyecto se proponen las siguientes etapas para su ejecución:
 - Estudio de campo con instrumentos de medición: estos se realizaron con instrumentos proporcionados por la empresa para observar la conducta del cambio de la temperatura a lo largo de la tubería.

- Modelos matemáticos: con bases teóricas se realiza un modelo que presente un comportamiento similar al de las pruebas de campo. El desarrollo de estos modelos son detallados en anexos en la sección “c. Modelos matemáticos”
 - Implementación del modelo matemático: se implementa el modelo en el sistema para observar la variación de la energía y la resistencia térmica de los materiales en el estudio.
 - Estudio con diferentes materiales: en esta etapa se hace un análisis de forma general de los distintos materiales base para la escogencia final de uno del más adecuado para esta función.
 - Elección del material: se escogerá el material al que finalmente se le hacen los estudios específicos que permitan alcanzar los objetivos propuestos, basándose en distintos aspectos como costo, producción y protección al medio ambiente, entre otros.
 - Estudio económico: el precio de obtención y de producción del material, transporte y otros factores influyen en la decisión final de un material debido a que este producto debe ser de bajo costo para que sea viable para su implementación.
2. Se delimitaron y escogieron los sistemas a medir, en este caso se medirán las pérdidas de calor por metro de la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en extrusores, se empezó por la medición de pérdidas de calor actuales para concretar y comprender la situación actual de la empresa en cuanto a pérdidas térmicas de calor.
 3. Para la obtención de pérdidas térmicas hacia el ambiente se utilizó el modelo matemático para tubería con aislante actual deteriorado, descrito en anexo c.
 4. En el caso del ya instalado se tiene un aislante de lana mineral deteriorado el cual se encuentra más detallado en la Figura 17 de anexos, utilizando el espesor de aislante y el factor de conductividad térmica del mismo se aplica el modelo matemático para tubería con aislante actual deteriorado, descrito en anexo c. Para la obtención de las pérdidas actuales de energía en la línea de distribución.

5. Para la sugerencia de un aislante nuevo se tomó en cuenta la reducción de pérdidas de calor, costo de implementación, disponibilidad, durabilidad, mantenimiento y su capacidad calorífica para mantener la temperatura de enfriamiento para el extrusor Starex 8, esto se llevó a cabo utilizando la Tabla de puntuaciones encontrada en el Cuadro 15 en anexos. Al ser el neopreno el material con mayor puntaje para la implementación los cálculos se realizaron con base en esta sugerencia.

6. Se realizó un análisis económico de las pérdidas térmicas basados en los datos de pérdidas actuales y calculadas con el modelo matemático. Estos datos se calcularon con el precio actual de kWh para la empresa de Q1.28/kWh. Se utilizó la Ec. 4 para determinar las pérdidas económicas por energía térmica al ambiente y compararlo con el porcentaje de mejora del aislante propuesto.

VI. Resultados

Cuadro 1. Mejoras propuestas para reducción de pérdidas térmicas en la línea de producción de rafia de polipropileno.

Situación actual	Mejora propuesta	Porcentaje de mejora	Ahorro económico
Aislante de lana mineral en mal estado en tuberías de enfriador a extrusor Starex 8.	Cambio de aislante a neopreno para reducir las pérdidas térmicas en la línea.	55.81 %	Q12,917.00/mes
Enfriador de la línea está colocado bajo el sol.	Colocar un techo que de sombra al enfriador.	-	Q619.31/mes

*Porcentaje de mejora referido en unidades de energía (kW). Datos de pérdidas de calor al ambiente por energía solar obtenidos en cálculo 3 en anexos.

Cuadro 2. Calor transferido a película extruida y pedidas térmicas totales de la línea de producción de rafia de polipropileno.

Enunciado	Valor
Q transferido total promedio	45.64 ± 0.04 kW
Pérdidas totales actuales	-31.72 kW

*Datos obtenidos en cálculos 1 y 2 descrito en anexos.

Cuadro 3. Coeficiente de transferencia de calor calculado para tubería en mal estado (actual).

Sistema	Valor
Coeficiente de transferencia de calor	0.156 ± 0.04 W/m*k

*Datos de coeficiente de calor y pérdidas calculados con “Modelo matemático para tubería con aislante actual deteriorado” mostrado en anexos.

Cuadro 4. Pérdidas térmicas actuales en tuberías de transporte de agua de enfriamiento a línea de producción de rafia con aislante de lana minera (actual).

	Tubería 3" con aislante de Lana Mineral
Espesor de aislante (mm)	5 mm
Calor perdido al ambiente por metro (W)	-105.74 W
calor perdido al ambiente en toda la tubería (kW)	-31.72 ± 0.030 kW
Radio crítico	0.061m

*Datos de pérdidas de calor obtenidos con el cálculo 1 y 2 descritos en anexos. Datos de Radio crítico obtenidos con la Ec. 7 descrita en anexos.

Cuadro 5. Pérdidas térmicas en tuberías de transporte de agua de enfriador a línea de producción de rafia con aislante de Neopreno (Sugerido).

	Tubería 3" con aislante Neopreno
Espesor de aislante (mm)	9.5 mm
Calor perdido al ambiente por metro (W)	-46.72 W
Calor perdido al ambiente en toda la tubería (kW)	-14.02 ± 0.013 kW
Radio crítico	0.048m

*Datos de pérdidas de calor obtenidos con el cálculo 1 y 2 descritos en anexos. Datos de Radio crítico obtenidos con la Ec. 7 descrita en anexos.

VII. Análisis de resultados

A. Comparativa de reducción de pérdidas con cambio de aislante y techado de enfriador

El trabajo de graduación pretendía proponer mejoras para el consumo de energía térmica en una línea de producción de rafia de una empresa productora de sacos industriales, midiendo la potencia utilizada para identificar los puntos de mayor consumo. Además, se pretendía realizar un análisis de la transferencia de calor del fluido de película extruida de la línea de polipropileno para encontrar los mayores puntos de pérdidas de calor actuales. Adicionalmente a esto, se debía de evaluar el aislante actual utilizado en las tuberías de enfriador a la línea de producción de rafia, midiendo las pérdidas de calor a lo largo del sistema y proponer un aislante para reducir las pérdidas de calor actuales.

Para cumplir con los objetivos específicos del trabajo, fue necesario realizar una serie de pruebas que incluían el análisis de la transferencia de calor desde el enfriador de la planta hacia el extrusor de polipropileno Starex 8, en dichos análisis se debía de medir la temperatura de entrada y de salida del sistema propuesto para determinar la transferencia de calor total y encontrar los mayores puntos de pérdidas de calor, asimismo se propusieron dos modelos matemáticos para calcular la resistencia térmica del aislante actual deteriorado y del aislante propuesto de neopreno. La resistencia térmica del material va ligada directamente al desempeño que tendrá al momento de aislar la tubería, mientras más alta sea, mayor serán las pérdidas térmicas del sistema.

Según datos obtenidos directamente de la empresa, el enfriador representa un 11.62% de los gastos totales energéticos en la planta (ver Figura 30 en anexos), es el equipo de mayor representación económica en la planta por lo que es de vital importancia el correcto mantenimiento no solo del equipo si no también de sus accesorios y tuberías.

Actualmente se tiene un recubrimiento de lana mineral a lo largo de la línea estudiada, este se encuentra en un estado no óptimo para su objetivo, ya que por el tiempo que lleva sin mantenimiento tiene varias partes expuestas por las cuales se pierde energía al ambiente, se realizó un modelo matemático para el cálculo correcto de las pérdidas de calor actuales, el cual nos indica que el cambio de aislante es imperativo si se quiere tener una mejora del ahorro térmico de la línea. Con la implementación del cambio de aislante se

tendría una mejora del 55.81%, lo que se traduce a Q12,917.00 mensuales, un gasto representativo en la línea de producción de rafia de polipropileno.

En la Tabla 1 se realizó la comparativa de las reducciones de pérdidas térmicas que se tendría con el implemento del aislante sugerido contra el aislante actual. Se determinó mediante el modelo matemático que con el cambio de aislante se tendrá una reducción de pérdidas térmicas del 55.81% con respecto al actual, esto se traduce en una reducción no solo de las pérdidas térmicas si no también en un aumento en la eficiencia del enfriador ya que este necesitara menor cantidad de energía para su correcto funcionamiento y poder suplir de mejor manera a los equipos de transferencia de calor que utilizan agua del enfriador. Por lo tanto, se sugiere realizar el cambio en el aislante desde el punto de vista térmico.

La razón principal por la que se da esta reducción es debido a que la conductividad térmica del neopreno es menor que la de la lana mineral y el aislante no se encuentra en un estado óptimo, en la Tabla 13 de anexos se pueden corroborar estos datos, asimismo el neopreno es un materia con una vida útil mayor por lo que el ahorro de energía será justificado con el tiempo de uso que se le dé, según el modelo matemático empleado, este material cuenta con una resistencia térmica mayor, el cual nos indica que al implementarlo tendrá mejores resultados en el ahorro de energía y, por lo tanto, un ahorro económico en la planta.

En la Tabla 1 podemos observar la reducción de pérdidas térmicas con la colocación de un techo sobre el enfriador, se obtuvo una mejora del 1.48%, la cual se traduce en energía eléctrica lo cual muestra una reducción del gasto eléctrico necesario para mantener el enfriador funcionando para la línea de producción de rafia. El gasto total ahorrado es de Q619.31/mes.

B. Análisis de transferencia de calor de enfriador a línea de producción de rafia.

El agua de enfriamiento que sale del enfriador es la que se utiliza en el enfriado de la película de polipropileno, quitando energía del tanque de enfriamiento de la película sin contacto directo entre fluidos, solamente por convección, es un intercambiador de coraza y tubos y se calcula de la misma manera (explicado en marco teórico) para un sistema de enfriamiento similar con el mismo tipo de intercambiador de calor en donde se tiene transferencia de calor por convección.

En referencia con la Tabla 2 se puede mencionar que la cantidad total de transferencia de energía térmica en kilo watts para el sistema de intercambiador de calor encargado del enfriamiento del tanque de enfriado de película de polipropileno durante una producción constante de rafia es de 45.64kW, estas pérdidas se basan en la transferencia por convección de la tubería, se omitieron pérdidas por radiación, dicha cantidad se obtuvo a partir de la ecuación 1 y se muestran en la fila “Q” del Cuadro 2. Se obtuvo una desviación estándar de 1.90kw la cual es cercana a cero lo que nos indica exactitud y precisión en los cálculos y mediciones realizadas. El punto de mayor pérdida de calor actual son las tuberías, para fines prácticos se asume una transferencia de calor sin pérdidas en el sistema intercambiador - tanque.

Por el valor obtenido, las pérdidas actuales de calor y el tipo de tarea que realiza se puede decir que se tiene una transferencia de calor deficiente en comparativa con las pérdidas que se tendrían al realizar el cambio de aislante a el sugerido de neopreno, esto se debe a la capacidad calorífica del materia, ya que es menor que la de la lana mineral (actual) y un espesor de aislante mayor reducirían en gran manera estas pérdidas.

C. Evaluación de pérdidas térmicas actuales en tuberías de transporte de agua de enfriador a línea de producción de rafia con aislante deteriorado de lana mineral.

Se obtuvieron las pérdidas actuales de calor en la línea de distribución de tuberías de enfriador a tanque de enfriamiento de película de polipropileno, este valor se puede observar en el Cuadro 3 el cual es de -105.74W por metro de tubería, asimismo se obtuvo el valor de pérdidas totales en un largo de 300m de tubería el cual es de 31.72kW. Este es un valor considerablemente alto ya que nos indica que se está perdiendo una gran cantidad de energía al momento de transportar el agua a su destino. Se busca la reducción de este valor, las pérdidas energéticas se traducen a pérdidas económicas actuales de Q12,917.00 como se indica en el Cuadro 1 de resultados.

Se analizo el aislante actual y se llego a entender el porque este valor era tan alto, el aislante no ha tenido un mantenimiento correcto por lo cual tiene varias áreas expuestas, lo que provoca mayor cantidad de pérdidas, estas áreas fueron medidas para obtener las pérdidas térmicas reales actuales, el aislante tiene una conductividad térmica de 0.156 W/K*m (en la Figura 17 puede observarse la ficha técnica del material actual

con la conductividad térmica teórica en sistema ingles, se convirtió al sistema internacional para fines prácticos, en el “Modelo matemático para tubería con aislante actual deteriorado” se puede encontrar el modelo utilizado para el cálculo de este valor) esta conductividad térmica se considera bastante alta para un material aislante lo cual está provocando pérdidas bastante significativas en el transporte de agua de enfriador, se observa también que se tiene un espesor de aislante de 5mm (este dato puede ser corroborado en la Figura 17 en sistema inglés) el cual es un poco bajo considerando la conductividad térmica del aislante. En el siguiente subtítulo se evaluará el aislante sugerido para su implementación desde el punto de vista térmico.

D. Evaluación de pérdidas térmicas en tuberías de transporte de agua de enfriador a línea de producción de rafia con aislante de Neopreno (Sugerido).

Por otro lado, se analizo y propuso un aislante térmico que reduzca las pérdidas térmicas de la distribución de tuberías de agua de enfriador a intercambiadores. En la Tabla 4 se puede observar y analizar las pérdidas de calor con el material propuesto, el cual es el Neopreno (cloropreno) con la sustitución de aislantes térmicos en las tuberías a este materia se obtuvo un valor de pérdidas de calor de -46.72W por metro, asimismo se menciona que en los 300m de tubería se tienen pérdidas de 14.02kW , un número bastante reducido al actual, además se sugiere un espesor de aislante de 9.5mm para obtener una reducción considerable y justificar realmente el cambio.

Otro factor para considerar en el neopreno fue su seguridad y propiedades físicas para obtener de igual manera un material que sea factible para el tipo de industria estudiada. En la Figura 18 se puede observar las propiedades del neopreno en las que destacan que es un material con alta resistencia de ruptura lo que lograra una vida útil larga el momento de la implementación, de igual manera se debe de considerar la resistencia al fuego para evitar posibles incendios por la combustión del mismo, tiene alta resistencia a temperaturas altas y bajo cero, asimismo tiene resistencia química sobre componentes que pudieran alterar su estructura química, presenta soporte a la exposición solar sin que se afecte su coloración o utilidad y no presenta deformaciones permanentes cuando es manipulado con dobleces o estrangulamientos. Por las razones antes mencionadas se sugiere el cambio de aislante térmico en la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en extrusores.

E. Análisis de radio crítico de aislantes

Se obtuvo el radio crítico de los aislantes propuesto y actual los cuales se pueden observar en los cuadros 3 y 4 con un valor de 0.048m para el neopreno y 0.061m para la lana mineral utilizado actualmente, este análisis nos sirve para corroborar de mejor manera el aislante propuesto por el fabricante y el actual, se sabe que el espesor de aislante debe de estar por encima o debajo del radio crítico para que la implementación de este sea factible.

VIII. Conclusiones

1. Se determinó que existe una mejora del 55.81% si se lleva a cabo la propuesta de cambio de aislante a neopreno para reducir las pérdidas térmicas en la línea. Esto se traduce en una reducción no solo de las pérdidas térmicas si no también en un aumento en la eficiencia del enfriador con la consecuencia de una menor cantidad de energía eléctrica y un ahorro económico mensual de Q12,917.00.
2. Se determinó que existe una mejora del 1.48% si se lleva a cabo la propuesta de colocar un techo que de sombra al enfriador. Esto se traduce en una reducción no solo de las pérdidas térmicas si no también en un aumento en la eficiencia del enfriador con la consecuencia de una menor cantidad de energía eléctrica y un ahorro económico mensual de Q619.31.
3. Se determinó una transferencia de calor del intercambiador de coraza y tubos hacia el tanque de enfriamiento de película de polipropileno luego de la extrusión, de 45.64 ± 0.04 kW con pérdidas térmicas actuales de 31.72 ± 0.030 kW
4. Luego de realizar el modelo matemático del aislante térmico propuesto se determinó un coeficiente de transferencia de calor teórico de 0.156 W/m*k para el sistema actual del aislante en mal estado.
5. Las pérdidas térmicas totales de calor en la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en extrusores utilizando lana mineral de 5mm como aislante son de 31.72kW y se obtuvo el radio crítico de 0.061m para la lana mineral. Estas pérdidas se deben al deterioro que tiene el aislante y pueden ser reducidas si se realiza un implemento del aislante sugerido.
6. Las pérdidas térmicas que se obtienen con aislante Neopreno con un espesor de 9.5mm son de 14.02kW y se obtuvo el radio crítico de 0.048m para el neopreno, por lo que se propone realizar la sustitución del aislante actual (lana mineral) a Neopreno para tener un ahorro térmico constante y por ende un ahorro económico de Q12,917.00/mes en la línea de producción de rafia de polipropileno.

IX. Recomendaciones

1. Efectuar un estudio a los equipos y tuberías que no tienen o tienen un aislante en otras áreas de la planta no cubiertas en este análisis, que no cumple o podría ser mejorado, para disminuir las pérdidas de calor a los alrededores ya que estas pérdidas térmicas se traducen a pérdidas monetarias.
2. Tomar en cuenta la utilización de espumas elastoméricas y neopreno para el aislamiento térmico de equipos o tuberías frías para áreas de la planta no alcanzadas en este trabajo, así como el mantenimiento y buen estado de los sistemas de aislamiento.
3. Realizar los planos de tuberías de la planta para tener una mejor ubicación de las tuberías y por ende un mejor análisis de distribución para futuros estudios o procesos a realizar o implementar en la producción industrial de la empresa.
4. Establecer un plan de monitoreo y mantenimiento periódico de los sistemas de aislamiento térmico en la planta para evitar y prevenir problemas de pérdidas térmicas en la línea.

X. Bibliografía.

- Alberty Robert A. (2003). *Thermodynamics of Biochemical Reactions*. Wiley-Interscience.
- Arlie, J.P. (1990). *Commodity Thermoplastics*. Paris: Editions Technip. ISBN 2-7108-0591-X.
- Bejan, Adrian (2016). *Advanced Engineering Thermodynamics (4 ed.)*. Wiley. ISBN 978-1-119-05209-8.
- Boltzmann, Ludwig (1986). *Escritos de mecánica y termodinámica*. Alianza Editorial. ISBN 842060173X.
- Callen, Herbert B. (1985). «*Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*». John Wiley & Sons.
- Chapman, Alan J. 3ª, ed. *Transmisión del calor*. Madrid: BELLISCO. ISBN 484-141-1221
- Denbigh K. (1981). *The Principles of Chemical Equilibrium: With Applications in Chemistry and Chemical Engineering*. London: Cambridge University Press.
- Drozda, Tom; Wick, Charles; Bakerjian, Ramon; Veilleux, Raymond F.; Petro, Louis, *Tool and manufacturing engineers handbook: Forming 2*, SME, ISBN 0872631354.
- Howell, John R.; Menguc, M.P.; Siegel, Robert (2015). *Thermal Radiation Heat Transfer*. Taylor and Francis.
- Incropera, Frank P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (4a. ed. edición). México: Prentice Hall. p. 912. ISBN 970-17-0170-4.
- Lestina, Thomas; Serth, Robert W. (2010). *Process Heat Transfer: Principles, Applications and Rules of Thumb*. Academic Press.
- Martínez, J. A. (2014). *Análisis de costo beneficio; Ejemplo de análisis sector privado*. San Juan: Estudios Técnicos Inc.
- McCabe, Warren L.; Smith, Julian C.; Hariott, Peter (1993), Clark, B.J.; Castellano, Eleanor (eds.), *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw-Hill Chemical Engineering Series (5th ed.), Singapore: McGraw-Hill.
- Mendoza P, Heriberto (2006), *Desarrollo de un procedimiento de cálculo mejorado para diseño térmico y/o evaluación térmica de intercambiadores de calor de carcasa-haz de tubos*, UCV
- Pita, Edwuard G. (1991). *Principio y sistemas de refrigeración*. Editorial Limusa. isbn 968-18-3969

- Reif, Federick (1985). «*Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*». McGraw-Hill.
- Resnik Halliday Krane (2002). *Física Volumen 1*. Cecsca. ISBN 970-24-02-0257-3.

XI. Anexo

A. Datos originales

Cuadro 6. Temperatura de entrada y salida de intercambiador de calor de extrusora starex 8.

Corrida	T entrada Celsius (± 0.1)	T salida Celsius (± 0.1)	T entrada K	T salida K
1	10.3	18.2	283.45	291.35
2	10.2	18.2	283.35	291.35
3	10.4	18.6	283.55	291.75
4	10.2	18.2	283.35	291.35
5	10.6	18.3	283.75	291.45
6	10.3	18.5	283.45	291.65
7	10	18.6	283.15	291.75
8	10.1	18	283.25	291.15
9	10.5	18.1	283.65	291.25
10	10.7	18.5	283.85	291.65
prom	10.33	18.32	283.48	291.47
desv	0.221359436	0.21499354	0.22135944	0.214994

Cuadro 7. Flujo másico de agua fluyendo en intercambiador de calor de extrusora starex 8.

Corrida	Flujo másico (kg/s) (± 0.01)
1	1.39
2	1.34
3	1.3
4	1.37
5	1.39
6	1.45
7	1.33
8	1.37
9	1.38
10	1.33

Cuadro 8. Distribución y largo de tuberías de transporte de agua de enfriamiento a línea de producción de rafia.

Tubería	Largo de tubería (m)	Espesor Aislante teórico (mm)
acero 3" con aislante de lana mineral (actual)	300	5

Cuadro 9. Diámetro interno y externo de tubería sin aislante.

Tubería	diámetro interno (mm)	diámetro externo (mm)
Acero 3"	83.74	88.9
Acero 3"	83.74	88.9

Cuadro 10. Temperaturas medidas ambiente y fluido.

Tubería	T3 ambiente media (K)	T1 agua media (k)
Acero 3" con neopreno	300.15	283.48
acero 3" con aislante de lana mineral (actual)	300.15	283.48

Cuadro 11. Área lateral de superficie de tuberías en línea de distribución de enfriador a intercambiadores de calor de extrusoras.

Largo de tubería (m)	Area lateral de superficie (m ²)
300	71.81

B. Cálculo de muestra en mediciones de campo

Cálculo 1. Cálculo de transferencia de calor de intercambiador a tanque de enfriado de película de polipropileno.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$m = 1.365 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\Delta T = 291.47\text{K} - 283.48\text{K}$$

$$Q = \left(1.365 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K}\right) (291.47\text{K} - 283.48\text{K})$$

$$Q = 45642.89\text{J/s} = 45.64\text{kWh}$$

Cálculo 2. Calor perdido por tubería con aislante térmico Neopreno.

$$q = - \frac{(2\pi L)(T_3 - T_1)}{\left(\frac{1}{k_a}\right) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \left(\frac{1}{k_b}\right) \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}$$

$$q = - \frac{(2\pi(300\text{m}))(300.15\text{K} - 283.48\text{K})}{\left(\frac{1}{26\text{W/mK}}\right) \ln\left(\frac{0.0444\text{m}}{0.04187\text{m}}\right) + \left(\frac{1}{0.087\text{W/mK}}\right) \ln\left(\frac{0.05395\text{m}}{0.0444\text{m}}\right)}$$

$$q = -14018.07\text{W} = 14.018\text{kWh}$$

*se calculó de la misma manera para el aislante de polietileno.

Cálculo 3. Calor transferido de energía solar a enfriador de la línea.

$$q = ((168W/m^2)(4m^2))/1000 = 0.672KWh$$

Cálculo 4. Pérdidas económicas.

*Quetzales = kWh perdidos * precio kWh * horas utilizadas*

$$Quetzales = -31.72kWh * Q1.28 * 1hr$$

$$Quetzales = Q40.60$$

C. Modelos matemáticos

a. Modelo matemático para tubería con aislante actual deteriorado.

Se considera un modelo matemático que simula una tubería que ha perdido parte de su aislante térmico por deterioro.

$$f = \frac{A - A_d}{A} * 100 = \left(1 - \frac{A_d}{A}\right) * 100$$

Ec. 4 Proporción de aislante en buen estado

Donde:

A_d : Área de aislante deteriorado

A : Área de aislante en buen estado

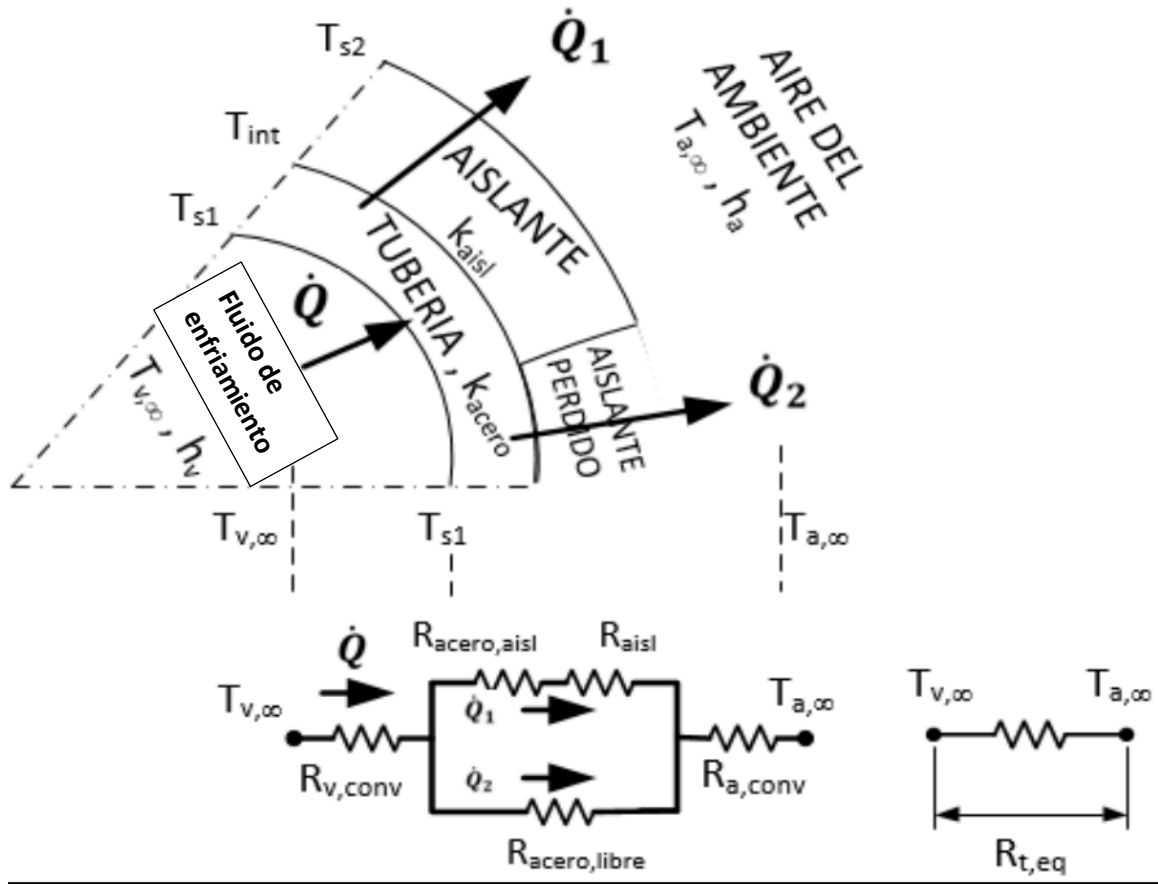


Figura 12. Circuito de enfriamiento para aislante deteriorado.

Para este modelo resulta una resistencia térmica equivalente a:

$$R_{t,eqd} = R_v + \frac{R_{acero,libre} (R_{acero,aisl} + R_{aisl})}{R_{acero,libre} + R_{acero,aisl} + R_{aisl}} + R_a$$

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

Ec. 5 Resistencia térmica para circuito de enfriamiento con aislante deteriorado.

Donde:

- ***Rt,eqd*** : Resistencia térmica equivalente por unidad de longitud de tubería con aislante deteriorado (K/W)
- ***Racero,libre*** : Resistencia térmica por conducción de la zona de la tubería no cubierta por el aislante (m.K/W)
- ***Racero,aisl*** : Resistencia térmica por conducción de la zona de la tubería cubierta por el aislante (m.K/W)
- ***f*** : Fracción de la superficie de la tubería cubierta por el aislante (adim.)

Las velocidades de transferencia de calor por unidad de longitud se expresan como:

$$q_{1l} = \frac{\dot{Q}_1}{L}$$

Ec. 6 Calor por unidad de longitud aislada

$$q_{2l} = \frac{\dot{Q}_2}{L}$$

Ec. 7 calor por unidad de longitud sin aislar

$$q_{ld} = q_{1l} + q_{2l}$$

Ec. 8 calor total por unidad de longitud

Donde:

- q_{ld} : Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante Deteriorado (W/m)
- q_{1l} : Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en el ramal aislado (W/m)
- q_{2l} : Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en el ramal no aislado (W/m)

b. Modelo matemático para tubería con aislante propuesto.

En este modelo se contempla el circuito térmico de rapidez de perdida de calor para una tubería con aislante propuesto sin deterioro

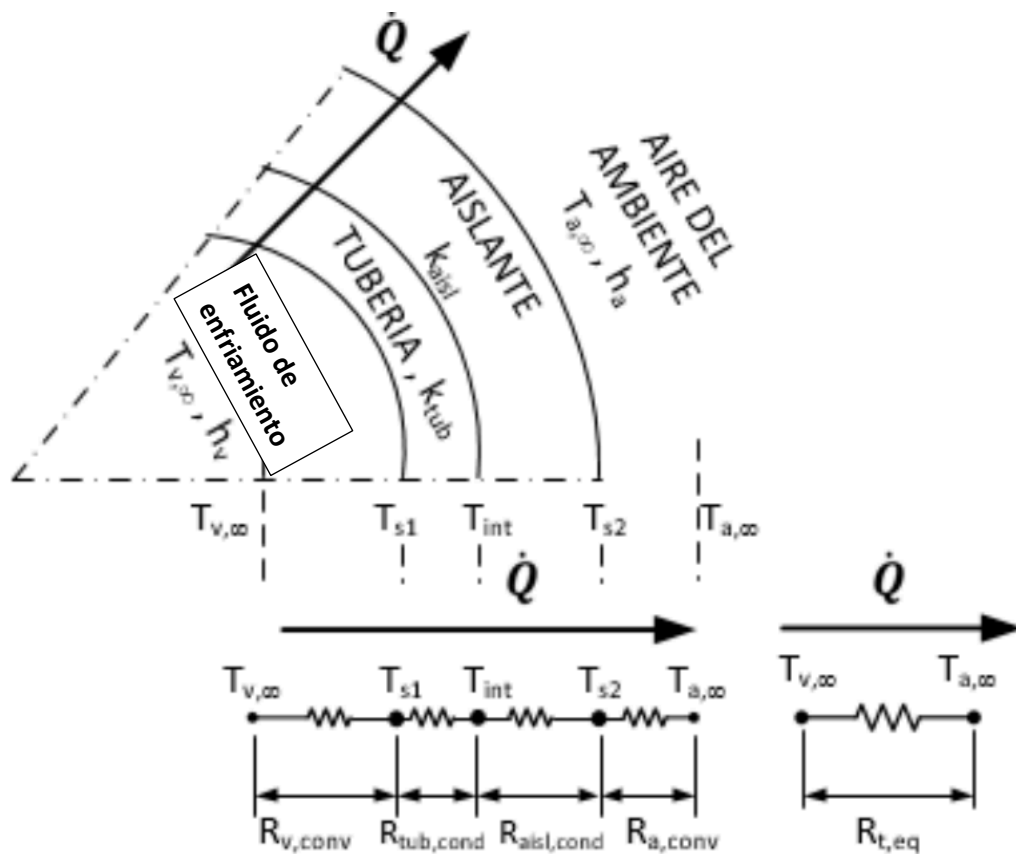


Figura 13. Circuito térmico para tuberías con aislante propuesto en buen estado.

Donde:

- $T_{v,\infty}$: Temperatura del vapor de agua ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{s1} : Temperatura de la superficie interna de la tubería ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{int} : Temperatura de interface entre la tubería y el aislante ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{s2} : Temperatura superficie del aislante ($^{\circ}\text{C}$)
- $T_{a,\infty}$: Temperatura del aire circundante ($^{\circ}\text{C}$)
- h_v : Coeficiente de convección del vapor ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
- k_{acero} : Conductividad térmica de la tubería de acero ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
- k_{aisl} : Conductividad térmica del aislante ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
- h_a : Coeficiente de convección del aire ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
- R_v : Resistencia térmica por convección del vapor de agua ($\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$)
- R_{acero} : Resistencia térmica por conducción del acero ($\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$)
- R_{aisl} : Resistencia térmica por conducción del acero del aislante ($\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$)
- R_a : Resistencia térmica por convección del aire ($\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$) \bar{Q} : Flujo de calor por unidad de longitud (W/l)

Se definen las resistencias térmicas por unidad de longitud

$$R_v = \frac{1}{h_v A_i} = \frac{1}{h_v (2\pi r_1)}$$

Ec. 9 Resistencia térmica fluido en tubería

$$R_{acero} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{acero}}$$

Ec. 10 Resistencia térmica acero

$$R_{aisl} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{aisl}}$$

Ec. 11 Resistencia térmica aislante

$$R_a = \frac{1}{h_a A_{ext}} = \frac{1}{h_a (2\pi r_3)}$$

Ec. 12 resistencia térmica aire

Por lo que se obtiene una resistencia térmica equivalente resultante a:

$$R_{t,eqn} = R_v + R_{acero} + R_{aisl} + R_a$$

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

Ec. 13 Resistencia térmica equivalente de tubería con aislante propuesto en buen estado.

Donde:

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

Se define la rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante en buen estado

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

Ec. 14 Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante en buen estado

Donde:

qln : Rapidez de transferencia de calor por unidad de longitud en tubería con aislante en buen estado (W/m)

D. Análisis de error

Cálculo 4. Incertidumbre de los valores calculados en el intercambiador de calor con los datos del termómetro láser.

$$(45642.89) * \sqrt{\left(\frac{0.01}{10.30}\right)^2} = 44.31$$

*se utilizó el mismo procedimiento para los demás datos.

E. Datos calculados

Cuadro 12. Calor transferido al tanque de enfriado de película de polipropileno por intercambiador en Joules.

Corrida	Q (J)
1	45966.466
2	44873.92
3	44622.76
4	45878.56
5	44802.758
6	49771.54
7	47879.468
8	45305.078
9	43902.768
10	43425.564
prom	45642.8882
desv	1903.352356

Cuadro 13. Conductividad térmica de los materiales aislantes y el acero.

Tubería	k aislante(W/m*k)	K acero (w/m*k)
Acero 3" con neopreno	0.087	26
acero 3" con aislante de lana mineral (actual)	0.109	26

Cuadro 14. Presión de vapor y temperatura de rocío calculada.

Tubería	Pv (Pa)	T rocío (k)
Acero 3" con neopreno	2033.367747	291.15
acero 3" con aislante de lana mineral (actual)	2033.367747	291.15

Cuadro 15. Parámetros para la elección del material aislante en el sistema estudiado enfriador – extrusor

Tubería	Precio	Años sin mantenimiento	Conductividad térmica	Facilidad de instalación	Disponibilidad en mercado guatemalteco
Neopreno	Q208/m	5	0.026 W/m*k	****	NO
Lana mineral	Q176/m	3	0.035 W/m*k	*	SI
Coquillas de polietileno	Q151/m	5	0.15 W/m*k	***	SI

*En columna “facilidad de instalación” un asterisco representa la sencillez y la habilidad que requiere una persona para instalar el aislante, en este caso entre más asteriscos, el equipo es más fácil de instalar.

Cuadro 16. Coeficientes convectivos utilizado en los cálculos de calor transferido.

Medio	h (W/m ² *k)
Agua (10 °C)	1385.3
Aire (Convección natural)	1.8

Cuadro 17. Análisis costo beneficio de cambio de aislante propuesto.

Año	Inversión	Ahorro
1	Q77,400.00	Q155,004.00
2	Q0.00	Q155,004.00
3	Q0.00	Q155,004.00
4	Q0.00	Q155,004.00
5	Q0.00	Q155,004.00
Total	Q77,400.00	Q775,020.00
Costo/beneficio	10.01	-

F. Imágenes generales y ecuaciones.



Figura 14. Rafia previa a embobinado.



Figura 15. Extrusión de película de PP a tanque de enfriado.



Figura 16. Película de PP después de tanque de enfriado.



Figura 17. Corte de PP a rafia con cuchillas.



Figura 18. Intercambiador de calor carcasa y tubos.

ASLANTE ADS (CARA ALUMINIO + ESPUMA POLIETILENO + CARA ALUMINIO)			
MEDIDAS Y TOLERANCIAS DEL PRODUCTO ESTÁNDAR			
ESPESOR: 5 ± 0.35 (mm)	LARGO: ± 30 cm	ANCHO: 1.22 ± 0.01 (m)	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO			
CARACTERÍSTICAS	VALOR	NORMA	
ESTRUCTURA DE CELDA ESPUMA	Cerrada	-	
ANCHO EFECTIVO	1.17 m	-	
PESO PROMEDIO POR M ²	0.25 kg/m ²	-	
PERMEABILIDAD AL AGUA	Impermeable	Dir. UEAtc	
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	0.033 g/m ² hKPa - 0.05 perms (gr/ft ² h*in.hg)	ASTM E 96/IRAM 1735	
INDICE DE FLAMA	0	ASTM E-84-99	
DESARROLLO DE HUMO	15	ASTM E-84-99	
EMITANCIA	0.03	ASTM C-1371-98	
RESISTENCIA A HONGOS	Resistente / No promueve crecimiento de hongos – moho	ASTM C 1338	
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	CUMPLE	ASTM C-1224	
RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO	CUMPLE	ASTM C-1224	
RESISTENCIA A LA DESLAMINACIÓN	CUMPLE	ASTM C-1224	
RESISTENCIA A LA HUMEDAD	CUMPLE	ASTM C-1258	
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (DM)	18.2 N/cm	ASTM D-638	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-20°C / 80°C	ASTM C-1224	
RESISTENCIA TÉRMICA (Factor R, Heat Flow Down)	* A: 15.67; B: 21.12 (ft ² ·h·°F/Btu)		ASTM STP1116

Figura 19. Ficha técnica de aislante actual.

Propiedades	Unidades	Valores
Composición	Cloropreno	
Color	Negro	
Peso específico	1,55 ±0,05	gr/cm ³
Dureza	65 ± 5	SHORE A
Carga de rotura	≥ 3,5	Mpa
Alargamiento a la rotura	≥ 280	%
Resistencia al desgarro	15	N/ mm
Temperatura mínima de servicio	-30	°C
Temperatura máxima de servicio	120	°C
Envejecimiento por aire caliente	72 h x 70°C	
Inc. Dureza	5	SHORE A
Inc. Carga de rotura	-15	%
Inc. Alargamiento	-40	%
Resistencia Química		
Ozono	Moderada	
Ácidos y Alcalis diluidos	Buena	
Ácidos y Alcalis concentrados	No recomendada	

Figura 20. Ficha técnica de neopreno.



Figura 21. Tubería exterior de enfriador con aislante en mal estado.



Figura 22. Enfriador de línea de intercambiadores de calor de extrusor.



Figura 23. Tolva de llenado de polipropileno en extrusor Starex 8.



Figura 24. Tornillo de extrusión con calentadores.



Figura 25. Medición de temperatura con termómetro láser en entrada de agua de chiller a intercambiador.

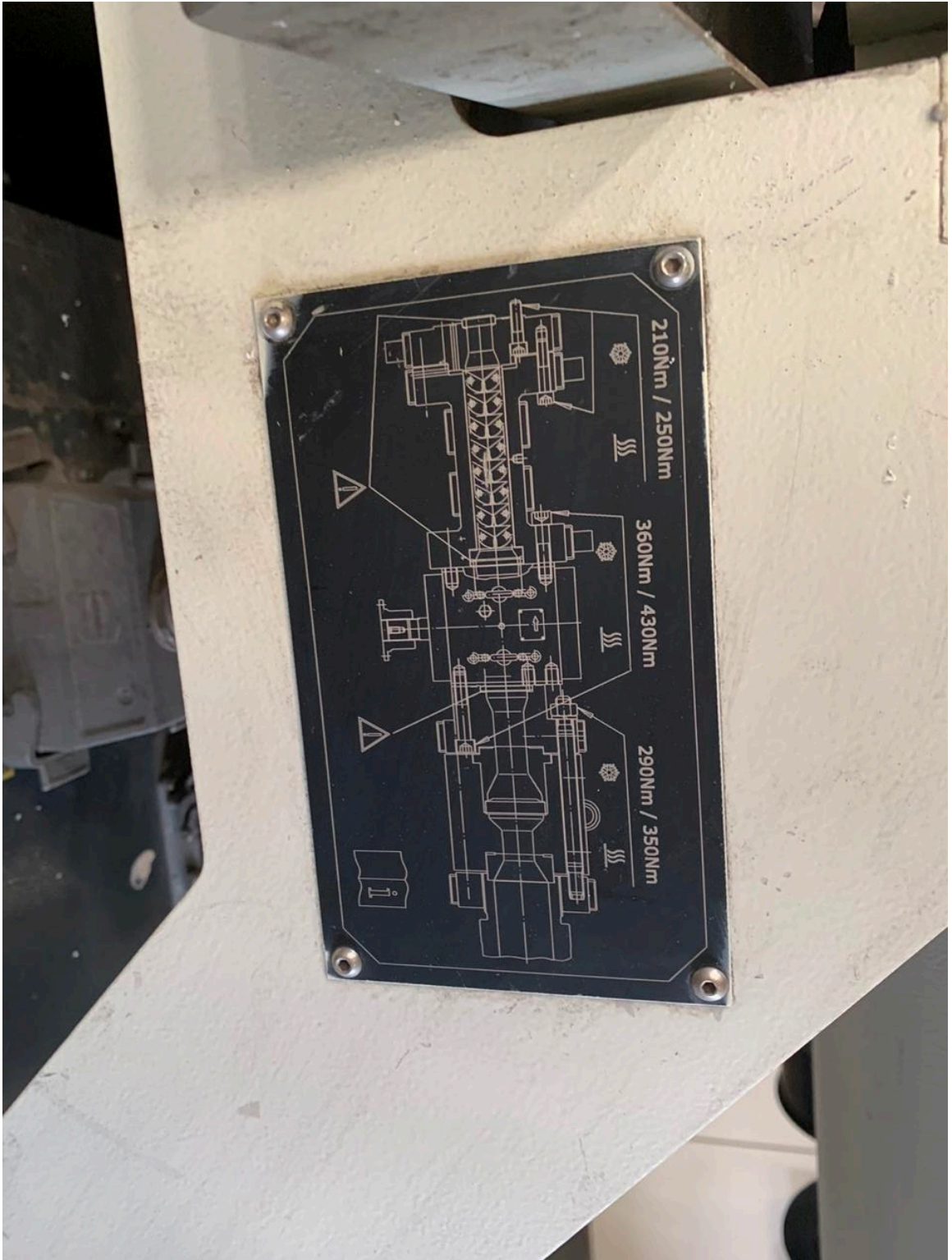


Figura 26. Diagrama de extrusor.



Figura 27. Placa de datos de bomba de intercambiador.



Figura 28. Termómetro de tanque de enfriado de película de polipropileno.

FIGURA 2
GRAFICO PSICROMETRICO
 TEMPERATURAS NORMALES
 PRESION ATMOSFERICA
 101,325 KPa

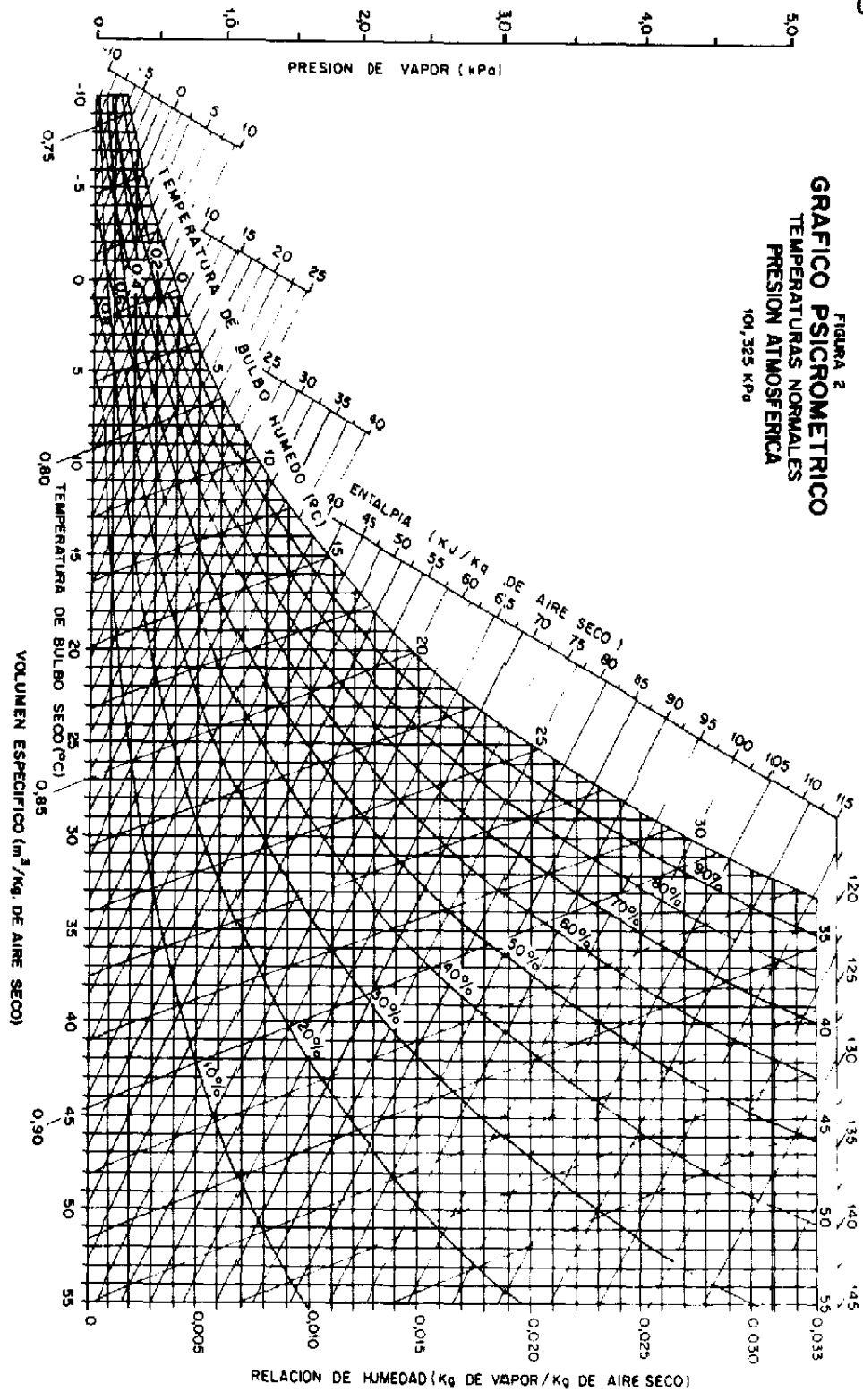


Figura 29. Carta psicrométrica.

$$P_{vs} = \exp \left(\frac{-5800,2206}{TK} + 1,3914993 - 4,8640239 \cdot 10^{-2} TK + 4,1764768 \cdot 10^{-5} TK^2 - \right. \\ \left. -1,4452093 \cdot 10^{-8} TK^3 + 6,5459673 \ln(TK) \right) \quad [A.III.2]$$

Ecuación 15. Cálculo de la presión de vapor

$$P_v = \frac{Hr}{100} P_{vs}$$

Ecuación 16. Presión de vapor con humedad relativa.

$$A = 2\pi r h$$

Ecuación 17. Área lateral de superficie.

Dónde:

$$r_{cr} = \frac{k}{h}$$

$h =$ Coeficiente de transferencia de calor

$k =$ Conductividad térmica

Ecuación 18. Cálculo de radio crítico de aislamiento.

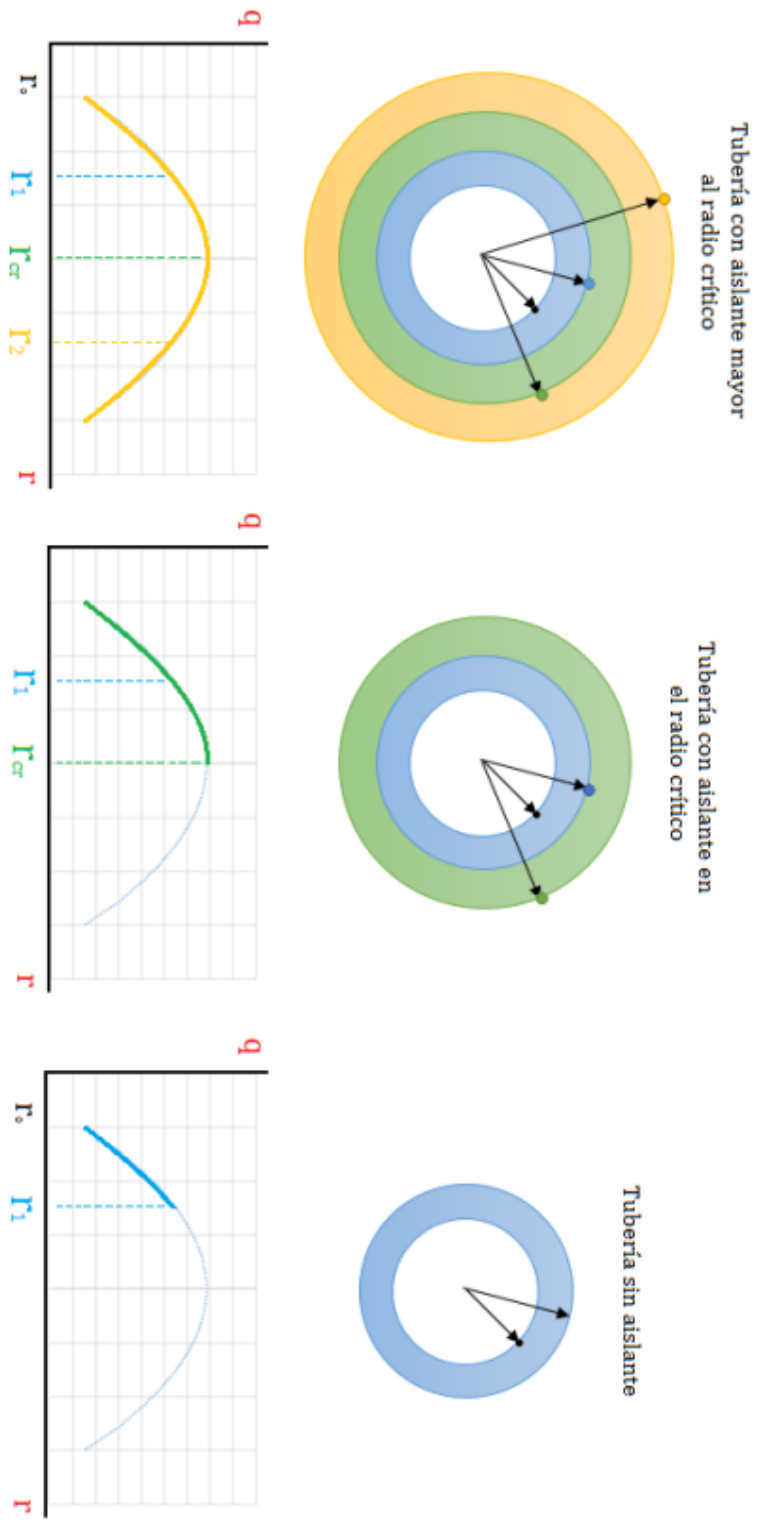


Figura 30. Comportamiento de pérdida de calor con el espesor de aislante.

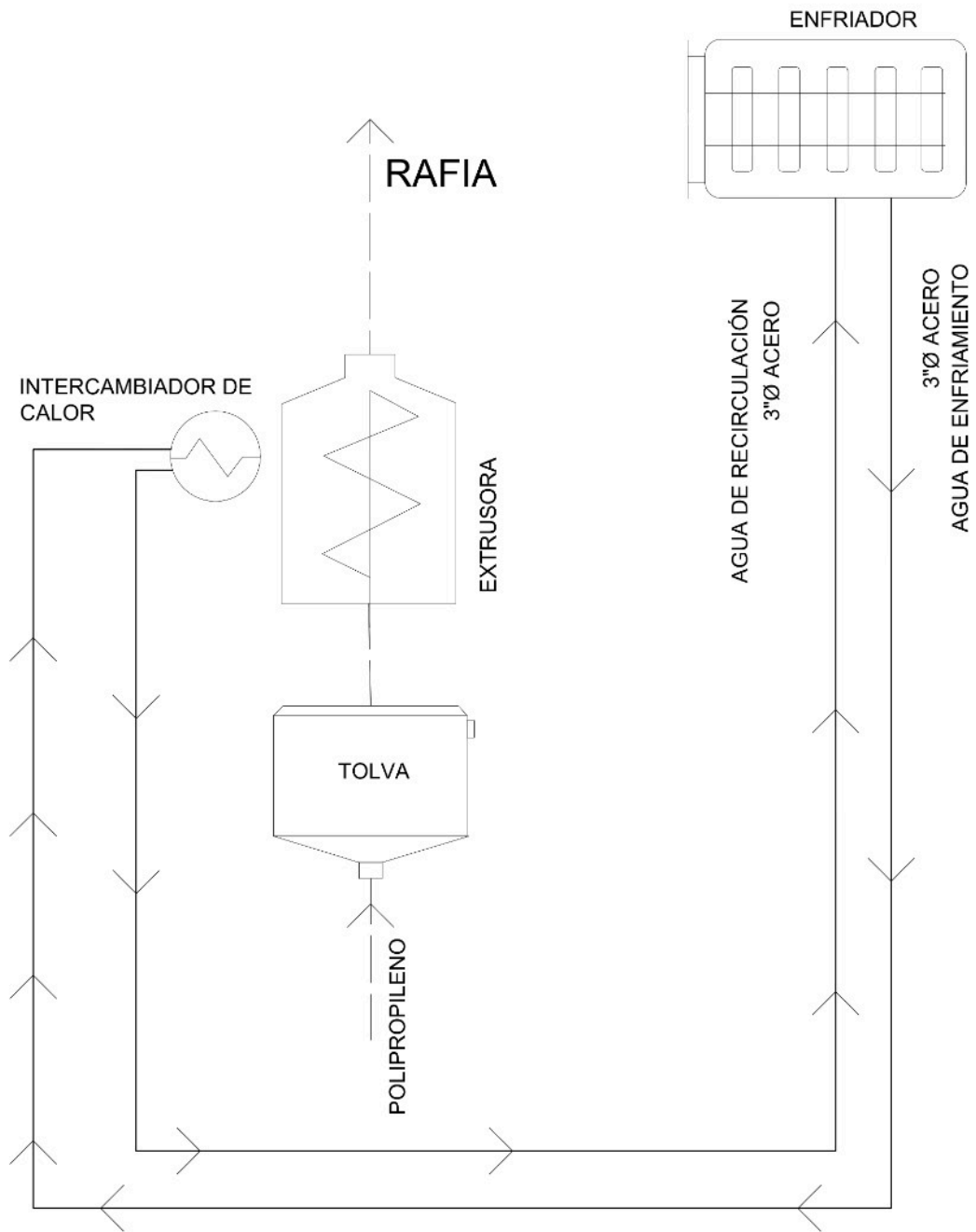


Figura 31. Diagrama de alcance de estudio realizado en planta.

56	6006000001	Telar Jumbo SL82	1	Telar Jumbo SL82		258.21	0.211%	Q	2,086.61
57	6006000000	Telares Jumbo SL8	2	Telares Jumbo SL8		275.36	0.178%	Q	1,760.27
58	6006000002	Telares Jumbo SL61	1	Telares Jumbo SL61		246.43	0.111%	Q	1,097.69
59	6006000200	GEBR	2	MAQUINA CORTADORA JUMBO		175.71	0.156%	Q	1,542.71
60	6006000300	Costura	27	MAQUINAS COSTURA JUMBO		6,480.00	0.101%	Q	998.80
61	6007000000	Cliche	2	Cliche		50.36	0.062%	Q	613.13
62	6008000000	Chillers y Accesorios	7	Chillers y Accesorios		380	11.692%	Q	115,623.84
63	6008000001	Compresores y Accesorios	6	Compresores y Accesorios		328.75	5.035%	Q	49,791.82
64	6000000002	Mantenimiento Bodega MP,PT	4	Mantenimiento Bodega MP,PT		600	5.228%	Q	51,700.43
65	6030050113	Mantenimiento Taller de Manté	4	Mantenimiento Taller de Manté		250	0.596%	Q	5,893.93
67	6006000100	Impresión	1	IMPRESORA JUMBO FREDAVID		26.79	0.046%	Q	454.90
68	6006000600	Enfardado	1	ENFARDADORA 4 JUMBO		154.29	0.093%	Q	919.69
69	6001010005	Nova 6	7	TELAR NOVA 6		2,277.86	0.589%	Q	5,824.70
70	6001010006	Nova 61	2	TELAR NOVA 61		671.79	0.174%	Q	1,720.71
71	6001020701	Erema	1	PELETIZADOR EREMA		97.5	0.365%	Q	3,609.54
72	6002000300	Compactado	1	COMPACTADORA CONDOR		193.93	0.145%	Q	1,433.93
73	6002020201	TITANI	1	TITAN		240	0.359%	Q	3,550.20
74	6030060009	MO Colector Impresión	1	RECICLADORA DE SOLVENTES		360	0.294%	Q	2,907.41
75	6004000005	SELLADORA ALTA FRECUENCIA	3	SELLADORA ALTA FRECUENCIA		-	0.000%	Q	-
76	6030050105	Mantenimiento Bodega PT	1	DETECTOR DE METALES METL		75	0.014%	Q	138.45
77	6001000006	Transporte de Resina y Silos	2	ESTACIÓN DE TRANSPORTE RES		-	0.000%	Q	-
78	6030060001	Iluminación	7	(Sin registro previo)		500	2.042%	Q	20,193.63
79	6001010204	Laminadora Nordmeccanica	1	(sin registro previo)		41.79	0.171%	Q	1,691.04

Figura 30. Costos mensuales de energía eléctrica por equipo en la planta de producción.

Cotización detallada;

Articulo	Q 235.20
Impuesto	Q 71.50
1 libras	Q 39.00
Documentación	Q 25.00
Fee de compra	Q 8.31
Total	Q 379.00

Link cotizado :

https://www.amazon.com/dp/B07FKQ4T2R/ref=cm_sw_r_cp_api_glt_fabc_SXV1R9F51RC869E2HNSB

Imagen Producto cotizado:



Figura 32. Cotización detallada de una coquilla de 1.82m de largo de neopreno.

XII. Guía de análisis de consumo de energía térmica.

- Introducción

El objetivo principal del presente trabajo es proponer una guía para analizar el consumo de energía térmica en una línea de producción de rafia en una empresa productora de sacos industriales para encontrar los mayores puntos de pérdidas de calor y energía térmica. En este análisis se contempla la energía térmica utilizada en la línea de producción de rafia la cual es el agua de enfriamiento de enfriador, esta involucra directamente la distribución de tuberías de transporte de agua de enfriamiento y por lo tanto el aislante de estas.

Se realizó un análisis de pérdidas térmicas por medio de la cuantificación de estas en los diversos puntos de la línea, se determinaron y sugirieron mejoras para un proceso más eficiente con un ahorro térmico constante proponiendo un cambio en el aislante térmico actual.

- Objetivos

Proponer una guía para analizar el consumo de energía térmica en una línea de producción de rafia en una empresa productora de sacos industriales para encontrar los mayores puntos de pérdidas de calor y energía térmica.

- Justificación

Un análisis térmico es esencial en una empresa de este tipo ya que las pérdidas por este medio pueden ser significativas en el cálculo económico, de igual manera es necesaria la cuantificación de las pérdidas de los equipos para obtener un panorama más detallado de la situación actual de la transferencia térmica para identificar y mejorar constantemente las áreas en donde se requiera. La mejora termodinámica cambia con la tecnología por lo cual se debe de verificar constantemente.

- Equipo

- Termómetro láser (se muestra en la Figura 23)

- Metodología

- Análisis de transferencia de energía térmica.

Medir los datos de temperatura de entrada y de salida del intercambiador durante el día con una producción constante de rafia utilizando un termómetro láser, en la Figura 23 se puede observar la medición de los valores de temperatura.

Se obtuvo el cambio de temperatura con base en la media de los datos de temperatura medidos en la sección anterior, este dato es uno de los que nos sirven para calcular la transferencia de calor del intercambiador al tanque de enfriado de película de polipropileno.

Para la obtención del calor transferido del intercambiador de coraza y tubos al tanque de enfriado de la película de polipropileno se aplicó el cálculo guía 1 para esto se utilizó la media de los datos tanto de temperatura como de caudal (proporcionado por la empresa). Se utilizó una capacidad calorífica teórica para el agua.

- Pérdidas térmicas en tuberías.

Se debe de delimitar y escoger los sistemas a medir, en este caso se medirán las pérdidas de calor por metro de la distribución de tuberías de enfriador a intercambiadores de calor en extrusores, se empezó por la medición de pérdidas de calor actuales para concretar y comprender la situación actual de la empresa en cuanto a pérdidas térmicas de calor.

Para la obtención de pérdidas térmicas hacia el ambiente se utilizó el cálculo guía 2, con esta ecuación se obtiene el calor perdido en W se toma el largo de la tubería como un metro para fines prácticos y así encontrar las pérdidas por metro de tubería.

- Cálculos

Cálculo guía 1. Ejemplo de cálculo de transferencia de calor de intercambiador a tanque de enfriado de película de polipropileno.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$m = 1.365 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\Delta T = 291.47\text{K} - 283.48\text{K}$$

$$Q = \left(1.365 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K}\right) (291.47\text{K} - 283.48\text{K})$$

$$Q = 45642.89\text{J}$$

Cálculo guía 2. Ejemplo de calor perdido por tubería con aislante térmico Neopreno.

$$q = - \frac{(2\pi L)(T_3 - T_1)}{\left(\frac{1}{ka}\right) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \left(\frac{1}{kb}\right) \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}$$

$$q = - \frac{(2\pi(300\text{m}))(300.15\text{K} - 283.48\text{K})}{\left(\frac{1}{26\text{W/mK}}\right) \ln\left(\frac{0.0444\text{m}}{0.04187\text{m}}\right) + \left(\frac{1}{0.087\text{W/mK}}\right) \ln\left(\frac{0.05395\text{m}}{0.0444\text{m}}\right)}$$

$$q = -14018.07\text{W} = 14.018\text{KW}$$

*se calcula de la misma manera para cualquier aislante.

XIII. Glosario

- Calor: Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos.
- Catalizador: Que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella.
- Cizallamiento: Deformación lateral que se produce por una fuerza externa. También llamado corte, cortadura.
- Energía térmica: La energía térmica es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.
- Hidrófugo: Que evita la humedad o las filtraciones de agua.
- Husillo: Un husillo es un tipo de tornillo largo y de gran diámetro, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos, o en compuertas hidráulicas.
- Monómero: Molécula simple, generalmente de peso molecular bajo, que forma cadenas lineales o ramificadas de dos, tres o más unidades.
- Polímero: Son macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
- Refrigerante: Se denomina refrigerante o fluido frigorígeno al utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema de refrigeración, absorbe calor a bajas temperatura y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevadas. Este proceso tiene lugar, generalmente, con cambios de fase del fluido.
- Termoplástico: Un termoplástico es un material que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.
- Vacío: El término se refiere a cierto espacio lleno con gases a una presión total menor que la presión atmosférica, por lo que el grado de vacío se incrementa en relación directa con la disminución de presión del gas residual.