



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE  
CALENTAMIENTO DEL FLUIDO TÉRMICO, PARA  
OPTIMIZAR LA TEMPERATURA EN LOS TANQUES DE  
ASFALTO DE LA PLANTA DEL GOBIERNO REGIONAL  
CUSCO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
WILBERT QUISPE PERALTA**

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

**ASESOR:  
MAG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

**LIMA – PERÚ, MAYO 2021**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mis hijas que son el estímulo para seguir esforzándome, con el propósito de continuar en el camino que emprendí y no renunciar hasta lograr mis objetivos.

A mis Padres que desde el cielo me guían en este camino que me propuse.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme salud y guiarme por el camino correcto, a mis hermanos por su apoyo incondicional en todo este camino que duro en lograr mis objetivos.

## INTRODUCCIÓN

La utilización del asfalto moderno, para carreteras, calles y otros, tuvo su inicio a fines del siglo pasado, y se desarrolló a grandes pasos con el crecimiento de la industria de automotriz y desde entonces el asfalto tuvo un crecimiento en su utilización y procedimientos de manera que hoy en día se utilizan equipos bastante sofisticados para construir estructuras de pavimentos asfálticas.

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) se direcciona a una mejora en los calentadores de asfalto que permitiría optimizar el incremento de temperatura en los procesos de las emulsiones asfálticas, llegando a poder trabajar con nuevas emulsiones asfálticas que requieren temperaturas sobre los 170°C para su mezcla con los agregados pétreos, de manera que, sería una contribución al proceso de preparación de asfalto modificado con polímeros, producto que tiene un mejor comportamiento a la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales.

Actualmente el sistema de calentamiento del aceite térmico de la planta tiene deficiencias, se observa, en un recorrido que se realizó, el deterioro en la bomba de redistribución de flujo de aceite térmico que es el corazón del sistema, los fluidos o aceite térmico, las tuberías de transporte de fluidos térmicos a temperaturas altas se encuentran en contacto directo con el medio ambiente; los estanques de asfalto requieren mejoras en su estructura para aprovechar con mayor eficiencia la energía que ingresa, por lo que se necesita hacer un análisis de las deficiencias para hacer una mejora y alcanzar los objetivos que nos planteamos que es elevar las temperaturas optimas en los estanques de asfalto.

## RESUMEN

El uso del asfalto modificado con polímeros en la mezcla de los pavimentos de asfalto flexible en estos tiempos es el más usado, ya que cuenta con propiedades viscoelásticas que mejora su comportamiento y prolonga su capacidad de servicio.

Dicho esto, el objetivo del Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) ha sido justamente mejorar uno de nuestros sistemas que es parte de la secuencia del proceso de producción de la mezcla asfáltica, donde existen deficiencias en elevar la temperatura hasta 170°C como mínimo en los tanques térmico, este tipo de asfalto modificado con polímeros tiene un estándar de 170°C hasta 190°C de temperatura a calentar como parámetro en su dosificación con los agregados pétreos.

Se hizo un análisis utilizando la herramienta Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), se identificó las causas que originan el problema de demoras en el sistema de calentamiento del asfalto en los tanques térmicos, y como una causa relevante que origina este problema es la falta de aislamiento de los tubos que transportan el fluido térmico desde el calentador hasta la entrada hacia los tanques. En donde al estar en contacto con el medio ambiente pierden energía por radiación en todo el sistema de distribución del circuito cerrado, la transferencia de calor es por medio de convección forzada laminar; para llegar a estas conclusiones se hizo un análisis matemático usando las teorías de J. P. Holman "Transferencia de Calor".

## ABSTRACT

The use of polymer-modified asphalt in the mix of flexible asphalt pavements is currently the most widely used, since it has viscoelastic properties that improve its performance and prolong its service capacity.

That said, the objective of our TSP has been precisely to improve one of our systems that is part of the sequence of the production process of the asphalt mixture, where there are deficiencies in raising the temperature to at least 170°C in the thermal tanks, this type of asphalt modified with polymers has a standard of 170°C to 190°C of temperature to be heated as a parameter in its dosage with the stone aggregates.

An analysis was made using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) tool, and the causes that originate the problem of delays in the asphalt heating system in the thermal tanks were identified, and a relevant cause that originates this problem is the lack of insulation of the pipes that transport the thermal fluid from the heater to the inlet to the tanks. When in contact with the environment, they lose energy by radiation throughout the distribution system of the closed circuit, the heat transfer is by laminar forced convection. To reach these conclusions, a mathematical analysis was made using the theories of J. P. Holman "Heat Transfer".

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>II</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Capítulo .....</b>	<b>1</b>
<b>Generalidades de la empresa o entidad .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes de la empresa o entidad.....	1
1.2 Perfil de la empresa o entidad .....	2
1.3 Actividades de la empresa o entidad .....	3
1.3.1 Misión.....	3
1.3.2 Visión.....	3
1.3.3 Objetivo.....	4
1.4 Organización actual de la entidad .....	4
1.5 Descripción del entorno de la entidad .....	6
1.5.1 Análisis del entorno general .....	6

1.5.2 Análisis FODA - Sub Gerencia del equipo mecánico .....	7
<b>Capítulo II .....</b>	<b>11</b>
<b>Realidad problemática .....</b>	<b>11</b>
2.1 Descripción de la realidad problemática .....	11
2.1.2. Descripción del proceso de producción .....	12
2.1.3. Delimitación del área de investigación .....	13
2.1.4. Herramienta de análisis de árbol de problemas .....	14
2.6. Análisis del problema .....	17
2.7. Objetivos del proyecto .....	17
2.7.1. Objetivo general .....	17
2.7.2. Objetivos específicos .....	17
<b>Capítulo III .....</b>	<b>18</b>
<b>Desarrollo del proyecto.....</b>	<b>18</b>
3.1. Descripción y desarrollo del proceso.....	18
3.1.1. Antecedentes de la investigación.....	18
3.1.2. Bases Teóricas y la caldera de aceite térmico .....	20
3.1.3. Intercambiador de calor .....	21
3.1.4. Calentamiento de tanques de almacenamiento .....	22
3.1.5. Formas de transferencia de calor.....	22
3.1.6. Fluido térmico.....	24
3.1.7. Aislamiento térmico.....	28
3.1.8. Descripción del proceso.....	29

3.1.9.	Componentes del sistema de calentamiento .....	31
3.2.	Desarrollo del proceso .....	37
3.2.1.	Análisis de sistema de calentamiento de aceite térmico .....	37
3.2.2.	Análisis modal de fallos y efectos (A.M.F.E.) .....	39
3.2.3.	Análisis de sala de calentamiento del aceite térmico .....	44
3.2.4.	Estudio de fallas del sistema.....	45
3.2.5.	Determinación del aislamiento .....	53
3.2.6.	Análisis del tanque térmico de asfalto.....	54
3.2.7.	Bases Normativas .....	57
➤	Normas técnicas peruanas de gestión del medio ambiente .....	58
➤	Norma o especificación estándar ASTM A53.....	59
➤	Normatividad de aislantes térmicos.....	59
3.3.	Costos del proyecto.....	60
3.4.	Conclusiones.....	61
3.5.	Recomendaciones.....	62
<b>Capítulo IV</b>	.....	<b>63</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	.....	<b>63</b>
<b>Capítulo V</b>	.....	<b>65</b>
<b>Glosario de términos</b>	.....	<b>65</b>
<b>Capítulo VI</b>	.....	<b>67</b>
<b>Anexos</b>	.....	<b>67</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> Organigrama de la Gerencia Regional de Gestión de Proyectos.....	4
<b>Gráfico 2</b> Organigrama del Gobierno Regional del Cusco.....	5
<b>Gráfico 3</b> Planta de Calentamiento de Asfalto.....	10
<b>Gráfico 4</b> Tanque de Almacenamiento de Asfalto del GORE Cusco.....	14
<b>Gráfico 5</b> La Ramificación del Problema Principal.....	15
<b>Gráfico 6</b> Análisis Árbol de Problemas.....	16
<b>Gráfico 7</b> Curva del Comportamiento del Aceite Térmico.....	26
<b>Gráfico 8</b> Aislamiento Térmico.....	29
<b>Gráfico 9</b> Sistema del Proceso en su Conjunto.....	31
<b>Gráfico 10</b> Foto de la Sala del Sistema de Generación de Calor.....	32
<b>Gráfico 11</b> Foto del Caldero Vertical de la Planta de Asfalto del GORE Cusco.....	33
<b>Gráfico 12</b> Bomba Centrífuga de Aceite Térmico de la Planta del GORE Cusco.....	34
<b>Gráfico 13</b> Tanque de Expansión GORE Cusco.....	35
<b>Gráfico 14</b> Tuberías de Transporte de Fluido Térmico GORE Cusco.....	36
<b>Gráfico 15</b> Tanque de Asfalto.....	37
<b>Gráfico 16</b> Sistema de Calentamiento del Aceite Térmico.....	38
<b>Gráfico 17</b> Cuadro de Fallos del Sistema.....	43
<b>Gráfico 18</b> Diagrama del Sistema de Calentamiento de Aceite Térmico.....	44
<b>Gráfico 19</b> Tuberías de Alimentación del Tanque de Asfalto.....	46
<b>Gráfico 20</b> Tuberías de Alimentación del Tanque de Asfalto.....	46
<b>Gráfico 21</b> Tuberías de la Salida del Caldero.....	47
<b>Gráfico 22</b> Determinar la Pérdida de Calor en las Tuberías.....	49
<b>Gráfico 23</b> Evidencia de la Temperatura de Retorno del Proceso.....	50
<b>Gráfico 24</b> Diámetro del Aislante.....	50

<b>Gráfico 25</b> Plano de Serpentín de Tubo de 2" .....	56
<b>Gráfico 26</b> Plano Vista isométrico.....	56

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Análisis FODA y Estrategias .....	8
<b>Tabla 2</b> Obras Viales Gestión 2019- 2022 .....	9
<b>Tabla 3</b> Comparativo de los Aceites.....	25
<b>Tabla 4</b> Conductividad Térmica de Algunos Materiales .....	27
<b>Tabla 5</b> Análisis Modal de Fallos y Efectos .....	39
<b>Tabla 6</b> Análisis de A.M.F.E. ....	40
<b>Tabla 7</b> Prioridades del I.P.R. ....	41
<b>Tabla 8</b> Análisis de los Resultados .....	41
<b>Tabla 9</b> Tabla de Fallo de Caldero .....	42
<b>Tabla 10</b> Modo de Fallo Diseño de Serpentes .....	42
<b>Tabla 11</b> Modo de Fallo Pérdida de Calor.....	43
<b>Tabla 12</b> Potencia del Caldero .....	45
<b>Tabla 13</b> Indicadores de Fallas del Proceso Actual de Calentamiento .....	45
<b>Tabla 14</b> Medidas en Metros y Pulgadas .....	48
<b>Tabla 15</b> Valores Constantes y Valores de Sistema .....	48
<b>Tabla 16</b> Espesores de Asilamiento para Tubería .....	54
<b>Tabla 17</b> Área de Transferencia de Calor del Intercambiador Calor .....	55
<b>Tabla 18</b> Componentes del IPERC .....	58
<b>Tabla 19</b> Aislamiento Térmico de la línea de Tubería .....	60
<b>Tabla 20</b> Tanque Isotérmico de Almacenamiento de Asfalto .....	60

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1</b> Espesores de Aislamiento Recomendado .....	67
<b>Anexo 2</b> Apuntes de los Datos Para la Mejora .....	68
<b>Anexo 3</b> EE-TT Para Asilamiento de tuberías .....	69
<b>Anexo 4</b> Tablas de Conversión de la Mejora 1 de 1 .....	70
<b>Anexo 5</b> Tablas de Conversión de la Mejora 1 de 2 .....	71
<b>Anexo 6</b> Proceso de Control de los Fluidos .....	72
<b>Anexo 7</b> Espesores Recomendados Para Tuberías .....	73

**INDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1</b> Fórmula de la Conducción y/o Transferencia de Calor.....	23
<b>Ecuación 2</b> Fórmula de la Convección y/o Transferencia de Calor .....	24
<b>Ecuación 3</b> Frecuencia Gravedad Detectabilidad.....	41

## CAPÍTULO

### GENERALIDADES DE LA EMPRESA O ENTIDAD

#### 1.1 Antecedentes de la empresa o entidad

La conformación de regiones como divisiones políticas del país, integradas para instruir gobiernos regionales con autonomía económica y política que permitan descentralizar la acción del estado, fue publicado en el diario oficial el peruano el 18 de noviembre de 2002.

El marco legal de la regionalización es la Ley de Bases de la Descentralización, promulgada el 17 de julio de 2002, y la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, aprobada el 19 de noviembre de 2002. Las elecciones de 2002 resultaron en el nombramiento de gobiernos regionales, uno por cada departamento y uno en la Provincia Constitucional del Callao.

La Constitución Política del Perú del año 1979 contuvo previsiones para la descentralización del poder mediante la creación de regiones autónomas, pero éstas no fueron implementadas.

En los últimos años del primer gobierno de Alan García (1985–1990), implantó las doce regiones, sin embargo, debido a lo apresurado de su creación, los gobiernos regionales carecieron de recursos fiscales propios, así que dependieron de la bondad del gobierno central para los fondos.

Las elecciones presidenciales de 1990 estuvieron marcadas por el descrédito al sistema partidario, evidenciado por la elección de Alberto Fujimori, un candidato independiente. Fujimori retuvo las transferencias reemplazó con los Consejos Transitorios de Administración Regional (CTAR) creados para cada departamento. Habiendo disuelto el congreso durante la crisis constitucional de 1992, Fujimori convocó a elecciones para una Asamblea Constituyente la cual promulgó la constitución de 1993. Este nuevo texto incluyó provisiones para la creación de regiones con gobiernos elegidos y autónomos, pero no fueron llevadas a cabo.

La Ley Marco de Descentralización promulgada el 30 de enero de 1998, confirmó la permanencia de los consejos transitorios, ahora bajo la supervisión del Ministerio de la Presidencia.

## **1.2 Perfil de la empresa o entidad**

El Gobierno Regional del Cusco, elegido por voluntad popular, es una entidad con personería jurídica de derecho público, económica y administrativa en asuntos de su competencia. Su denominación como “Gore Cusco” se define en el marco de la Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales y sus modificatorias.

El artículo 7° del Reglamento de Organización y Funciones define que el Gobierno Regional del Cusco tiene el compromiso esencial de fomentar el desarrollo regional integral sostenible, promoviendo la inversión pública, privada y el empleo, garantizando el ejercicio pleno de los derechos de igualdad de oportunidades de sus habitantes, de acuerdo con los planes y programas nacionales, regionales y locales de desarrollo.

De la estructura orgánica del Gore Cusco, se encuentra dentro de los órganos de línea la gerencia regional de gestión de proyectos, que es la encargada de ejercer funciones específicas de vialidad, transportes, comunicaciones entre otras, en coordinación con sus subgerencias del equipo mecánico, que supervisan y ejecutan obras viales, como construcción de carreteras asfaltadas por administración directa, construcción de infraestructuras educativas, etc. con el propósito de brindar calidad de vida y desarrollo a sus pobladores beneficiadas.

La sub gerencia del equipo mecánico, que depende jerárquicamente de la gerencia regional de gestión de proyectos, cuenta con pool de maquinaria pesada moderna entre camiones volquetes, para ejecutar obras de construcción, dentro de ello cuenta con una planta de asfalto y chancadora, que es en este Trabajo de Suficiencia Profesional nos enfocaremos en hacer un análisis en el proceso de producción de asfalto con el propósito de mejorar la temperatura en los calentadores de los estanques de asfalto

### **1.3 Actividades de la empresa o entidad**

El Gobierno Regional Cusco, conforme a las disposiciones del Ejecutivo Nacional y en atención a lo establecido en el Art. 10° del Decreto Supremo N.º 116-2020-PCM, sobre las actividades del sector público y atención a la ciudadanía, establece:

Dentro de las actividades generales del Gobierno Regional del Cusco, las establecidas en el Art. 45° de la Ley N.º 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.

En función a su normativa y reguladora, elaborando y aprobando normas de alcance regional y regulando los servicios de su competencia.

En función de planeamiento, diseñando políticas, prioridades, estrategias, programas y proyectos que promuevan el desarrollo regional de manera concertada y participativa, conforme a las bases de descentralización y a la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.

#### **1.3.1 Misión.**

La Misión del Gobierno Regional Cusco es conducir la gestión pública orientada al desarrollo integral y sostenible de la región Cusco, con integridad, liderazgo, efectividad, transparencia, inclusión, identidad cultural e igualdad de oportunidades, de acuerdo con sus competencias constitucionales exclusivas, compartidas y delegadas, en el marco de las políticas nacionales y sectoriales (Gore Cusco, 2020, pág. 17)

#### **1.3.2 Visión.**

La Región Cusco, será un espacio de gestión de desarrollo, con una adecuada y eficiente integración y articulación Inter e intrarregional, socialmente atendida con educación y empleo de calidad que habrá reducido significativamente la pobreza extrema; será una Región con una base económica productiva en un franco proceso de despegue, en armonía con el medio ambiente; posicionando su producción en los principales

mercados internacionales y mejorando los niveles de vida de su población (Gore Cusco, 2020, pág. 9)

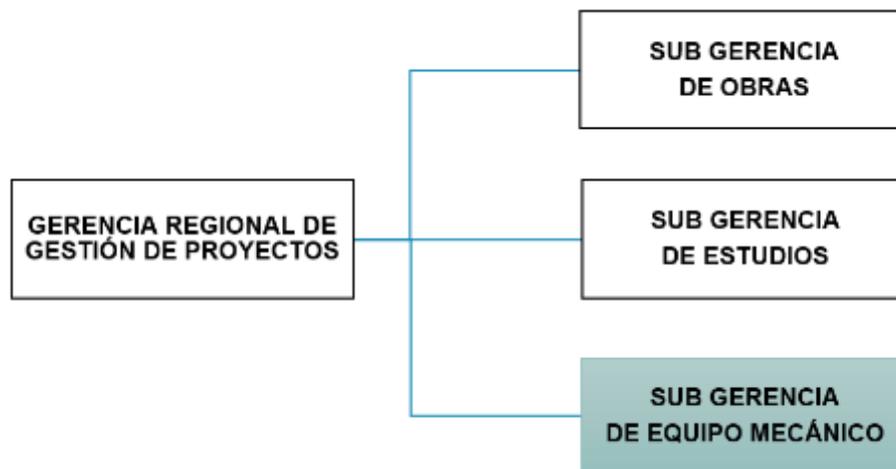
### 1.3.3 Objetivo.

Los objetivos estratégicos institucionales son los fines y metas desarrollados a nivel estratégico y que el Gobierno Regional del Cusco pretende lograr en un periodo de 4 años. Se basan en la visión, misión y los valores que determinan las acciones y medios que se ejecutaran para cumplirlos. Los objetivos estratégicos institucionales serán medidos a través de sus correspondientes indicadores y logros esperados, establecidos de acuerdo con el horizonte del Plan Estratégico Institucional-PEI. (Gore Cusco PEI,, 2020, pág. 8).

## 1.4 Organización actual de la entidad

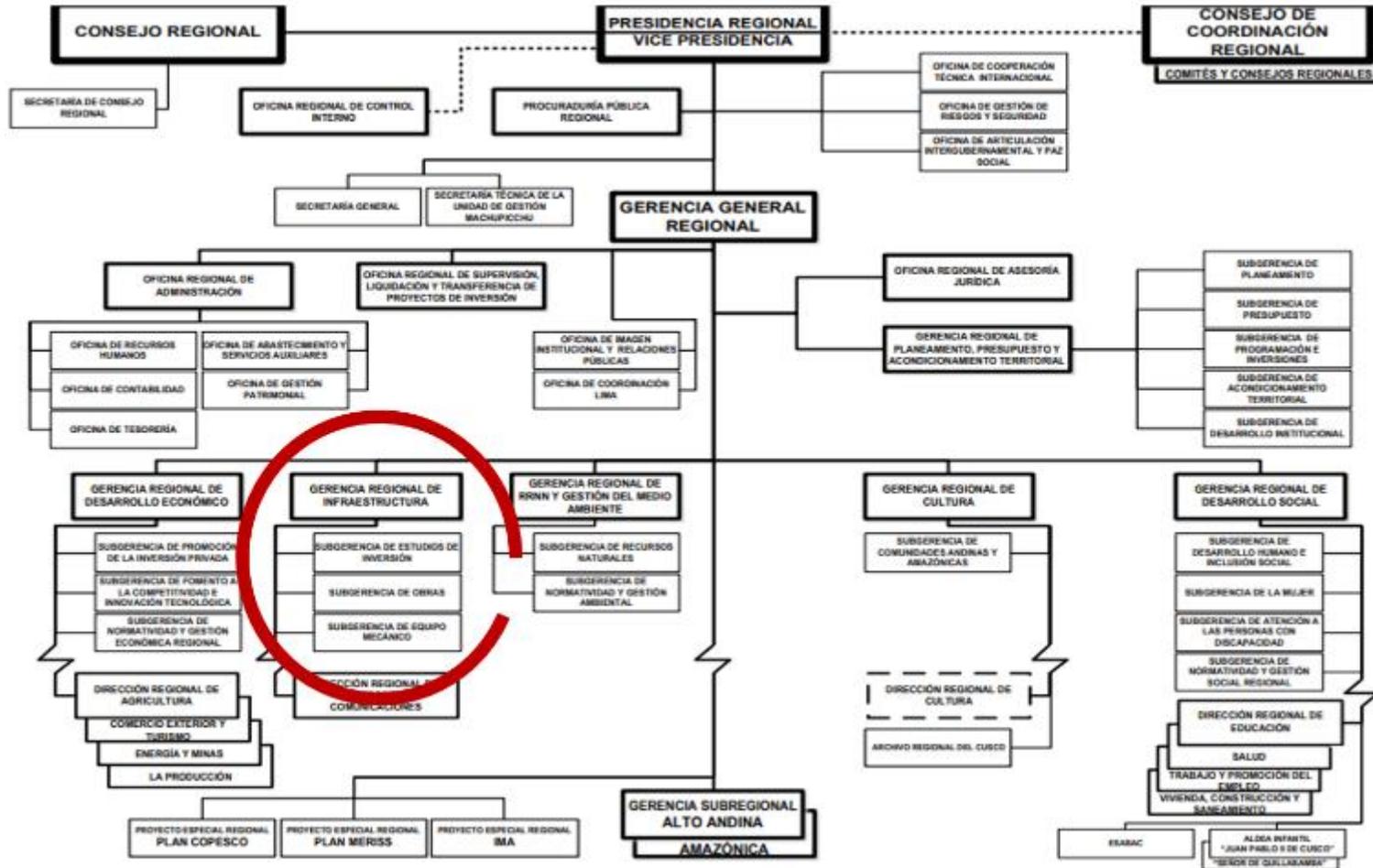
**Gráfico 1**

*Organigrama de la Gerencia Regional de Gestión de Proyectos*



Fuente: (Quispe Peralta, 2020)

**Gráfico 2**  
Organigrama del Gobierno Regional del Cusco



Fuente: (Gobierno Regional del Cusco, 2015)

Del Gráfico N° 1, según el artículo 116 del “Reglamento de Organización y Funciones (ROF)”, Aprobado de fecha once de setiembre del dos mil veinte con la presente Ordenanza Regional N° 176-2020-CR/GR Cusco, que:

La Gerencia Regional de Gestión de Proyectos es un órgano de línea de segundo nivel organizacional, responsable de ejercer funciones específicas de vialidad, transporte, trasporte, telecomunicaciones, infraestructura y de más funciones establecidas por ley. Proponer, ejecutar y coordinar las políticas, estrategias, proyectos normativos y el fortalecimiento de capacidades en materia de ejecución de las inversiones estructuradas. (Gobierno Regional del Cusco, Ordenanza Regional 176-2020, 2020, pág. 67)

Para el cumplimiento de sus funciones, la GRGP se organiza en:

- **Subgerencia de Gestión de Estudios y Proyectos.** - Es un órgano de tercer nivel organizacional, responsable de conducir el proceso de elaboración de estudios definitivos.
- **Subgerencia de Gestión de Obras.** - Es un órgano de tercer nivel organizacional, responsable de formular la normatividad para la ejecución de las inversiones estructuradas, que cuenten con viabilidad.
- **Subgerencia de Gestión de Equipo Mecánico.** - Es un órgano de tercer nivel organizacional, responsables de ejecutar las actividades de operación y mantenimiento de los equipos de maquinaria pesada incluyendo la planta de asfalto.

La Planta de Asfalto, que es el área elegida en la elaboración de TSP, cuenta con siete colaboradores a cargo del subgerente del equipo mecánico.

## 1.5 Descripción del entorno de la entidad

### 1.5.1 Análisis del entorno general

El entorno del Gobierno Regional Cusco gira en función de desarrollar en forma sostenible las capacidades y potencialidades de la población en

coordinación con sectores, como educación, cultura, salud, y las municipalidades que forman parte de integración, con un objetivo común de generar desarrollo del Cusco, así como desarrollar la actividad agropecuaria y forestal en el nuevo enfoque de cadenas productivas en coordinación con la dirección de agricultura, desarrollar la actividad turística como base de una propuesta articulada e integrada a los intereses, desarrollar proyectos viales a la satisfacción de las necesidades de la población y del desarrollo sostenible de la Región entre otros. (GRC, 2012)

### **1.5.2 Análisis FODA - Sub Gerencia del equipo mecánico**

La sub gerencia de gestión de equipo mecánico tiene la función de la administración y designación de maquinaria pesada y camiones volquetes a las diferentes obras que ejecuta el gobierno regional por administración directa, a la vez esta oficina se encarga de hacer visitas a las diferentes obras para supervisar y controlar que se cumplan los mantenimientos preventivos programados a fin de darle más vida útil a las máquinas, como también paralelo a esto se encarga de realizar los requerimientos de insumos y repuestos diagnosticados por los mecánicos. Por otra parte, también está encargada de la planta de asfalto y la planta de chancadora, su función es mantener en operatividad todo el sistema o proceso en la producción de la mezcla asfáltica.

**Tabla 1**  
*Análisis FODA y Estrategias*

<p style="text-align: center;"><b>ANÁLISIS EXTERNO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ANÁLISIS INTERNO</b></p>	<p><b>OPORTUNIDADES O</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La aprobación de proyectos de construcción de carreteras.</li> <li>2. Demandas en la producción de mezcla con asfalto modificado.</li> <li>3. Necesidad de nuevas tecnologías</li> <li>4. Establecer la confianza en producción dando buen servicio.</li> <li>5. La aprobación y generación de presupuestos.</li> </ol>	<p><b>AMENAZAS A</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El deterioro prematuro de máquinas en las obras.</li> <li>2. La falta de obras por administración directa.</li> <li>3. La pandemia del Covid-19.</li> <li>4. Los bajos salarios del personal técnico.</li> <li>5. Elevados precios de repuestos alternativos.</li> <li>6. La inadecuada sostenibilidad del área. a consecuencia de las gestiones políticas de turno.</li> </ol>
<p><b>FORTALEZAS F</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Personal técnico profesional con experiencia.</li> <li>2. Contamos con pool de maquinaria pesada y planta de asfalto.</li> <li>3. Cuenta con un taller de maestranza de máquinas por arranque de viruta.</li> <li>4. Equipos tecnológicos en informática.</li> </ol>	<p><b>Estrategia FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Repotenciar nuestra planta asfalto para producir productos nuevos como asfaltos modificados con polímeros.</li> <li>– Capacitar al personal técnico y dar confiabilidad en los procesos con productos de calidad.</li> <li>– Al tener un taller de maestranza, implementar con herramientas y materiales para llevar a cabo mantenimientos correctivos de la planta de asfalto.</li> </ul>	<p><b>Estrategia FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al contar con técnicos capacitados, supervisar en la obra, que se cumplan los planes de mantenimiento de la maquinaria pesada.</li> <li>– Capitalizar la capacidad de maquinaria con que contamos, para ejecutar obras por administración directa</li> <li>– Aumento de salarios a los operadores de maquinaria con experiencia previa evaluación y evitar las renunciaciones.</li> </ul>
<p><b>DEBILIDADES D</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limitación en la toma de decisiones y liderazgo de gestores.</li> <li>2. Escaso control de maquinaria pesada asignadas a los proyectos de construcción de vías.</li> <li>3. No contamos con presupuesto de funcionamiento</li> <li>4. Falta de liderazgo de parte del Sub Gerente</li> <li>5. No contamos con subcomité de seguridad y salud en el trabajo.</li> </ol>	<p><b>Estrategia DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacitación en gestión de liderazgo para asumir con compromiso nuevos retos</li> <li>– Ante la existencia de demanda de asfalto modificados, asignar presupuesto a la SGEM.</li> <li>– Implementar con nuevas tecnologías el área de mecánica y mejoras en la planta de asfalto.</li> <li>– Cumplir la implementación de SSOT ley 29783 para reducir accidentes.</li> </ul>	<p><b>Estrategia DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementar protocolos en SGEM para el control de la pandemia covid-19 y reducir los contagios.</li> <li>– Coordinar con los residentes de obras y la gerencia, para hacer cumplir con los mantenimientos a las maquinarias y la planta de asfalto.</li> <li>– En coordinación con logística hacer un control en la recepción de repuestos según los requerimientos.</li> </ul>

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

### a. Factores económicos

El gobierno regional del cusco para el Ejercicio Fiscal 2021, la partida presupuestal es de S/. 2199'269,788.00 y en cumplimiento de sus fines está ejecutando obras viales en beneficio del desarrollo de su población promoviendo la información necesaria para la oportuna actualización en portal de transparencia. En la tabla 1 se observa algunas de las obras viales que ejecuta el Gobierno regional.

**Tabla 2**  
*Obras Viales Gestión 2019- 2022*

Obras viales	Km.	Costo S/.	Ejecuta	Plazo años
Mejoramiento de la carretera Cusco – Ccorca	21	52,000,000.00	Per plan Copesco	18 meses
Mejoramiento Integral de la Vía Expresa de la Ciudad del Cusco Óvalo Los Libertadores-Puente Costanera-Nodo Versailles	6	289,000.000.00	La empresa China Gezhouba Group Company LTD	22 meses
Mejoramiento de la carretera Rio Blanco – Molle pata Anta – Cusco.	10	40,529.511.78	GORE CUSCO	14 meses

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

### b. Factores tecnológicos

La Gerencia Regional de Gestión de Proyectos del Gobierno Regional del Cusco, cuenta con un pool de equipo y maquinaria para la ejecución de proyectos por Administración Directa, también cuenta con una planta de asfalto y una planta chancadora de agregados pétreos, con el que realizamos la colocación de las carpetas asfálticas en diferentes proyectos de construcción de carreteras que ejecuta la Gerencias de Gestión de Proyectos como agenda de sus funciones para la conectividad y el desarrollo de sus pueblos.

Para poder desarrollar este estudio de TSP que consiste en una mejora del proceso, se observa una deficiencia en la transferencia de calor en el sistema calentamiento del cemento asfáltico, por causas a analizar, y es la parte más importante de la calidad proceso.

### **c. Factores políticos**

Propiciar la gestión y concertación con el Gobierno Nacional, Gobierno Regional y Gobiernos locales, para la ejecución de proyectos y programas de gran impacto Regional y Nacional.

Promover en el sector público, la generación de una nueva cultura organizacional para la gestión moderna, eficaz garantizando el bienestar de la población.

#### **Gráfico 3**

*Planta de Calentamiento de Asfalto*



Fuente: (Gore Cusco, 2020)

## CAPÍTULO II

### REALIDAD PROBLEMÁTICA

#### 2.1 Descripción de la realidad problemática

Para el Gobierno Regional del Cusco, el rendimiento eficiente de su planta de asfalto en la producción y la calidad de la mezcla asfáltica es un factor primordial de suma importancia. Sin embargo, el buen funcionamiento del sistema de calentamientos, en los tanques térmicos de asfalto, en estos últimos años no han sido los óptimos, a causa de la aparición de nuevos productos de asfalto que requieren temperaturas sobre los 170°C para dosificación. El propósito del proceso en la producción es cumplir con parámetros de la especificación de una mezcla asfáltica y a la vez estos cumplan con los criterios de pruebas de ensayo y reduzcan el riesgo de fallas prematuras.

El Gobierno regional del cusco, cuenta con una planta de asfalto que se ubica en la localidad de Huambutio a 12 km de la ciudad del cusco, tiene una antigüedad de 16 años, es un ente que abastece su producción de asfalto a todas las obras viales que ejecuta mediante administración directa, por su diseño de fábrica solo produce asfalto convencional, dado que en la actualidad se está usando asfalto modificado con polímeros, a consecuencia a esto se necesita temperatura más alta a la convencional, Es importante contar con mejoras en la planta, en la parte del sistema de calentamiento de asfalto, para optimiza el flujo del proceso de producción y calidad de la mezcla asfáltica. Existen referencias de mejoras en los sistemas de distribución de calor desde los calderos hacia los tanques, dentro de ello se encuentra la Municipalidad Provincial del Cusco, que cuenta con una planta de Asfalto de fabricación brasileña, ubicada en el Distrito de Oropesa a 25 km. De la ciudad del Cusco, esta planta tiene el sistema de calentamiento de los tanques de asfalto, sofisticados. Llegan a temperaturas de hasta 180°C ideal para asfalto modificados con polímeros. Tal como menciona: (Ferrer, 2006)

“Desde la fabricación e instalación de los primeros generadores de fluido térmico en España hacia la década de los setenta, la aplicación de calderas que utilizan esta tecnología no ha parado de

desarrollarse. Hoy en día, el aceite térmico es la alternativa tecnológica más adecuada en cualquier tipo de industria que necesite de calentamiento indirecto.”

### 2.1.2. Descripción del proceso de producción

Para el proceso de producción de cemento asfáltico en caliente intervienen los siguientes procedimientos o sistemas:

- **Sistema de chancado de agregados pétreos:** Es el proceso de transformar la piedra en dimensiones requeridas por el diseño, los mismos que han sido calificados como aceptables para la elaboración de esta mezcla asfáltica, piedra gruesa, piedra mediana y arena.
- **Sistema de mezcla de agregados con el asfalto:** Es el proceso de la dosificación del asfalto a 145°C (con asfalto convencional), con los agregados pétreos en el tambor rotativo, siendo la temperatura en la llama aproximadamente de 800° C, es aquí donde los agregados son calentados en forma lenta hasta los 150 °C.
- **Sistema de calentamiento del aceite térmico:** Es un sistema que se utiliza para el calentamiento de los aceites térmicos en la producción de emulsiones asfálticas, las temperaturas que se genera son desde 150°C a 230°C dependiendo el tipo de aceite utilizado, su instalación consta de tubos de acero al carbono en la distribución de calor y serpentines en el interior de los tanques de almacenamientos de asfalto usados para el proceso, así como también tiene válvulas que soportan temperaturas altas y válvulas de alivio.

Existe una línea de tubería que cubre en forma de tubos concéntricos a la línea de asfalto transfiriendo calor por conducción, de esta manera la circulación del asfalto en su línea se hace fluido a lo largo de su recorrido evitando un enfriamiento que afecte la producción.

El circuito de calentamiento del aceite térmico inicia en el tanque de almacenamiento de este, accionado por una bomba centrífuga alimenta

al caldero o directamente al circuito cerrado para retribuir algunas pérdidas de fluido. El caldero calienta el aceite a una temperatura que es requerida para el proceso y este es conducido a través de bombas hacia los tanques de asfalto mediante las tuberías para calentar hasta temperaturas óptimas que son 150°C a 170°C según el tipo de asfalto a usar, y luego conducidos al tambor rotativo para ser mezclados con los agregados.

### **2.1.3. Delimitación del área de investigación**

Delimitando nuestro análisis de la problemática, es en el sistema de calentamiento que nos enfocaremos, donde al existir en el área del sistema de calentamiento de los tanques de cemento asfáltico, una deficiencia energética en elevar la temperatura óptima del asfalto, esto genera incremento del consumo de combustible, el incumplimiento de los parámetros de dosificación, posible mala calidad de la mezcla asfáltica, por lo tanto, este problema tiene un impacto negativo en la vida útil de la carpeta de rodadura. En virtud de la probabilidad de dicho problema en la sala de caldero de aceite térmico y su distribución, nace una inquietud de hacer una investigación para establecer las causas que originan este problema durante el proceso de calentamiento del asfalto y sus posibles mejoras. En sentido se considera como lo indica la guía completa de (Pirobloc, 2009)

“La estabilidad térmica del fluido es el factor primario para determinar su máxima temperatura de funcionamiento. La estabilidad térmica se define simplemente como la capacidad de un fluido térmico para soportar el agrietamiento molecular del estrés térmico”.

#### **Gráfico 4**

*Tanque de Almacenamiento de Asfalto del GORE Cusco*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

De la ilustración1, se observa los tanques de almacenamiento de asfalto, el sistema de instalación de tuberías por donde se distribuye el fluido térmico para el calentamiento del asfalto que se encuentra en los tanques.

#### **2.1.4. Herramienta de análisis de árbol de problemas**

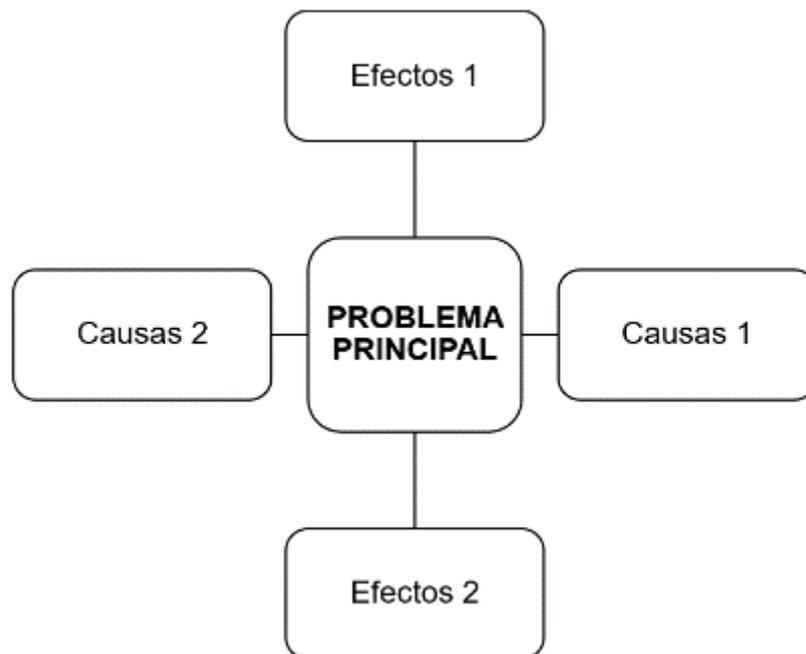
Un árbol de problema consiste en desarrollar ideas creativas para identificar las posibles causas del conflicto, generando de forma organizada un modelo que explique las razones y consecuencias del problema. En similitud a un árbol, el problema principal representa el tronco, las raíces son las causas y las ramas los efectos, reflejando una interrelación entre todo el elemento. (Hernandez Hernandez & Garnica Gonzales , 2015, pág. 40)

Estructura de la herramienta:

- Definir el problema principal del proyecto que representa el tronco del árbol.
- Analizar las causas por orden de relevancia situada abajo del problema principal.
- Clasificar los efectos generales y específicos situada encima del problema principal.

**Gráfico 5**

*La Ramificación del Problema Principal*

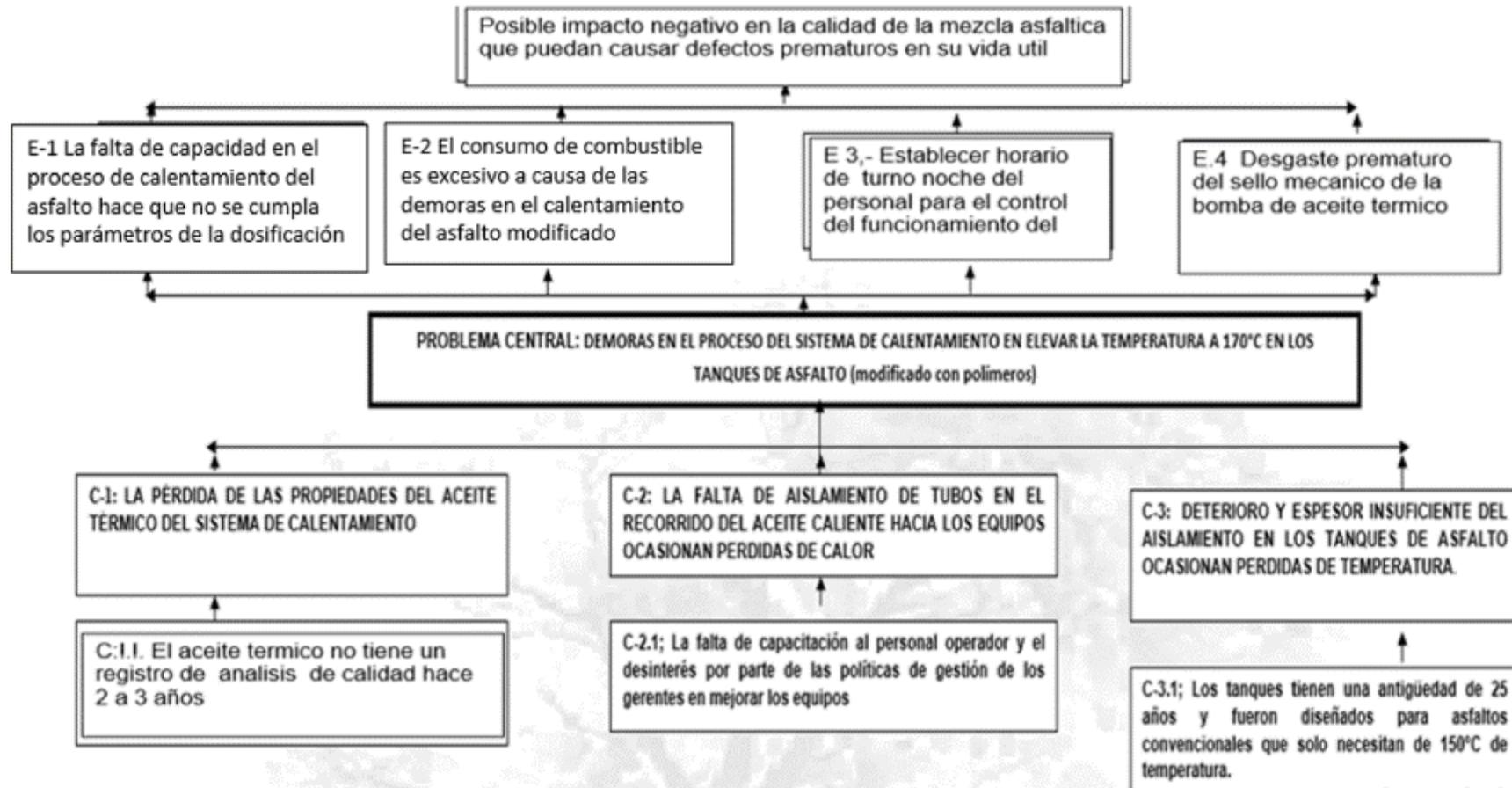


Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Análisis de la problemática durante el proceso de calentamiento del asfalto.

**Gráfico 6**  
Análisis Árbol de Problemas



Fuente: (Gobierno Regional del Cusco, Ordenaza Regional 176-2020, 2020)

## **2.6. Análisis del problema**

Deficiente proceso de calentamiento y distribución de fluido térmico hacia los tanques de asfalto:

¿Mejorará el sistema de calentamiento y distribución de fluido térmico, para optimizar la temperatura en los tanques de asfalto?

## **2.7. Objetivos del proyecto**

### **2.7.1. Objetivo general**

Mejorar el sistema de calentamiento de fluido térmico, para minimizar pérdidas de energía y optimizar la temperatura en los tanques de asfalto y cumplir con los parámetros de asfaltos modificados con polímeros.

### **2.7.2. Objetivos específicos**

- Analizar el sistema de calentamiento para detectar causas de pérdidas de calor en la distribución del fluido térmico.
- Disminuir las horas en proceso de calentamiento de los tanques de asfalto.
- Proponer mejoras en las instalaciones de tubos del sistema de calentamiento.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL PROYECTO.

#### 3.1. Descripción y desarrollo del proceso

##### 3.1.1. Antecedentes de la investigación.

Según Áureo Jordán Alfonso 2015, en su tesis análisis y propuesta de mejora de la eficiencia energética de la instalación de aceite térmico de una planta de pinturas mediante la modificación de la distribución de los productos en los reactores dice que el objetivo del presente trabajo fin de grado (TFG) es el análisis del sistema de aceite térmico usado como sistema de calefacción industrial en una fábrica de pinturas y la posterior propuesta de mejora.

Para la fabricación de pinturas la empresa PPG Ibérica emplea un sistema de calefacción con aceite térmico, este aceite térmico es calentado por las calderas con el uso del gas natural y enviado a los reactores de producción a través de unas tuberías aisladas térmicamente; en este Trabajo de Suficiencia Profesional se estudia el sistema de calefacción utilizado por la empresa para calentar y enfriar el producto que hay en el interior de los reactores con el objetivo de analizar y mejorar las situaciones energéticamente ineficientes.

Según Martín Alexander Chacabana Vilca en la tesis, “Diseño de ingeniería para la distribución de aceite térmico 2016”, menciona que:

“El aceite de pescado sin refinar presenta diferentes contaminantes, para lograr su purificación se necesita que este llegue a su punto de ebullición ( $>250^{\circ}\text{C}$ ), con los sistemas tradicionales de vapor no se puede llegar a dicho punto de ebullición por ende se necesita utilizar otro tipo de tecnología como el del aceite térmico”.

En este Trabajo de Suficiencia Profesional se desarrolló un sistema de aceite térmico para la refinación del aceite de pescado cuya demanda de este es de 5000 kg/hr según el proceso hecho por tasa; se seleccionó una caldera de aceite térmico de 1'200'000 BTU/hr (FT-0120), con una capacidad de aceite térmico de 21 gal y con una caudal recomendado de 75 GPM; también se

seleccionó un tanque de expansión FT-200L con capacidad de 46 gal., además, se seleccionó una bomba de recirculación de 10 Hp enfriado por aire y por último la selección de un aceite térmico de grado alimenticio.

La eficiencia de la caldera de aceite térmico está alrededor del 80 % en lo que respecta al sistema de tuberías para la distribución de aceite térmico se seleccionó un diámetro DN 40 SCH 40 sin costura para la alimentación y retorno, además seleccionamos válvulas y accesorios de acuerdo con los diámetros, presión y temperatura.

Según Julio César Tevelán Pérez 2015, en su tesis “Propuesta de mejora en un sistema de transferencia de calor con aceite térmico en una industria textil, menciona que:

“En los sistemas de aceite térmico el fluido que transporta el calor es un aceite con baja viscosidad, resistente a la oxidación; el cual, como propiedad principal, tiene que soportar altas temperaturas; estos sistemas son más simples de utilizar cuando se comparan con los de vapor de agua, ya que para alcanzar temperaturas de 300 °C se necesita mucha presión lo que exige una caldera de mucha más capacidad; se evita también el tratamiento de agua para eliminar los desechos sólidos, uso de trampas termodinámicas, entre otros.”

El objetivo principal de esta investigación está basado en incrementar la eficiencia del sistema evitando la pérdida de calor en el transporte del fluido hacia las máquinas que lo utilizan, por lo que se realizaron mediciones de temperatura con uso de cámara termo gráfica y mediciones de tubería para determinar la cantidad de energía perdida a través de software y proponer una solución que sea factible para la empresa que represente ahorro económico, energético, ayudando a mejorar tiempos en los procesos y eficiencia en el sistema.

### 3.1.2. Bases Teóricas y la caldera de aceite térmico

Ricardo Antonio Mendoza Sandoval, en su tesis, “Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor 2009” afirma que:

“Los sistemas de calentamiento o transferencia de calor, mediante fluido térmico se utilizan en procesos que requieren temperaturas superiores a los 185 °C. y hasta 300 °C, empleando como medio de transferencia, aceites especiales de alta conductividad, ya que estos permiten trabajar en su fase líquida sin generar presión y adicionalmente nunca hierven. Esta característica los hace ideales para lograr altas temperaturas de proceso con un bajo margen de riesgo a las personas y equipos, superando en muchos aspectos al vapor.”

Por otro lado, la empresa (CERNEY, 2021) afirma que:

“En estos equipos de fluido térmico, el cuerpo de la caldera de aceite está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición vertical u horizontal, incorpora interiormente un hogar de amplias dimensiones, impidiendo todo contacto entre la llama y el cuerpo de caldera, asegurando que la temperatura de película no supere los límites máximos de trabajo de aceite térmico.”

La circulación forzada y controlada del fluido térmico se realiza en un serpentín multi tubular, que asegura una transferencia de calor perfectamente equilibrada por la caldera de aceite térmico, garantizando un funcionamiento sin riesgo de alteración del fluido; En ese sentido, las características principales de una caldera de aceite térmico consisten en lo siguiente:

- ✓ Potencias: Desde 0,1 a 15 MW.
- ✓ Presión máxima admisible (PS): 40 bar.
- ✓ Presión máxima de servicio (Pms), 25 bar.
- ✓ Temperatura de servicio aprox. 230°C.

- ✓ Temperatura de diseño 250°C a 300°C
- ✓ Serpentes acuotubulares.
- ✓ Utiliza fluidos térmicos.
- ✓ El fluido térmico viaja a grandes velocidades dentro de los serpentines de 2 a 4 m/s.
- ✓ El flujo es totalmente turbulento consiguiéndose con ello elevados coeficientes de transmisión de calor.

### 3.1.3. Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos donde la eficiencia depende del área de transferencia de calor al fluido térmico.

Los sistemas de calentamiento o transferencia de calor con aceite térmico, también conocidos como sistemas de fluidos térmicos, son los que utilizan aceite con buenas propiedades para elevarlo a temperaturas altas; este aceite es calentado de forma indirecta en estado líquido para ser bombeado hasta los usuarios de dicha energía térmica en un circuito cerrado; las temperaturas alcanzadas en estos sistemas son de 600 °F (316 °C) en aceites naturales y de 800 °F (427 °C) con ciertos aceite sintéticos en condiciones de baja presión. Estos sistemas son semejantes a los de vapor, dado que también son distribuidos desde un punto de generación, que es la caldera, en estos casos llamado calentador, hasta los diferentes equipos que requieran la utilización de dicha energía, transportándolos por tuberías cubiertas con aislamiento para evitar las pérdidas de calor en el transporte del fluido. Para distribuir el aceite térmico es necesaria la utilización de bombas de recirculación que se encargan de llevar el aceite caliente hasta los equipos que lo necesitan.

### 3.1.4. Calentamiento de tanques de almacenamiento

Los asfaltos son productos derivados del petróleo, por lo que, para su correcto uso en la producción a lo que se someten, necesitan temperaturas que sean superiores, ya que estos productos son altamente viscosos a bajas temperaturas, lo cual es imposible su correcto uso en la distribución hacia los fines en que son requeridos.

El sistema de calentamiento que se aplica en el interior de los tanques es a base de serpentines tipo parilla por donde circula el fluido térmico a grandes velocidades por lo que se considera el más simple.

Los diseños de estos serpentines deben ser elegidas adecuadamente de manera que pueda transferir en su totalidad la potencia del fluido térmico hacia los tanques, en tal sentido se requieren hacer los cálculos correspondientes de ingeniería de tal manera que se determinen las áreas de superficie requeridos, como los diámetros y longitudes de los tubos.

### 3.1.5. Formas de transferencia de calor

Son los siguientes:

- **Conducción:** La conducción es la transferencia de calor de las partículas más energéticas de un cuerpo hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. (cengel, 2007, pág. 63)

**Ecuación 1**

*Fórmula de la Conducción y/o Transferencia de Calor*

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA\Delta T}{d}$$

Fuente: ( Martín Domingo, 2000)

- ✓ Q= Calor transferido
  - ✓ t = Tiempo
  - ✓ k = Conductividad térmica
  - ✓ A = Área de sección transversal
  - ✓  $\Delta T$  = Diferencia entre la temperatura
  - ✓ d = Grosor
- **Radiación:** Agustín Martín Domingo en su libro Apuntes de la Transmisión de Calor, define, la energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T, y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura. La radiación es el único medio de transmisión del calor cuando ésta tiene lugar a través del vacío, y puede ser muy importante para altas temperaturas.
- **Convección:** Es una forma de la transferencia de calor que consiste en transportar el calor a través de movimiento de los fluidos, puede ser natural generada por la diferencia de densidades de la materia o forzada cuando la materia es impulsada de un lugar a otro. Por consiguiente, se clasifican en:

**Ecuación 2**

*Fórmula de la Convección y/o Transferencia de Calor*

$$Q = h A (T_s - T_{\infty})$$

Fuente: ( Martín Domingo, 2000)

- ✓ Q = Calor transferido
  - ✓ h = Coeficiente convectivo
  - ✓ A = Área de transferencia
  - ✓ Ts = Temperatura de la superficie
  - ✓ T<sub>∞</sub> =Temperatura del fluido
- **Convección de Flujo Laminar:** Es el movimiento de los fluidos en forma ordenada, es decir que los fluidos se mueven en láminas paralelas donde cada partícula del fluido avanza en una dirección llamada línea de corriente, a velocidades lentas.
- **Convención de Flujo Turbulento:** flujo turbulento es el movimiento de un fluido de manera desordenada, en que las partículas se mueven de forma enredada y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos constantes y estos sucede cuando las velocidades son altas generados por una fuerza motriz.

**3.1.6. Fluido térmico**

Según David Fernando Briso Medina, en su tesis. “Análisis de ingeniería a un sistema de calefacción mediante aceite térmico 2006”, nos indica que:

“Un aceite utilizado como fluido térmico debe tener excelentes características para la transferencia de calor y que las distintas

variaciones de temperatura no cambien sus propiedades físicas. Existe una gran gama de fabricantes de aceite y la elección depende de los requerimientos de la planta. La circulación forzada y controlada del fluido térmico dentro del circuito, se realiza para asegurar una transferencia de calor perfectamente equilibrada, garantizando un funcionamiento sin riesgo de alteración del fluido.”

Los aceites térmicos en estos tiempos son utilizados en la industria por lo que alcanzan temperaturas altas de hasta 350°C, sin llegar a puntos de gasificación manteniéndose en estados líquidos, sin embargo, no generan presión a excepción de la bomba que genera presión cuando hace circular los fluidos por los tubos de distribución.

➤ **Tipos de aceite térmico**

- ✓ Aceites sintéticos,
- ✓ Aceites Minerales parafinas
- ✓ Otros, incluidas las siliconas.

**Tabla 3**

*Comparativo de los Aceites*

ACEITE TERMICO	TEMPERATURA DE PROCESO	COSTE ECONOMICO	MEDIO AMBIENTE	TRANSFERENCIA DE CALOR	ESTABILIDAD TERMICA
ACEITE SINTETICO	20° a 400° C	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO
ACEITE MINERAL	10° a 300° C	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO

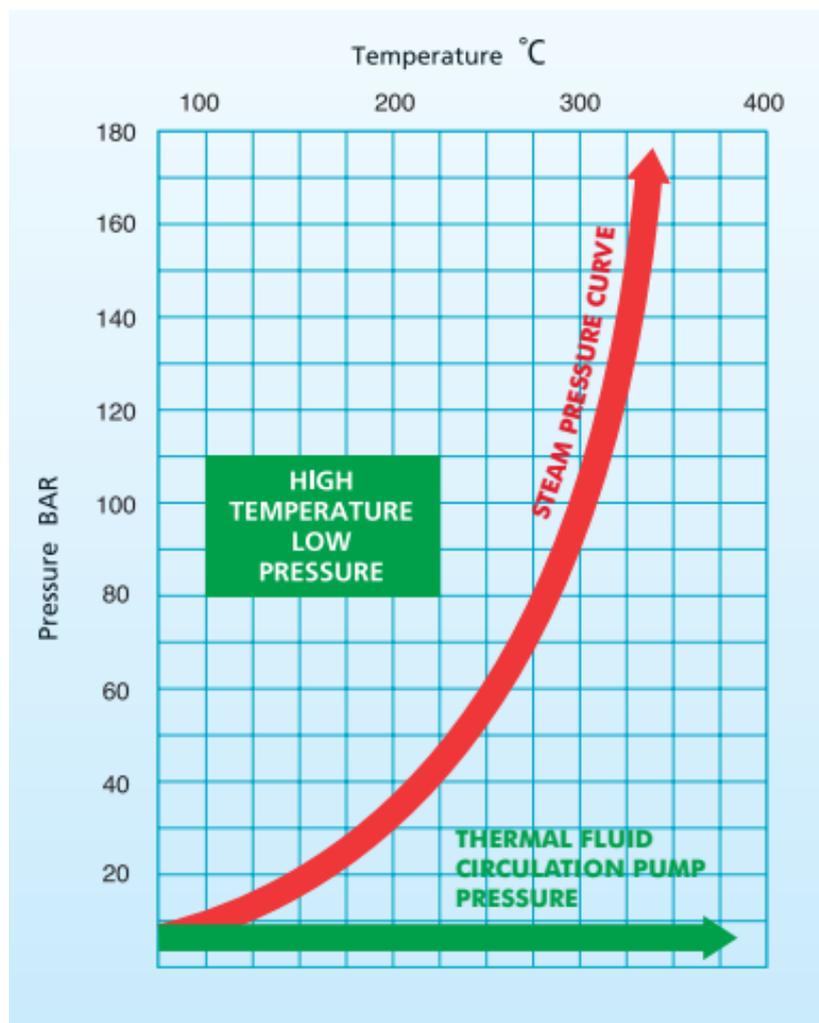
Fuente: (Quispe Peralta, 2020)

- **Aplicaciones de sistemas de aceite térmico:** Es recomendable en los procesos que requieran altas temperaturas y procesos industriales de alta productividad, estas son algunas de las siguientes aplicaciones:

- ✓ Procesos de secado como: pinturas, tintas, cerámicas, tabacos y papel.
- ✓ Procesos de manufactura en la industria textil.
- ✓ Fabricación en serie de madera prensada.
- ✓ Tanques de asfalto.
- ✓ Generación de vapor sin quemado.

**Gráfico 7**

*Curva del Comportamiento del Aceite Térmico*



Fuente: (Wanson, 2000)

- **Conductividad térmica:** La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales, la cual indica la capacidad que posee un material para transmitir o conducir calor; a continuación, se presenta la siguiente figura:

**Tabla 4**  
*Conductividad Térmica de Algunos Materiales*

Metales, a 25°C		Gases, a 20°C		Otros materiales	
Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)
Aluminio	238	Aire	0.0234	Asbesto	0.08
Cobre	397	Helio	0.138	Concreto	0.8
Oro	314	Hidrógeno	0.172	Diamante	2300
Hierro	79.5	Nitrógeno	0.0234	Vidrio	0.84
Plomo	34.7	Oxígeno	0.0238	Hule	0.2
Plata	427			Madera	0.08 a 0.16
Latón	110			Corcho,	0.42
				Tejido humano	0.2
				Agua	0.56
				Hielo	2

Fuente: (Wanson, 2000)

- **propiedades que deben cumplir los aceites térmicos:** Seleccionar el aceite térmico adecuado que cumpla con las características para un sistema de temperaturas altas es indispensable tomar en consideración los siguientes aspectos:
- ✓ Temperatura de alcance efectivo o temperaturas a las cuales se pueda operar sin degradarse 49 – 316 °C.
  - ✓ La presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura es de un máximo de 4.720 psi a 315 °C.
  - ✓ La temperatura de película (máxima T) es de 343 °C.
  - ✓ Son no carbonizantes.
  - ✓ Tienen una larga vida útil a altas temperaturas.
  - ✓ Poseen bajo punto de fluidez.

- ✓ Baja viscosidad a temperatura ambiente para reducir el tiempo de puesta en marcha requerido de los arranques en frío.
- ✓ Altos puntos de inflamación para áreas críticas.
- ✓ Resistencia a la oxidación.

### 3.1.7. Aislamiento térmico

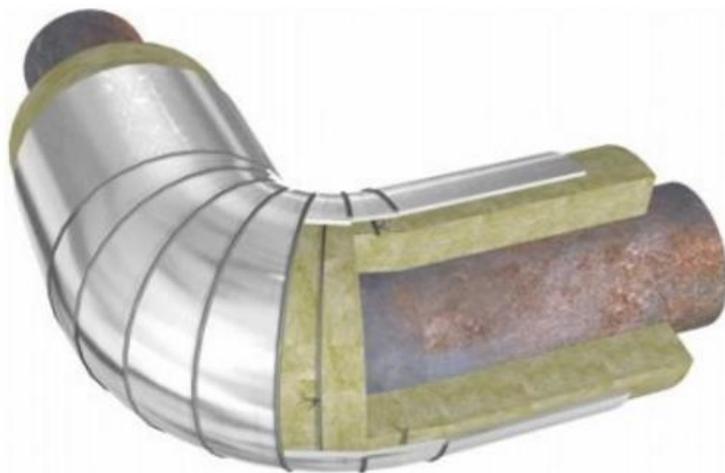
Según Martín Alexander Chacabana Vilca en su tesis, “Diseño de ingeniería para la distribución de aceite térmico 2016”, indica que:

“El aislamiento térmico específico más recomendado para aislar las instalaciones de este aceite térmico, existiendo en el mercado múltiples productos para ello, entre los cuales las lanas minerales (lana de roca), las espumas plásticas, productos a base de celulosa, etc., todos ellos con la característica básica de evitar la pérdida de calor del fluido calo portador, para conservar el rendimiento y buen funcionamiento de la instalación, evitar accidentes y costosas pérdidas de energía, evitando una mayor contaminación ambiental y calentamiento global.”

La calidad funcional de un material aislante depende de las propiedades del producto elegido y del montaje. Lana de roca», elaborada a partir de rocas diabáticas (rocas basálticas), obteniéndose un producto de propiedades complementarias a la lana de vidrio.

Es un producto especialmente indicado para los aislamientos térmicos en la industria (altas temperaturas). Recuerden que no es necesario aislar los tanques de expansión y recogida en las instalaciones de aceite térmico. Recuerden que las lanas aislantes usan materiales no inflamables y de poder calorífico mínimo, oponiéndose a la propagación de los incendios. Si en una instalación las temperaturas de trabajo registran altas subidas, deberán escoger lanas de roca de alta densidad.

**Gráfico 8**  
*Aislamiento Térmico*



Fuente: (Isover, 2021)

### 3.1.8. Descripción del proceso

La producción de mezcla asfáltica en la planta del Gobierno Regional del Cusco se desarrolla en base a un conjunto de elementos mecánicos controlados por tableros electrónicos en donde se mezcla agregados pétreos con el cemento asfáltico a temperaturas estándar que se requiere para cumplir con los parámetros de la dosificación.

Este proceso está dividido en tres sistemas como son:

- ✓ Sistema de chancado de agregados
- ✓ Sistema de calentamiento del asfalto
- ✓ Sistema de mezcla de agregados con asfalto

El sistema de calentamiento de asfalto en los tanques térmicos es la parte del proceso que he elegido para el estudio de análisis de este TSP.

El sistema de calentamiento del aceite térmico es un modo de calentamiento indirecto de flujo forzado, tiene la función de transmitir calor por convección, por el impulso de una bomba centrífuga, por medio de las redes de tuberías que llegan hasta los tanques de asfalto con el propósito de elevar las temperaturas

del asfalto que se encuentra en el interior de los tanques y llegue a su temperatura ideal de producción, sin embargo, la temperatura de asfalto en los tanques solo llega hasta los 150°C lo cual es ideal para para producir asfaltos convencionales que tiene un rango de calentamiento de 140°C a 150°C, en comparación a los nuevos productos de asfalto como los modificados con polímeros que requieren, según sus especificaciones técnicas, temperaturas de 170°C como mínimo para que pueda ser inyectado al tambor mezclador para su mezcla con los agregados pétreos.

Tiene como fuente de calor el calentador o también llamado caldero, donde este es la encargada de elevar las temperaturas al fluido térmico en un rango de 240° C, por medio de un quemador a Diésel que hace combustión en el interior del caldero, y controlado por válvulas y manómetros. Es importante mencionar de los sistemas de fluido térmico, es que son circuitos cerrados en el que no hay pérdidas del fluido de transferencia de calor.

La transferencia de calor a través de fluidos térmicos es por medio de tuberías de acero al carbono que distribuye el aceite térmico a temperaturas altas hacia los tanques de asfalto mediante la apertura de válvulas. Los tanques de asfalto tienen en su interior serpentines acuatubulares en la base del tanque que es por donde circula el aceite térmico para calentar el asfalto hasta su temperatura óptima para ser inyectado al tambor secador mediante una bomba y seguidamente ser mezclados con los agregados. La instalación en la sala del caldero de aceite térmico tiene tres sistemas en cuanto al proceso en su conjunto a asimilar el calor.

**Gráfico 9**  
Sistema del Proceso en su Conjunto



Fuente: (Isover, 2021)

### 3.1.9. Componentes del sistema de calentamiento

- **Sala del caldero de aceite térmico:** En el gráfico N° 10 se observa la sala del caldero para el calentamiento del aceite térmico está compuesta de un caldero vertical de 488,000 Kcal/ h de capacidad, una bomba de redistribución, un tanque de expansión, tuberías, accesorios y los tanques, que son los consumidores, donde se deposita el asfalto: es aquí donde se genera calor mediante el calentamiento del aceite térmico a través de un quemador para ser distribuido por medio de una bomba hacia los tanques de asfalto.

**Gráfico 10**

*Foto de la Sala del Sistema de Generación de Calor*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

En el gráfico N° 11 se observa el caldero de aceite térmico marca TENGE, tiene un modelo vertical, con un quemador de combustión a petróleo, su temperatura de proceso es de 200°C. capacidad de 488,000 Kcal/hora.

**Gráfico 11**

*Foto del Caldero Vertical de la Planta de Asfalto del GORE Cusco*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

- **Bomba de redistribución de aceite térmico:** Bomba centrífuga de 3480 rpm. Capacidad 47,5 kg. /h. de producción 20 m<sup>3</sup> / h. con una salida de diámetro 2pulg. tiene la función de trasegar el fluido térmico a alta temperatura (200°C) desde el tanque de expansión hacia el caldero y de este hacia los consumidores mediante la distribución de tuberías de acero al carbono, por lo común en este tipo de sistemas se utilizan estas bombas de forma centrífuga, ya que son ideales para generar caudales, que es lo que necesitan los calentadores para subir la temperatura en el menor tiempo y así evitar retrasos en la producción, por otro lado ya que las temperaturas del fluido térmico son altas, se debe tener en cuenta la calidad de los sellos mecánicos, y así no sufrir repetidamente fallas en este componente.

**Gráfico 12**

*Bomba Centrífuga de Aceite Térmico de la Planta del GORE Cusco*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

- **Tanque de expansión:** El tanque de expansión tiene la función de acoger el incremento del aceite térmico cuando este se expande al ser elevar tu temperatura en exceso, de manera debe estar valorado el volumen del tanque con relación a la de todo el sistema. Este es un tanque con venteo hacia el aire, como se observa en la ilustración 7, y estos son necesarios que los aceites térmicos no sobre pases de los 54°C.

**Gráfico 13**

*Tanque de Expansión GORE Cusco*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

- **Tuberías:** Se emplea para que, por medio de este, se distribuya el fluido térmico, hacia los tanques de asfalto, son de acero al carbono con características de acuerdo con la norma ASTM, sus uniones deben de ser soldadas en su mayoría, deben utilizarse bridas en los sectores o puntos estratégicos para su mantenimiento, no tiene aislamiento los tubos como se observa en el gráfico N° 14 y es una de las causas de las demoras en el calentamiento del asfalto.

**Gráfico 14***Tuberías de Transporte de Fluido Térmico GORE Cusco*

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

- **tanques de asfalto:** Los tanques donde se almacena el asfalto para ser calentado a temperaturas ideales según sea las características del tipo de producto se va a usar en la producción, en el interior del tanque según su diseño se halla instalada en la parte inferior del tanque serpentines de tubo de diámetro de 2 pulgadas de acero al carbono, por donde circula el aceite térmico para la transferencia de calor que calentara el asfalto. Sin embargo, este es la causa del análisis de este TSP, porque existe deficiencias en la eficacia del proceso del sistema de calentamiento debido a la demora en elevar la temperatura optima en los tanques de asfalto, por lo que se realizara análisis en el sistema para aplicar alguna mejora.

**Gráfico 15***Tanque de Asfalto*

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

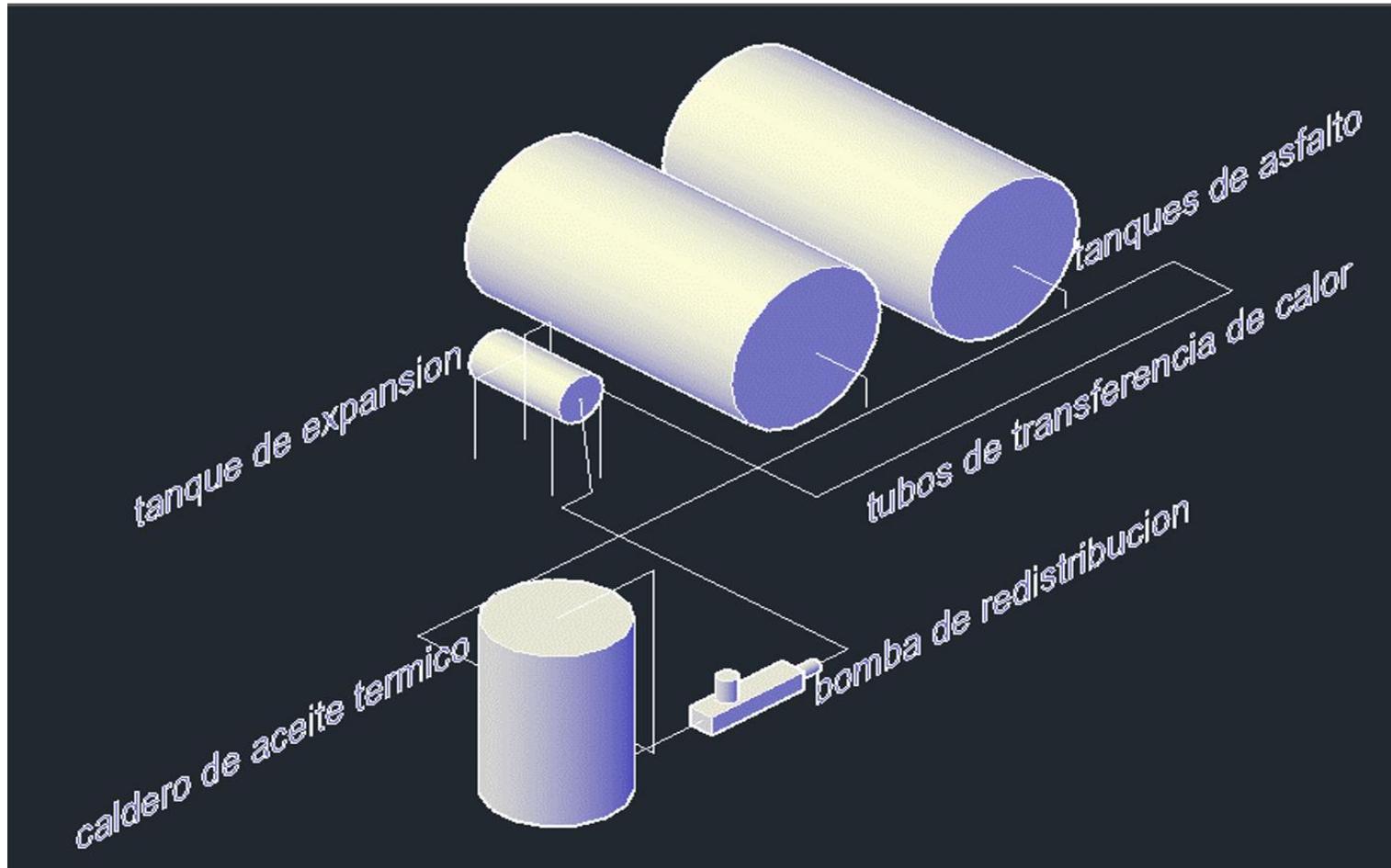
## **3.2. Desarrollo del proceso**

### **3.2.1. Análisis de sistema de calentamiento de aceite térmico**

Dentro de la identificación de fallas de los componentes y para analizar el sistema de calentamiento y distribución y detectar causas de depreciación de temperatura, se utilizó el enfoque de recolección de información a través de las entrevistas, la observación del sistema en el lugar, la experiencia por ser parte de los procesos en la producción, para ello utilizare la herramienta de Análisis Modal de falla y efectos. (AMFE) para un análisis e identificar fallas de los componentes del sistema.

**Gráfico 16**

*Sistema de Calentamiento del Aceite Térmico*



Fuente: (Wanson, 2000)

### 3.2.2. Análisis modal de fallos y efectos (A.M.F.E.)

Es una herramienta que se aplica a la gestión de calidad donde tiene una aplicación no solo en el campo de la industria sino también en servicios donde se mide el potencial de modos de fallos y efectos de un proceso, para ser ponderados el valor de índices de riesgos con una tabla de valores que tiene la norma.

**Tabla 5**  
*Análisis Modal de Fallos y Efectos*

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
<b>MUY ALTA</b>	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado	1
<b>ALTA</b>	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable,	2 - 3
<b>MEDIANA</b>	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4 - 6
<b>PEQUEÑA</b>	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7 - 8
<b>IMPROBABLE</b>	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9 - 10
FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
<b>MUY BAJA IMPROBABLE</b>	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos , ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
<b>BAJA</b>	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos . Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 - 3
<b>MODERADA</b>	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o pre vios al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema	4 - 5
<b>ALTA</b>	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6 - 8
<b>MUY ALTA</b>	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 - 10
GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
<b>MUY BAJA</b>	Fallo de pequeña importancia origen efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
<b>BAJA</b>	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2 - 3
<b>MODERADA</b>	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente . El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4 - 6
<b>ALTA</b>	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7 - 8
<b>MUY ALTA</b>	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9 - 10

Fuente: (Wanson, 2000)

**Tabla 6**  
Análisis de A.M.F.E.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL FLUIDO TERMICO DE LA PLANTA DE ASFALTO DEL GORE CUSCO										
OPERACIÓN O FUNCION	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL	FRECUENCIA	GRAVEDAD	DETECTABILIDAD	IPR	ACCION CORRECTORA
		MODOS DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DE MODO DE FALLO	CONTROLES ACTUALES					
<b>CALENTAMIENTO DEL ASFALTO EN LOS TANQUES</b>	1	BOMBA DE ACEITE TERMICO DEFECTUOSA	PARADAS IMPROVISTOS DURANTE EL PROCESO	DETERIORO DEL SELLO MECANICO POR LA CONTAMINACION DEL ACEITE TERMICO	MANTENIMIENTOS PROGRAMADOS	9	7	2	126	ANALISIS Y RENOVACION DEL ACEITE TERMICO
	2	CALDERO CON BAJA POTENCIA CALORIFICA	DEMORAS EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE TERMICO	PERDIDA DE PROPIEDADES DEL ACEITE TERMICO POR LA COMTAMINACION DE ESTE	NINGUNO	5	7	5	175	ANALISIS Y RENOVACION DEL ACEITE TERMICO
			CONSUMO DE CONMBUSTIBLES EN EXCESO	DISEÑO DEL CALDERO ANTIGUO	NINGUNO	9	6	2	108	ANALISIS DE LAS PERDIDAS DE CALOR EN LAS TUBERIAS
	3	DISEÑO DE SERPENTINES DE BAJA TRNSFERENCIA DE CALOR EN LOS TANQUES DE ASFALTO	DEMORAS EN EL CALENTAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS	LOS SERPENTINES FUERON DISEÑADOS PARA ASFALTO CONVENSIONALES	NINGUNO	9	9	2	162	INCREMENTAR AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS TANQUES
	4	PERDIDAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS TUBERIAS	INEFICIENTE APROVECHAMIENTO DE CALOR EN EL SISTEMA	TUBERIAS DE TRANSFERNCIA DE CALOR SIN AISLAMIENTO	NINGUNO	9	7	3	189	ELEGIR UN MATEIAL ADECUADO PARA AISLAR LAS TUBERIAS

Fuente: (Wanson, 2000)

**Tabla 7**  
*Prioridades del I.P.R.*

<b>PRIORIDADES DEL IPR</b>		
<b>500 – 1000</b>	Alto riesgo de fallo, realizar cambios significativos del sistema	
<b>125 – 499</b>	Riesgo de fallo medio, evaluación selectiva para implantar mejoras específicas.	
<b>70 – 124</b>	Riesgo de fallo bajo, alguna acción se debe tomar.	
<b>0 - 69</b>	No existe ningún riesgo de fallo, no se toma ninguna acción.	

Fuente: (Wanson, 2000)

**Ecuación 3**  
*Frecuencia Gravedad Detectabilidad*

$$\mathbf{IPR = F \times G \times D}$$

Fuente: (Wanson, 2000)

- ✓ G = gravedad
- ✓ F = frecuencia
- ✓ D = Detectabilidad

**Tabla 8**  
*Análisis de los Resultados*

<b>MODO FALLO</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Gravedad</b>	<b>Detectabilidad</b>	<b>IPR</b>
Bomba de aceite térmico defectuosa	9	7	2	125

Fuente: (Wanson, 2000)

- ✓ De la matriz estándar de prioridades está considerado como riesgo medio lo cual recomienda una evaluación para implantar mejoras.
- ✓ Las fallas que adolece este elemento es el sello mecánico y probablemente lo origina el aceite térmico por estar contaminado.

**Tabla 9***Tabla de Fallo de Caldero*

<b>MODO FALLO</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Gravedad</b>	<b>Detectabilidad</b>	<b>IPR</b>
Caldero de baja potencia calorífica.	5	7	5	175

Fuente: (Wanson, 2000)

- ✓ Riesgo medio lo cual recomienda una evaluación para implantar mejoras.
- ✓ El caldero tiene una vida útil de 25 años y se recomienda la sustitución por uno nuevo.

**Tabla 10***Modo de Fallo Diseño de Serpientes*

<b>MODO FALLO</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Gravedad</b>	<b>Detectabilidad</b>	<b>IPR</b>
Diseño de serpentines de baja transferencia de calor en los tanques de asfalto.	9	9	2	162

Fuente: (Wanson, 2000)

- ✓ Riesgo medio lo cual recomienda una evaluación para implantar mejoras.

- ✓ Una de las probables causas que genera demoras en el calentamiento del asfalto en los tanques térmicos es el área de transferencia de calor diseñado para asfaltos convencionales que requieren temperatura de 150°C.

**Tabla 11**

*Modo de Fallo Pérdida de Calor*

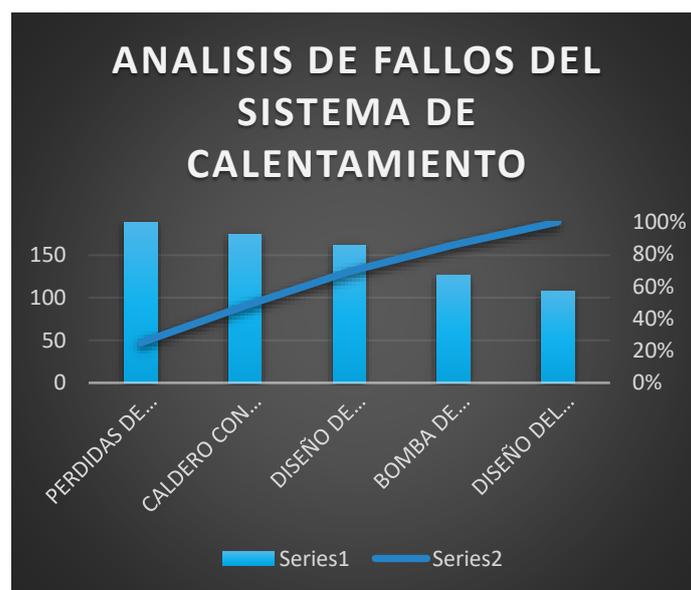
MODO FALLO	Frecuencia	Gravedad	Detectabilidad	IPR
Perdida de calor en las tuberías.	9	7	3	189

Fuente: (Wanson, 2000)

- ✓ Riesgo medio lo cual recomienda una evaluación para implantar mejoras
- ✓ La falla evidente es de los tubos de transporte de fluido térmico que se encuentran sin aislamiento y están expuestas al medio ambiente por lo que necesita una mejora.

**Gráfico 17**

*Cuadro de Fallos del Sistema*



Fuente: (Wanson, 2000)

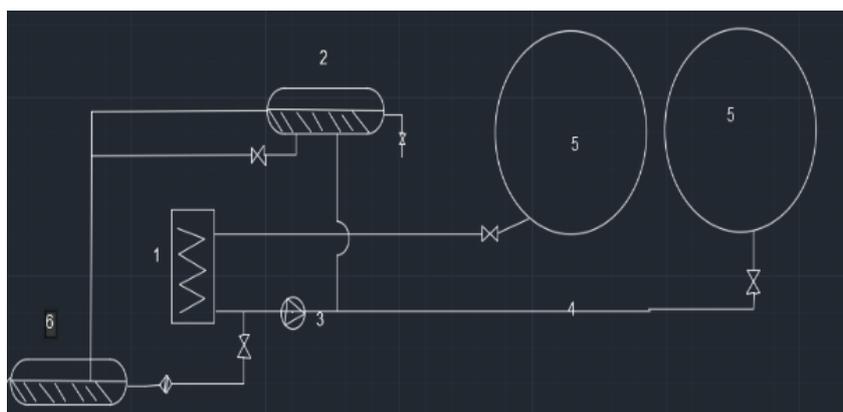
### 3.2.3. Análisis de sala de calentamiento del aceite térmico

Para hacer un estudio de la sala de calentamiento de aceite térmico de la planta de asfalto del gobierno regional del Cusco, se hicieron visitas para recolectar datos de las mediciones tales como la longitud de tuberías, la temperatura de proceso del caldero, características técnicas de la bomba de aceite térmico, temperatura de calentamiento de los tanques térmicos, y otras observaciones correspondientes al sistema.

En el grafico N° 18 se muestra el diagrama del circuito de calentamiento del aceite y los tanques térmicos consumidores de calor.

**Gráfico 18**

*Diagrama del Sistema de Calentamiento de Aceite Térmico*



Fuente: (Pirobloc, 2009)

De donde:

- ✓ 1 = Caldero
- ✓ 2 = Tanque de expansión
- ✓ 3 = Bomba
- ✓ 4 = Tubos de transferencia de calor
- ✓ 5 = Tanques de asfalto consumidores de energía
- ✓ 6 = Deposito colector

En este caso, se considera la tabla donde se hace una equivalencia de la potencia instalada en el caldero de aceite térmico de la planta de asfalto del gobierno regional del Cusco.

**Tabla 12**  
*Potencia del Caldero*

Caldero	Potencia KW	Potencia Kcal/h	Potencia BTU/h
TENGE	465.2	400 000.00	1587328.29

Fuente: (Wanson, 2000)

### 3.2.4. Estudio de fallas del sistema

De las diferentes fallas que presenta el sistema, uno de los principales defectos que se observa es la falta de aislamiento de las tuberías en todo el circuito que recorre el aceite térmico, generando pérdidas de calor en el trayecto y por lo tanto demoras en la producción, a consecuencia de estas fallas el exceso de consumo de combustible.

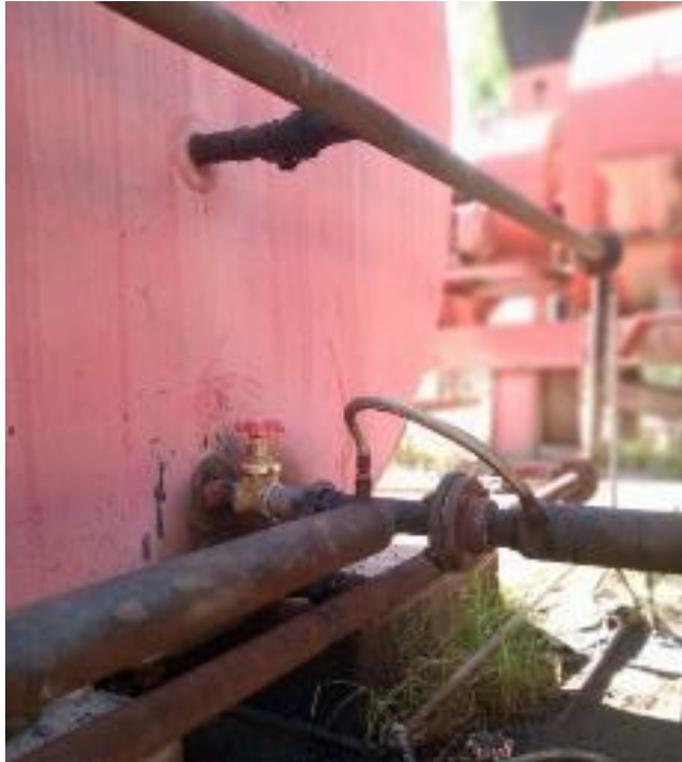
**Tabla 13**  
*Indicadores de Fallas del Proceso Actual de Calentamiento*

PROCESO	TIEMPO DEL CALENTAMIENTO	POTENCIA DEL CALENTADOR EN kcal/h	PERDIDAS DE CALOR	CONSUMO DE DIÉSEL
Encendido del caldero	Aceite térmico a 200°C 20 horas	400,000.00		5.5 GPH
Distribución del aceite térmico			Tubos sin aislamiento	
Calentamiento del asfalto en los tanques	Asfalto modificado a 170°C 48 horas		Poca eficiencia térmica	

Fuente: (Pirobloc, 2009)

**Gráfico 19**

*Tuberías de Alimentación del Tanque de Asfalto*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

**Gráfico 20**

*Tuberías de Alimentación del Tanque de Asfalto*



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

**Gráfico 21***Tuberías de la Salida del Caldero*

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

En los Gráficos N° 20, 21, 22, se puede evidenciar que existe aislamiento en algunos tramos, pero que no están en buenas condiciones y existen tramos que no tienen aislamiento, estos son una de las causas que bajan la eficiencia de calentamiento del asfalto.

El asfalto modificado con polímeros es un producto que requiere calentar a temperatura superiores de 170°C, esto para cumplir con los parámetros de dosificación, y seguidamente ser enviados mediante una bomba de descarga hacia el cilindro mezclador en paralelo con los áridos, en referencia a estos requisitos, haremos un estudio sobre el comportamiento de las tuberías con respecto al medio ambiente.

Las instalaciones de tuberías que cuenta la planta de asfalto del gobierno regional del Cusco en el área de calentamiento para el transporte de fluido térmico son de material de acero al carbono ASTM A53 – SCH40, con una sola medida de 2” de diámetro en todo el sistema.

**Tabla 14**  
*Medidas en Metros y Pulgadas*

<b>LONGITUD TOTAL EN METROS</b>	<b>DIÁMETRO DEL TUBO EN PULGADAS</b>
150	2

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

La distribución del fluido térmico a través de tuberías de acero al carbono tiene una longitud de 150 m. aproximadamente con un diámetro constante de 2", está instalada en todo el circuito cerrado.

Dentro del recorrido existe un intercambio de calor con el medio ambiente, debido a que las tuberías no cuentan con un aislamiento que puedan evitar y asegurar la estabilidad térmica del aceite durante su proceso.

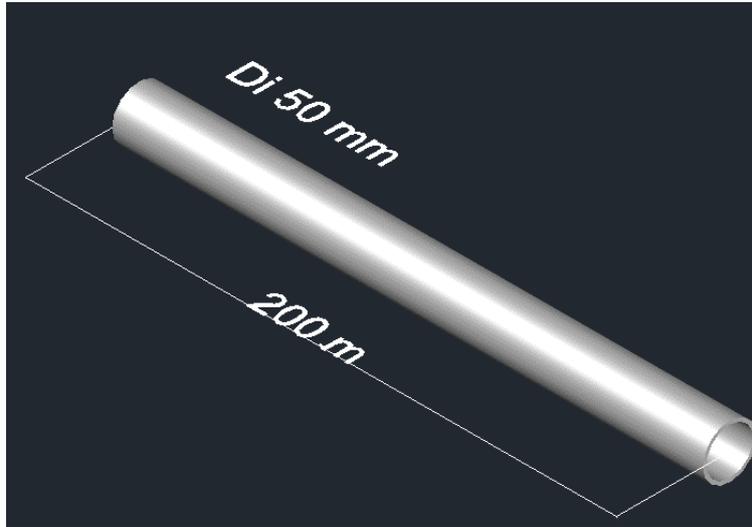
**Tabla 15**  
*Valores Constantes y Valores de Sistema*

<b>VALORES CONSTANTES</b>	
Temperatura de proceso	200°C
Combustible	Diessel
Capacidad calorifica	400,000 Kcal/h
Eficiencia del calentador	80%
Horas de trabajo/año	1200
Temperatura ambiente	20%
Costo de combustible	5,5 GL. X h

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

**Gráfico 22**

Determinar la Pérdida de Calor en las Tuberías



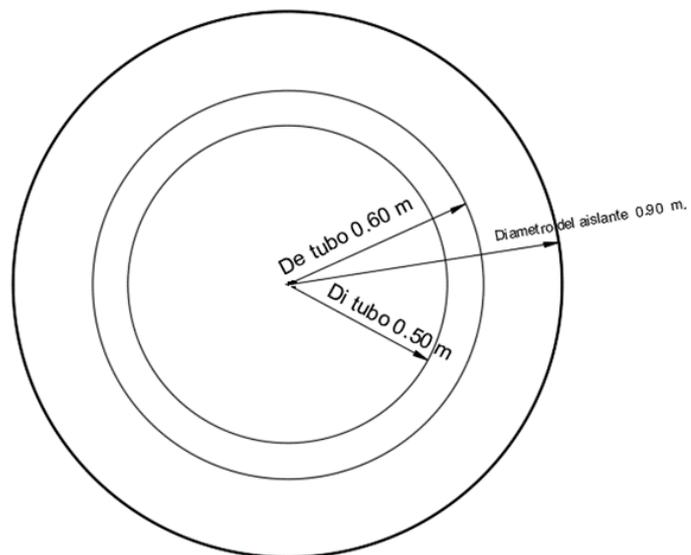
Fuente: (Pirobloc, 2009)

Datos para el cálculo matemático:

- ✓  $Di_{tubo} = 0.050 \text{ m.}$
- ✓  $De_{tubo} = 0.060 \text{ m.}$
- ✓  $Long.tubo = 150 \text{ m.}$
- ✓  $V_{velocidad\ promedio} = 10 \frac{m}{s}$
- ✓ Número de Prandtl (Pr) = 0,2720
- ✓  $K_{aceite} = 0,118 \text{ W/mK}$
- ✓  $K_2 \text{ tubería} = 60,5 \text{ W/mk}$
- ✓  $K_3 \text{ aislante} = 0,068 \text{ W/mk}$
- ✓ *Datos obtenidos de la tabla técnica*

**Gráfico 23***Evidencia de la Temperatura de Retorno del Proceso*

Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

**Gráfico 24***Diámetro del Aislante*

Formula de transferencia de calor por convección forzada

$$Q = h_i A (T_o - T_m)$$

Cálculo de N° de Reynolds:

$$\checkmark Re = \frac{V_p \rho L}{\mu}$$

$$\checkmark Re = \frac{10 \frac{m}{s} \cdot 750 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.05 m.}{1.4 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$\checkmark Re = 2.67 \times 10^{-4}$$

Seguidamente se calcula el N° de Nusselt para poder determinar el coeficiente convectivo:

$$\checkmark Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(NRe-1000)Pr}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5}(Pr^{\frac{2}{3}}-1)}$$

$$\checkmark un = \frac{\left(\frac{0.015}{8}\right)(2.67 \times 10^4 - 1000)0.2720}{1+12.7\left(\frac{0.015}{8}\right)^{0.5}(0.2720^{\frac{2}{3}}-1)}$$

$$\checkmark Nu = 56.7744w.$$

Luego se calculará el coeficiente convectivo de calor;

$$\checkmark hi = \frac{Nu \cdot K_{aceite}}{D_i}$$

$$\checkmark hi = \frac{56,7744 w.x 0.118 w/m^{\circ}C}{0.05 m.}$$

$$\checkmark hi = 134 \frac{w}{m^2} ^{\circ}C$$

Con estos resultados resuelve:

$$\checkmark Q = hi A (T_o - T_m)$$

$$\checkmark Q = 719,728 w.$$

Cálculos de la RT de coeficientes de calor por convección en el sistema sin asilamiento:

$$\checkmark RT = \frac{1}{hi A} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi K}$$

$$\checkmark RT = \frac{1}{134 \text{ w/m}^2 \cdot 31,41\text{m}^2} + \frac{\ln\left(\frac{0,03\text{m}}{0,025\text{m}}\right)}{2\pi \cdot 60,5\text{w/mk}}$$

$$\checkmark RT = 7,17 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/w}$$

La pérdida de calor sin aislamiento es:

$$\checkmark Q = \frac{\Delta T}{Rt} = \frac{T_o - T_m}{Rt}$$

$$\checkmark Q = \frac{171^\circ\text{C}}{7,17 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/w}}$$

$$\checkmark Q = 238,493,7 \text{ w.}$$

Cálculos de la RT de coeficientes de calor por convección en el sistema con aislamiento

K aislante= 0.068

K chaqueta de aluminio = 237

$$\checkmark RT = \frac{1}{h_i A} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi K_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi K_{\text{aislante}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi K_{\text{chaqueta}}}$$

$$\checkmark RT = \frac{1}{134 \text{ w/m}^2 \cdot 31,41\text{m}^2} + \frac{\ln\left(\frac{0,03\text{m}}{0,025\text{m}}\right)}{2\pi \cdot 60,5\text{w/mk}} + \frac{\ln\left(\frac{0,03\text{m}}{0,025\text{m}}\right)}{2\pi \cdot 0,068\text{w/mk}} + \frac{\ln\left(\frac{0,03\text{m}}{0,025\text{m}}\right)}{2\pi \cdot 237\text{w/mk}}$$

$$\checkmark RT = 0,4275 \text{ }^\circ\text{C/w}$$

Perdidas del a transferencia de calor del sistema es con aislante:

$$\checkmark Q = \frac{\Delta T}{Rt} = \frac{T_o - T_m}{Rt}$$

$$\checkmark Q = \frac{171^\circ\text{C}}{0,4275 \text{ }^\circ\text{C/w}}$$

$$\checkmark Q = 400 \text{ w.}$$

Realizamos las conversiones para determinar las pérdidas de calor por año:

$$\checkmark \quad 1 \text{ BTU} = 3,4121 \text{ W}$$

$$\checkmark \quad 238493.7 * \frac{1 \text{ BTU} / \text{h}}{3,4121} = 69,896 \text{ BTU/h}$$

Para calcular las pérdidas de calor por año:

Horas promedio por la longitud por 69,896 BTU / h

$$\checkmark \quad 69,896 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} * 150 \text{ m} * 1200 \text{ h} = 12581280 \text{ BTU} / \text{año}$$

Los cálculos realizados del análisis tienen márgenes de error porque la ecuación de Nuselt presenta error de 25 a 10 %

**Resultados:** Como resultado del análisis se observa una pérdida de calor en el sistema de tuberías sin aislamiento de 12581280 *BTU /año*, lo que indica que el sistema de tuberías debería aislarse con material adecuado para temperaturas de 230 °C y evitar pérdidas de calor y quemaduras del personal.

### 3.2.5. Determinación del aislamiento

Las implantaciones de los aislamientos en las tuberías generarían mejoras en los tiempos de calentamiento, ahorros de consumo de combustible y evitaría posibles pérdidas de calor al medio ambiente.

El espesor recomendado para el sistema de tubería es 2" de lana de roca, la red de tuberías desde el inicio hasta su retorno se recomienda ser aisladas con fibra de vidrio Norma ASTM C-547 y ASTM C-795

Factor de conductividad térmica 0.075 W/m °K a 250°C.

**Tabla 16**  
Espesores de Asilamiento para Tubería

TEMP. OPERACION		HASTA 287°C (550°F)						HASTA 343°C (650°F)					
DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.	
pulg.	mm	pulg.	mm	BTU/h ft	W/m	°C	°F	pulg.	mm	BTU/h ft	W/m	°C	°F
1/2	12.7	2	50.8	67.0	64.41	44.4	112.0	2	50.8	82.2	79.02	44.4	112.0
3/4	19.1	2	50.8	77.7	74.70	47.2	117.0	2	50.8	93.6	89.98	46.7	116.0
1	25.4	2	50.8	72.5	69.70	14.1	106.0	2	50.8	100.7	96.81	46.1	115.0
1 1/2	38.0	2	50.8	83.9	80.66	40.6	105.0	2	50.8	116.6	112.10	45.6	114.0
2	51.0	2	50.8	102.0	98.06	43.3	110.0	2 1/2	63.5	142.1	136.61	49.4	121.0
3	76.0	2	50.8	134.0	128.82	45.6	114.0	2 1/2	63.5	161.5	155.26	47.2	117.0
4	102.0	2	50.8	159.4	153.24	46.7	116.0	2 1/2	63.5	191.1	183.72	48.3	119.0
6	152.0	2 1/2	63.5	184.0	176.89	43.9	111.0	3	76.0	224.4	215.73	46.1	115.0
8	203.0	2 1/2	63.5	217.0	208.62	43.9	111.0	3	76.0	164.7	158.34	46.1	115.0
10	254.0	2 1/2	63.5	264.0	253.80	45.0	113.0	3	76.0	319.5	307.16	47.8	118.0
12	304.0	2 1/2	63.5	304.0	292.26	45.6	114.0	3	76.0	366.6	352.44	48.3	119.0
14	356.0	3	76.0	293.0	281.68	43.3	110.0	3	76.0	406.8	391.08	49.4	121.0
16	406.0	3	76.0	328.0	315.33	43.9	111.0	3 1/2	89.0	401.1	385.60	46.1	115.0
18	457.0	3	76.0	362.0	348.02	43.9	111.0	3 1/2	89.0	443.0	425.89	46.7	116.0
20	508.0	3 1/2	89.0	349.0	335.52	41.7	107.0	3 1/2	89.0	484.7	465.98	47.2	117.0
24	610.0	3 1/2	89.0	409.0	393.20	41.7	107.0	4	102.0	494.4	475.30	44.4	112.0
26	660.0	3 1/2	89.0	434.0	417.23	41.7	107.0	4	102.0	538.9	518.08	42.8	109.0
28	711.0	3 1/2	89.0	464.0	446.07	42.2	108.0	4	102.0	575.1	552.88	45.0	113.0
30	762.0	4	102.0	432.0	415.31	40.0	104.0	4 1/2	114.3	559.0	537.40	43.3	110.0

E.S.: ESPESOR RECOMENDADO  
T.S.: TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA

P.C.: PÉRDIDA DE CALOR  
T<sub>a</sub>: TEMPERATURA AMBIENTE

Fuente: (Owens Corning, 2020)

Se tiene la eficiencia de aislamiento fórmula:

$$\checkmark \quad \varphi = \left( \frac{h_{\text{sin aislamiento}} - h_{\text{con aislamiento}}}{h_{\text{sin aislamiento}}} \right) \times 100$$

$$\checkmark \quad \varphi = \left( \frac{238,493.7 \text{ w.} - 60,000 \text{ w.}}{238,493.7 \text{ w.}} \right) \times 100$$

$$\checkmark \quad \varphi = 74.84 \%$$

### 3.2.6. Análisis del tanque térmico de asfalto

Es importante analizar con que área de transferencia de calor cuenta nuestro tanque térmico de asfalto, ya que nuestro objetivo es mejorar la eficiencia térmica en el interior de los tanques.

El problema que se está presentando en los tanques de asfalto, es la lentitud de elevar la temperatura del asfalto, dado que, estos tanques con que cuenta la planta tienen un diseño donde la temperatura máxima que se eleva el asfalto

está en el rango de 150°C de manera que no es idóneo para cumplir con los parámetros de la dosificación de asfaltos modificados con polímeros.

**Tabla 17**

*Área de Transferencia de Calor del Intercambiador Calor*

<b>Intercambiador de calor de los tanques de asfalto</b>	<b>Área de transferencia de calor en M2</b>	<b>Longitud en m</b>	<b>Diámetro del tubo m</b>	<b>Q</b>
Tanque térmico actual	17.26 m2	90.13 m.	0.06	393.182 W.
Tanque térmico mejorado	27.45	125 m.	0.06	588.528 W

Fuente: (Owens Corning, 2020)

Para resolver los valores de la tabla se utilizó la siguiente fórmula de convección:

$$✓ \quad Q = h_i A (T_o - T_m)$$

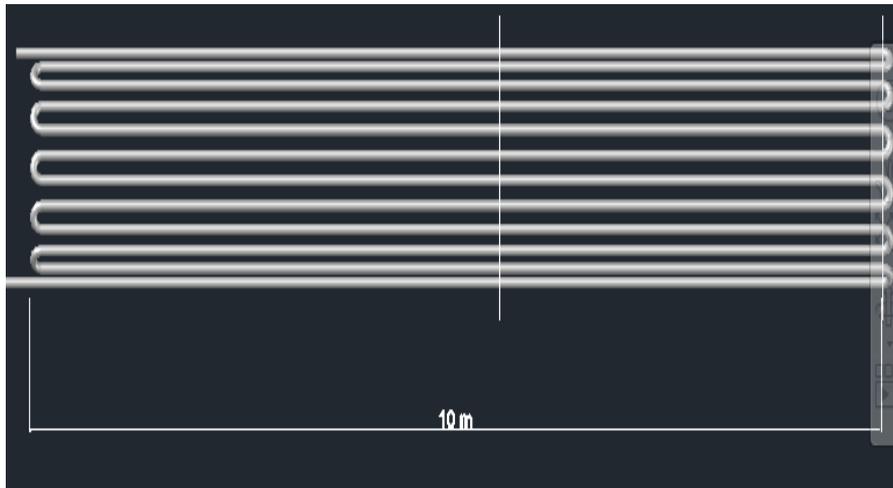
$$✓ \quad \text{Donde } h_i = 134 \frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ C \text{ valor constante}$$

Ante la deficiencia energética en los tanques térmicos de asfalto se determina en base al análisis matemático diseñar un intercambiador de 27,45 m2 para aumentar la transferencia de calor donde mejorara acortar los tiempos de calentamiento.

Diseño de un serpentín Vista superior:

**Gráfico 25**

*Plano de Serpentín de Tubo de 2"*

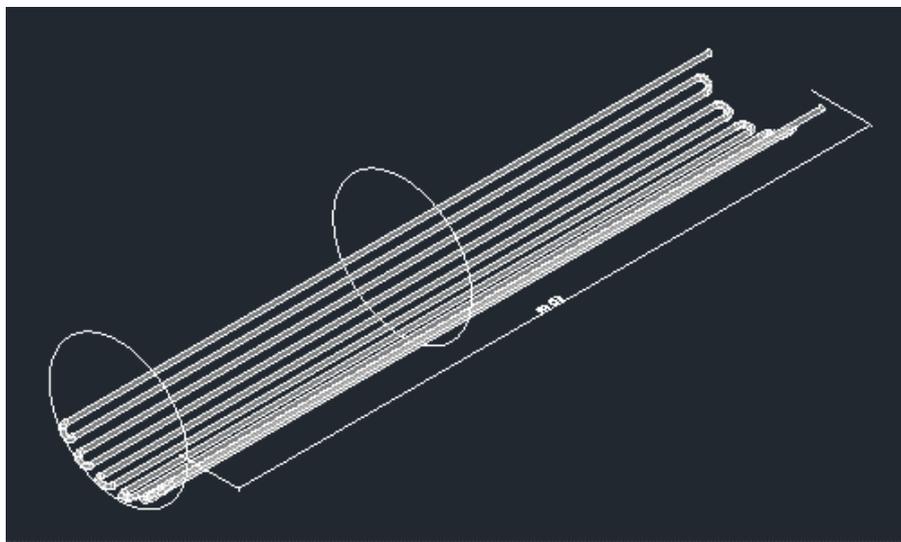


Fuente: (Owens Corning, 2020)

Diseño de un serpentín Vista Isométrico:

**Gráfico 26**

*Plano Vista isométrico*



Fuente: (Owens Corning, 2020)

### 3.2.7. Bases Normativas

Ley N° 29783 y su reglamento, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (09/2011):

- ✓ Art 17° Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.
- ✓ El empleador debe adoptar un enfoque de sistema de gestión en el área de seguridad y salud en el trabajo, de conformidad con los instrumentos y directrices internacionales y la legislación vigente.
- ✓ D.S. 005-2012-TR Art. 32°, apartado a.
- ✓ El empleador en consulta con sus trabajadores debe exponer por escrito una política de SST. El empleador debe implementar una política de SST, esta debe ser difundida y de conocimiento de todo el personal.
- ✓ Ley 29783 Art. 36° letra a Art.57° letra a y b • D.S. 005-2012-TR Art. 32°, letra c) y d) Art. 82°.
- ✓ El empleador debe identificar y evaluar todos los peligros existentes en la zona de trabajo y administrarlos de manera adecuada, actualizando una vez al año como mínimo.
- ✓ Ley 29783 Art. 39° • D.S. 005-2012-TR Art. 80°, letra b
- ✓ El empleador debe establecer un programa de seguridad con objetivos y metas medibles y alcanzables. El empleador debe desarrollar un programa anual de SST, con apoyo del comité de SST.
- ✓ Ley 29783 Art. 24° Art. 39° apartado b) y el D.S. 005-2012-TR Art. 74°, apartado f) Art. 83°.
- ✓ El empleador debe tener un plan para atender emergencias respecto al desarrollo del trabajo. El Plan de contingencia debe ser elaborado y revisado por profesionales competentes y debidamente acreditados. El empleador debe desarrollar un plan de contingencia y

respuesta ante emergencias, haciendo partícipes a los trabajadores y terceros implicados que pueden ser afectados en caso de generarse una emergencia.

- ✓ Decreto Legislativo N° 1499.
- ✓ Establece diversas medidas para garantizar y fiscalizar la protección de los derechos socio laborales de los/as trabajadores/as en el marco de la emergencia sanitaria por el COVID-19.

**Tabla 18**  
*Componentes del IPERC*

TAREA	PELIGRO	RIESGO	Probabilidad (P)	Severidad (S)	Grado de Riesgo P x S	Significado del Riesgo	Significativo	MEDIDA DE CONTROL
Recepción de productos	Carga manual de materiales	Ergonómico por sobreesfuerzo	3	2	6	Importante	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponer cargas con pesos menores a 25 kgs.</li> <li>• Capacitar al personal en la forma de traslado de cargas.</li> </ul>
		Golpe por manipulación o caída de materiales, objetos, herramientas	2	2	4	Moderado	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicar constantemente al operario el orden y limpieza en el área de trabajo.</li> </ul>

Fuente: (Gómez, 2021)

- **Normas técnicas peruanas de gestión del medio ambiente**
  - ✓ NTP 900.054:2004 (INDECOPI): Aceites usados; re-refinación; gestión del medio ambiente manejo de aceites usados. Aprovechamiento energético de aceites usados, previo tratamiento.
  - ✓ Establece las medidas que deben ser adoptadas para un manejo adecuado de los aceites usados durante su tratamiento y su combustión controlada; procesos que constituyen el aprovechamiento energético del aceite tratado, para prevenir, reducir o mitigar los impactos negativos al ambiente y a la salud;

permitiendo la utilización de los aceites tratados en la generación de calor para diversos procesos productivos y cuyos residuos deberán ser manejados de tal forma que cumplan con los estándares establecidos por la entidad competente del sector industrial correspondiente.

- ✓ Norma Técnica Peruana (NTP) 900.050:2001, gestión ambiental; Manejo de aceites usados. Generalidades: Establece las medidas que deben ser adoptadas para un manejo adecuado en todas las etapas de la gestión de aceites usados para prevenir, reducir o mitigar los impactos negativos en el ambiente y en la salud de la población que son causados por el empleo de prácticas inapropiadas, como la contaminación del aire por la quema sin control ambiental y la del agua y del suelo por el arrojado de estos residuos.

➤ **Norma o especificación estándar ASTM A53**

- ✓ ASTM A53 es la especificación estándar para el tubo de acero al carbono utilizado en tuberías sin costura, con soldadura (o con costura), y galvanizadas con revestimiento de zinc. Este tubo comprende dimensiones desde 10.3mm OD (diámetro exterior de 1/8 pulgada) hasta 660mm (26 pulgadas).
- ✓ Usos: Transmisión: Sistemas de Oleoductos y Gasoductos, Tratamiento de Agua, Depósitos Minerales, Construcción y Estructura: Edificios, Perforación de Pozos para Agua, Transmisión del aceite de Calderas.

➤ **Normatividad de aislantes térmicos**

- ✓ ASTM C 547, Preformado de Fibra Mineral para aislamiento de tuberías Tipo I a 850°F (454°C).
- ✓ ASTM C 1136, Aislamiento térmico flexible de baja densidad retardante al vapor Tipo I y II.

- ✓ ASTM C 795, Aislamiento térmico para el uso sobre acero inoxidable\* Mil Spec. MIL-1-22344D, Aislamiento térmico de fibra de vidrio para tubería.

### 3.3. Costos del proyecto

**Tabla 19**

*Aislamiento Térmico de la línea de Tubería*

AISLAMIENTO TERMICO DE LA LINEA DE TUBERIA					
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Aislamiento de lana de roca para tubo, espesor 2"	150	m	185	27750
2	Recubrimiento metalico de aluminio de espesor de 1mm traslape ambos lados	150	m	38	5700
3	Coste de instalacion del aislante	150	m	20	3000
				total S/.	36450

Fuente: (Quispe Peralta, 2020)

**Tabla 20**

*Tanque Isotérmico de Almacenamiento de Asfalto*

DESCRIPCIÓN	CANT.	VOLUMEN	T°	TIEMPO DE ENTREGA	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Servicio de fabricación e instalación a todo costo de un tanque isotérmico para almacenamiento de asfalto	1	35000 Lt.	180°C	45 días	75000	75000

Fuente: (Quispe Peralta, 2020)

### 3.4. Conclusiones

- ✓ La disminución de calor en el recorrido del fluido térmico hacia los tanques de asfalto se debe a que los tubos por donde recorren los fluidos no se encuentran aisladas (con material fibra de lana de roca) o en algunos tramos están deteriorados.
- ✓ Se determinó mediante un análisis matemático la pérdida de energía por radiación de los tubos que transportan el fluido térmico en todo su recorrido, al estar en contacto con el medio ambiente.
- ✓ Las mejoras en la línea de tuberías con aislamiento e incremento de área de transferencia de calor en el interior de los tanques reducirán el consumo de combustible y el aumento de temperatura del asfalto con eficiencia
- ✓ La designación de jefes del área de producción en periodos cortos políticamente trae como consecuencia la falta de un plan de trabajo en los mantenimientos preventivos y correctivos y por consiguiente mejoras en la planta de asfalto del gobierno regional Cusco.
- ✓ Al no contar con una capacidad de confiabilidad de nuestros equipos en su conjunto, surge la desmotivación del operador en no poder cumplir al 100% con requerimientos que demanda los diseños de la mezcla asfáltica.
- ✓ Se determinó en base a tablas y cálculos los espesores que deben ser instalados los aislantes térmicos en las tuberías, y de esa manera reducir las pérdidas de energía por radiación.
- ✓ Existe la necesidad de fomentar las capacitaciones en nuevas tecnologías del personal de la planta asfalto en beneficio de la entidad y la calidad de servicio que puedan brindar.
- ✓ El abastecimiento del asfalto transportado por cisternas por parte de los proveedores genera contaminación del aceite térmico en el sistema

puesto que el aceite térmico de la cisterna no tiene las mismas características que el de la planta.

### **3.5. Recomendaciones.**

- ✓ Es primordial realizar un plan de identificación de indicadores, para monitorear los tiempos de funcionamiento de los elementos y de ese modo realizar los mantenimientos preventivos planificados del sistema de calentamiento evitando averías durante la producción.
- ✓ Para descartar una causa de mala transferencia de calor, se recomienda el análisis de las propiedades del aceite térmico del sistema, debido a que ha sufrido contaminación al estar conectado con los tanques cisterna que abastecen asfalto a los tanques del sistema.
- ✓ Para mejorar la transferencia de calor por convección en las tuberías que transportan los fluidos es necesario aislarlos del medio ambiente con la finalidad de reducir las pérdidas de calor y con ello reducir el consumo de combustible y reduce los tiempos de calentamiento de asfalto.
- ✓ Para reducir los tiempos de calentamiento y mejorar la temperatura en los tanques de asfalto es necesario aumentar el área de transferencia de calor en el interior en un 20% del que ya existe por esta razón se recomienda la adquisición de un nuevo tanque térmico diseñado con un área de transferencia calor superior.
- ✓ Para evitar pérdida prematura de la eficiencia de transferencia de calor de los aceites térmico se recomienda modificar los contratos para que el abastecimiento del asfalto se provea con la temperatura adecuada para recircular hacia los tanques térmicos directamente de las cisternas.

## CAPÍTULO IV

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martin Domingo, A. (2000). *Apuntes de la Transmisión de Calor*.
- cengel, y. a. (2007). *transferencia de calor y masa*. mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- CERNEY. (2021). *CALDERAS INDUSTRIALES*. Obtenido de <https://www.cerney.es/productos/equipos-complementarios/aceite-termico>
- Cusco, G. R. (2015). [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs\\_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf).
- Ferrer, C. (2006). Tecnología del Aceite Termico. *Industria Quimica*.
- GOBIERNO REGIONAL CUSCO. (2020). [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento\\_organizacion/rof/O.R.176.2020.pdf](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento_organizacion/rof/O.R.176.2020.pdf).
- Gobierno Regional del Cusco. (2015). Obtenido de [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs\\_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf)
- Gobierno Regional del Cusco. (Setiembre de 2020). Ordenaza Regional 176-2020. *Reglamentos de Organizacion y Funciones*. Cusco, Perú.
- Gómez, I. J. (octubre de 2021). Curso; Gestion de prevencion de seguridad. arequipa.
- Gore Cusco PEI,. (Enero de 2020). *Plan Estratégico Institucional*. Obtenido de PEI 2020-2023 - Transparencia - Gobierno Regional Cusco: [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento\\_organizacion/pei/Masbtn/PEI-2020-2023](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento_organizacion/pei/Masbtn/PEI-2020-2023)
- Gore Cusco. (Setiembre de 2020). *Reglamento de Organización y Funciones*. Obtenido de [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento\\_organizacion/rof/O.R.176.2020.pdf](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento_organizacion/rof/O.R.176.2020.pdf)
- GRC. (2012). *Plan Operativo Institucional del Gobierno Regional del Cusco*. Obtenido de [https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs\\_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf](https://transparencia.regioncusco.gob.pe/attach/docs_normativo/planes/poi/2012/11.poi.2012.grde.pdf)

Hernandez Hernandez , N., & Garnica Gonzales , J. (julio-Diciembre de 2015).  
Conciencia Tecnologica. *Redalyc*, 40.

Isover. (2021). [www.isoover-aislamiento-tecnic](http://www.isoover-aislamiento-tecnic).

Owens Corning. (2020). *Owens Corning*. Peru.

Pirobloc. (Setiembre de 2009). *Guía del Sistema de Fluido Térmico*. Obtenido de  
<https://www.pirobloc.com/>

propia, F. (s.f.).

Quispe Peralta, W. (2020). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII - Para  
obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial. Cusco, Perú.

Wanson, B. (2000). *Practical Application of Thermal Fluid*.

## CAPÍTULO V

### GLOSARIO DE TÉRMINOS.

**CRAQUEO TÉRMICO:** Se entiende por craqueo químico o “cracking” la descomposición de un producto, en nuestro caso el fluido térmico

**OXIDACIÓN:** Ya hemos indicado que los fluidos térmicos reaccionan con el aire para formar ácidos orgánicos.

**TRANSFERENCIA DE CALOR:** Consiste en el traspaso de energía calórica de un medio a otro.

**BOMBA:** Transforma la energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera, puede mover el mayor volumen de líquido posible.

**CAVITACIÓN:** Formación de burbujas de vapor en un líquido inicialmente homogéneo.

**ASFALTO:** Es la mezcla de brea, que es un material viscoso, pegajoso y de color plomo con arena o gravilla, para pavimentar caminos.

**EFICIENCIA:** Capacidad de realizar una actividad o un proceso, con la menor cantidad de recursos posibles.

**ACEITE TÉRMICO:** Son fluidos utilizados para llevar calor desde un lugar determinado hasta otro

**CALDERO:** La caldera es un tipo de máquina de calefacción, que produce dicho calor mediante el proceso de calentar aceite a través de un combustible.

**AISLANTE TÉRMICO:** La función principal del aislamiento térmico es reducir la transmisión de calor entre dos componentes.

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, por sus siglas en inglés) regula normas de diseño, instalación, construcción y pruebas de equipo.

**SERPENTÍN:** Tubo hueco en forma de espiral que se utiliza para realizar procesos de transferencia de calor por convección.

**CONVECCIÓN:** La convección es una de las tres formas de transferencia de calor que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

**RADIACIÓN:** Se denomina radiación térmica o radiación calorífica y es la radiación emitida por un cuerpo debido a su temperatura.

**POTENCIA:** Capacidad para realizar una función o una acción determinada.

## CAPÍTULO VI

## ANEXOS

## Anexo 1

*Espesores de Aislamiento Recomendado*

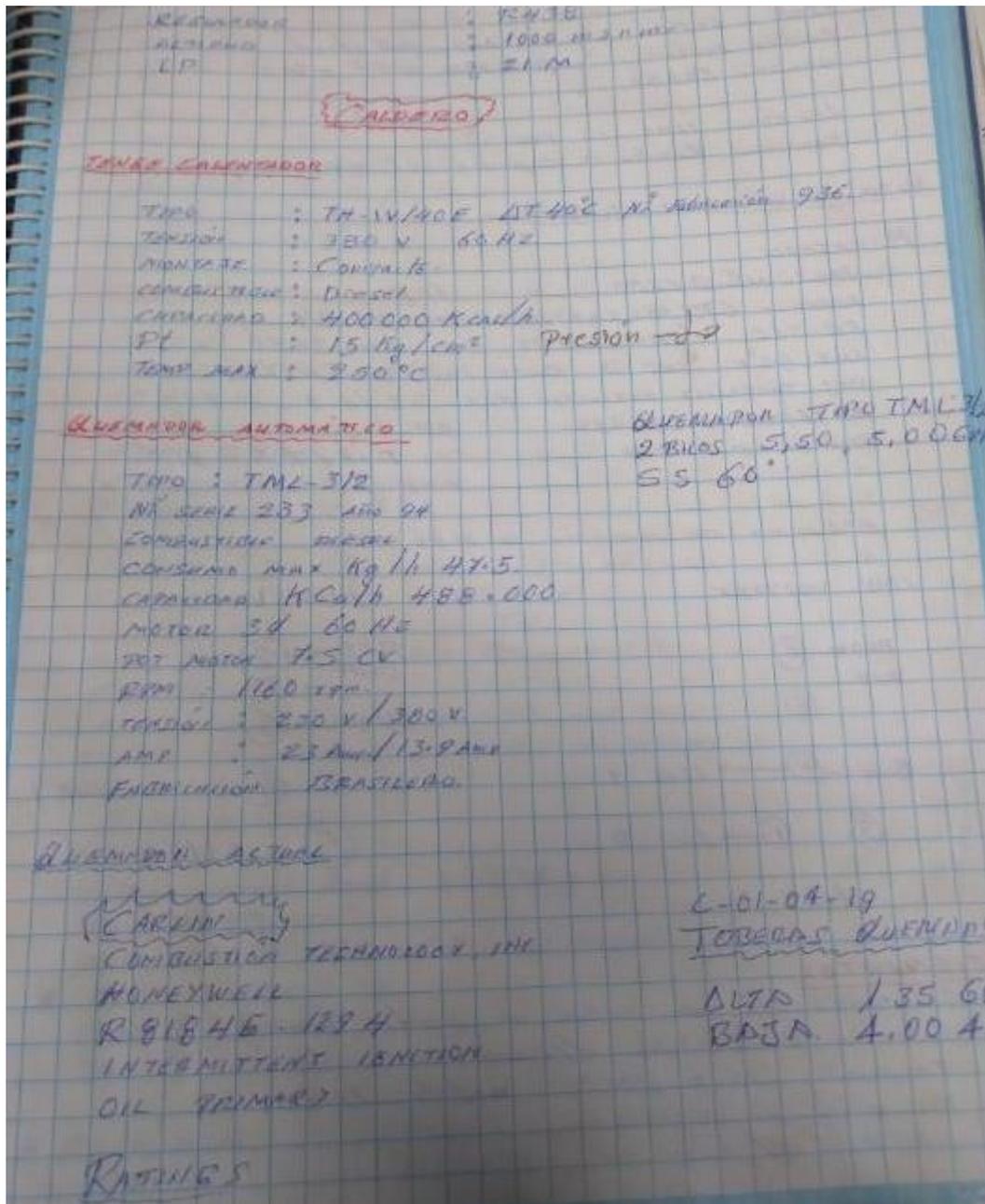
Espesores del aislamiento recomendado según temperatura y diámetro de la tubería.

Tamaño Nominal del Tubo o Diámetro del Recipiente (Pulgadas)	TEMPERATURA DE OPERACION °C										
	Ambiente a 93	94 a 149	150 a 204	205 a 260	261 a 316	317 a 371	372 a 427	428 a 482	483 a 538	539 a 593	594 a 649
1/2	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0
3/4	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0
1	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
1-1/4	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5
1-1/2	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5
2	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	4,0
3	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	4,0	4,5
4	1,5	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,5	4,5
6	1,5	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5	4,5
8	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5	5,0
10	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	4,5	4,5	5,0	5,5
12	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5	5,0	5,5
14	1,5	1,5	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	5,5
16	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	5,5
18	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	4,5	5,0	5,0	5,5	6,0
20	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	6,0	6,0
24	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,0
PLANO	1,0	2,0	2,0	2,5	3,5	4,0	4,0	4,5	5,5	6,0	6,5

Fuente: (Wanson, 2000)

## Anexo 2

## Apuntes de los Datos Para la Mejora



Fuente propia: (Quispe Peralta, 2020)

Anexo 3

EE-TT Para Asilamiento de tuberías



## CLIMPIPE Section Alu2 Aislamiento para Tuberías

Coquilla de Lana de Vidrio ISOVER, de forma cilíndrica y con una apertura practicada en su generatriz, revestida por su cara exterior con una lámina de aluminio reforzada con malla de vidrio, que actúa como barrera de vapor. Por sus altas prestaciones térmicas y su excelente comportamiento contra el fuego, **CLIMPIPE Section Alu2** es la solución idónea para el aislamiento de redes de tuberías en las instalaciones térmicas y equipos en el interior de los edificios, tanto residenciales como industriales.

**Propiedades técnicas**

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma
$k_s$	Conductividad térmica declarada en función de la temperatura*		W/m·K (°C)	0,038 (30) 0,055 (150) 0,066 (200) 0,101 (300)	EN-ISO 8497
—	Reacción al fuego		Euroclase	A2L-s1, d0	EN 13501-1 EN 15715
ST	Temperatura máxima de servicio		°C	180**	EN 14707
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua de la lana mineral, $\mu$		—	1	EN 12088
Z	Resistencia a la difusión de vapor de agua del revestimiento		m <sup>2</sup> ·h·Pa/μg	130	EN 12088
MV	Espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua, Sd		m	100	EN 12088

\*Se estima una conductividad térmica a 10°C de 0,032 W/m·K.  
\*\* La temperatura del revestimiento no debe superar los 80°C.

Espesor d (mm)	Diámetro interior d <sub>i</sub> (mm)	Código de designación
EN 13467		EN 14303
25-120	21-140	MW-EN 14303-T8-ST(180)-MV1
	150-273	MW-EN 14303-T9-ST(180)-MV1

**Presentación**

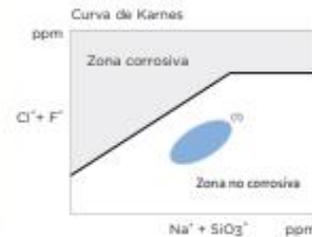
Temp. máx. (°C)	Espesor d (mm) <sup>1)</sup>						
	40-60	30, 40		40		40, 50	
60-100		30, 40	40				
100-180		40	50 <sup>1)</sup>			50	
Diámetro interior	D <sub>i</sub> (mm)	42, 48, 60, 76, 89	114, 140, 169, 219				
	D <sub>i</sub> (pulgadas)	1 1/4, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 4, 5, 6, 8					
Longitud l (m)		1,20					
Dimensiones caja, m		1,20x0,60x0,485		1,20x0,60x0,600			
Cajas/Palet		10					
Paleto/Camión		22					

También disponible en diámetros de 21, 27, 34 mm (1/2", 1", 1 1/8", 1 1/4" pulgadas), en espesor de 25 mm.  
<sup>1)</sup> Cumplimiento de las exigencias del BRTS.  
<sup>2)</sup> Disponible en 30 mm bajo pedido.

- [www.isover.es](http://www.isover.es)
- [ISOVERblog.es](http://ISOVERblog.es)
- @ISOVERes
- ISOVERaislamiento
- ISOVERaislamiento
- ISOVERaislamiento
- ISOVERaislamiento
- ISOVERaislamiento

**Ventajas**

- Facilidad de colocación sobre la tubería gracias a su apertura longitudinal.
- Incorpora lengüeta autoadhesiva que facilita el cierre de forma sencilla.
- Evita condensaciones en las tuberías.
- Material inerte que no es medio adecuado para el desarrollo de microorganismos.
- Producto sostenible. 100% reciclable. Material reciclado > 50%.
- No corrosivo frente a metales, según norma ASTM C-795 y C-781. Ver curva de Karnes.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones F<sup>-</sup> + Cl<sup>-</sup> respecto a los Na<sup>+</sup> + SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

<sup>1)</sup> Posición de las Lanas Minerales ISOVER.



**Certificados**



**Guía de instalación**

Información adicional disponible en: [www.isover.es](http://www.isover.es)



## Anexo 4

## Tablas de Conversión de la Mejora 1 de 1



TI-GCM-03  
CM Issue 2

## Tablas de conversión

Las siguientes tablas proporcionan una conversión entre sistemas SI, métrico, USA e Imperial. Todas las tablas usan un factor de multiplicación.

**Tabla 1 LONGITUDES**

De A →	milímetro	centímetro	metro	kilómetro	inch	foot	yard	mile
milímetro	1	0,1	0,001	—	0,03937	—	—	—
centímetro	10	1	0,01	—	0,393701	0,032808	—	—
metro	1000	100	1	0,001	39,3701	3,28084	1,09361	—
kilómetro	—	—	1000	1	—	3280,84	1093,61	0,621371
inch (pulgada)	25,4	2,54	—	—	1	0,083333	0,027778	—
foot (pie)	304,8	30,48	0,3048	—	12	1	0,33333	—
yard (yarda)	914,4	91,44	0,9144	0,000914	36	3	1	0,000568
mile (milla)	—	—	1609,344	1,609344	—	5280	1760	1

**Tabla 2 AREA**

De A →	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	yd <sup>2</sup>	acre	mile <sup>2</sup>
cm <sup>2</sup>	1	0,0001	—	0,155	0,001076	0,0001196	—	—
m <sup>2</sup>	10000	1	0,000001	1550	10,7639	1,19599	0,0002471	—
km <sup>2</sup>	—	1000000	1	—	—	—	247,105	0,386102
in <sup>2</sup>	6,4516	0,000645	—	1	0,006944	0,000772	—	—
ft <sup>2</sup>	929,03	0,092903	—	144	1	0,111111	0,000023	—
yd <sup>2</sup>	8361,27	0,836127	—	1296	9	1	0,0002066	—
acre	—	4046,86	0,004047	—	43560	4840	1	0,001562
mile <sup>2</sup>	—	—	2,589987	—	—	—	640	1

**Tabla 3 MASA**

De A →	kg	tonelada	lb	UK cwt	UK ton	US cwt	US ton
kg	1	0,001	2,20462	0,019684	0,000984	0,022046	0,001102
tonelada	1000	1	2204,62	19,6841	0,984207	22,0462	1,10231
lb	0,453592	0,000454	1	0,008929	0,000446	0,01	0,0005
UK cwt	50,8023	0,050802	112	1	0,05	1,12	0,056
UK ton	1016,05	1,01605	2240	20	1	22,4	1,12
US cwt	45,3592	0,045359	100	0,892857	0,044643	1	0,05
US ton	907,185	0,907185	2000	17,8517	0,892857	20	1

**Tabla 4 VOLUMEN Y CAPACIDAD**

De A →	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	litro (dm <sup>3</sup> )	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>	UK pint	UK gall	US pint	US gall
cm <sup>3</sup>	1	—	0,001	0,061024	0,0000353	—	0,001760	0,00022	0,002113	0,000264
m <sup>3</sup>	—	1	1000	61023,7	35,3147	1,30795	1759,75	219,969	2113,38	264,172
litro (dm <sup>3</sup> )	1000	0,001	1	61,0237	0,035315	0,001308	1,75975	0,219969	2,11338	0,264172
in <sup>3</sup>	16,3871	—	0,016387	1	0,0005787	0,0000214	0,028837	0,003605	0,034632	0,004329
ft <sup>3</sup>	28316,8	0,028317	28,3168	1728	1	0,037037	49,8307	6,22883	59,8442	7,48052
yd <sup>3</sup>	764555	0,764555	764,555	46656	27	1	1345,429	168,1784	1615,793	201,974
UK pint	568,261	0,0005683	0,568261	34,6774	0,020068	0,000743	1	0,125	1,20095	0,150119
UK gall	4546,09	0,0045461	4,54609	277,42	0,160544	0,005946	8	1	9,6076	1,20095
US pint	473,176	0,0004732	0,473176	28,875	0,01671	0,000619	0,832674	0,104084	1	0,125
US gall	3785,41	0,0037854	3,785411	231	0,133681	0,004951	6,661392	0,832674	8	1

**Tabla 5 PRESION**

De A →	atmósfera	mm Hg	m bar	bar	pascal	in H <sub>2</sub> O	in Hg	psi
atmósfera	1	760	1013,25	1,0132	101325	406,781	29,9213	14,6959
mm Hg	0,0013158	1	1,33322	0,001333	133,322	0,53524	0,03937	0,019337
m bar	0,0009869	0,750062	1	0,001	100	0,401463	0,02953	0,014504
bar	0,98692	750,062	1000	1	100000	401,463	29,53	14,504
pascal	0,0000099	0,007501	0,01	0,00001	1	0,004015	0,0002953	0,000145
in H <sub>2</sub> O	0,0024583	1,86832	2,49089	0,002491	249,089	1	0,073556	0,036127
in Hg	0,033421	25,4	33,8639	0,0338639	3386,39	13,5951	1	0,491154
psi	0,068046	51,7149	68,9476	0,068948	6894,76	27,6799	2,03602	1

Pascal = 1 N/m<sup>2</sup>

En beneficio del desarrollo y mejora del producto, nos reservamos el derecho de cambiar la especificación.

© Copyright 1998

M1

Fuente: (Isover, 2021)

## Anexo 5

## Tablas de Conversión de la Mejora 1 de 2

Tabla 6 VOLUMEN/CAUDAL

De A →	L/seg (dm <sup>3</sup> /seg)	L/hr	m <sup>3</sup> /seg	m <sup>3</sup> /hr	cfm	ft <sup>3</sup> /hr	UK gal/m	UK gal/hr	US gal/m	US gal/hr
L/seg (dm <sup>3</sup> /seg)	1	3600	0,001	3,6	2,118882	127,133	13,19814	791,8884	15,85032	951,019
L/hr	0,000278	1	—	0,001	0,000588	0,035315	0,003666	0,219969	0,004403	0,264172
m <sup>3</sup> /seg	1000	3600000	1	3600	2118,88	127133	13198,1	791889	15850,3	951019
m <sup>3</sup> /hr	0,277778	1000	0,000278	1	0,588578	35,3147	3,66615	219,969	4,402863	264,1718
cfm	0,471947	1699,017	0,000472	1,699017	1	60	6,228833	373,73	7,480517	448,831
ft <sup>3</sup> /hr	0,007866	28,3168	—	0,028317	0,016667	1	0,103814	6,228833	0,124675	7,480517
UK gal/m	0,075768	272,766	0,0000758	0,272766	0,160544	9,63262	1	60	1,20095	72,057
UK gal/hr	0,001263	4,54609	—	0,004546	0,002676	0,160544	0,016667	1	0,020016	1,20095
US gal/m	0,06309	227,125	0,0000631	0,227125	0,133681	8,020832	0,832674	49,96045	1	60
US gal/hr	0,001052	3,785411	—	0,003785	0,002228	0,133681	0,013878	0,832674	0,016667	1

Tabla 7 POTENCIA

De A →	Btu/h	W	Kcal/h	KW
Btu/h	1	0,293071	0,251996	0,000293
W	3,41214	1	0,859845	0,001
Kcal/h	3,96832	1,163	1	0,001163
KW	3412,14	1000	859,845	1

Tabla 8 ENERGIA

De A →	Btu	Therm	J	kJ	Cal
Btu	1	0,00001	1055,06	1,055	251,996
Therm	100000	1	—	105 500	25 199 600
J	0,00094	—	1	0,001	0,2388
kJ	0,9478	0,000009478	1000	1	238,85
Cal	0,0039683	0,0039683 x 10 <sup>-6</sup>	4,1868	—	1

Tabla 9 CALOR ESPECIFICO

De A →	Btu/lb °F	J/kg °C
Btu/lb °F	1	4186,8
J/kg °C	0,00023	1

Tabla 10 CAUDAL DE CALOR

De A →	Btu/ft <sup>2</sup> h	W/m <sup>2</sup>	Kcal/m <sup>2</sup> h
Btu/ft <sup>2</sup> h	1	3,154	2,712
W/m <sup>2</sup>	0,3169	1	0,859
Kcal/m <sup>2</sup> h	0,368	1,163	1

Tabla 11 CONDUCTIVIDAD TERMICA

De A →	Btu/ft <sup>2</sup> h °F	W/m <sup>2</sup> °C	Kcal/m <sup>2</sup> h °C
Btu/ft <sup>2</sup> h °F	1	5,67826	4,88243
W/m <sup>2</sup> °C	0,176110	1	0,859845
Kcal/m <sup>2</sup> h °C	0,204816	1,163	1

Tabla 12 CALOR POR UNIDAD DE MASA

De A →	Btu/lb	kJ/kg
Btu/lb	1	2,326
kJ/kg	0,4299	1

Tabla 13 VELOCIDAD

De A →	ft/min	ft/s	m/s
ft/min	1	0,016666	0,00508
ft/s	60	1	0,3048
m/s	196,850	3,28084	1

## Conversión de Temperatura

Puede efectuarse usando la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$$

## Información adicional

## Atmósfera - (Referencia estándar)

A.N.R. (Atmosphere Normale de Refemce) ISO R558.

Es el valor de atmósfera acordado para especificaciones de control y resultados de pruebas según ISO R554.

Los fluidos neumáticos usan 1013 mbar, 20°C, 65% RH (iso R554).

Las industrias de compresores y herramientas neumáticas prefieren 1000 mbar, 20°C, 65% RH (ISO 2787)

Las industrias Aeroespaciales, Petróleo y Gas prefieren 1013 mbar, 15°C, Seco (ISO 2533 e ISO 5024).

Los fluidos de potencia usados a menudo se confunden con Nm<sup>3</sup>. Estos no son Newton-metros<sup>3</sup> pero se refieren a metros<sup>3</sup> ANR, p.ej. volumen de aire medido para condiciones estándar o atmósfera normal. El término Imperial equiv. es S.C.F. (Standard Cubic Feet).

## Litro

El símbolo l está siendo cambiado por L para evitar la confusión con el 1 (uno).  
1L = 1dm<sup>3</sup>.

## Bar

1 bar = 100kPa = kN/m<sup>2</sup>.

kg/cm<sup>2</sup>

Esta unidad es usada en algunos lugares. La conversión es la siguiente:  
1kg/cm<sup>2</sup> = 0,980665 bar = 0,967841 atmósfera = 14,2233 psi

## Anexo 6

## Proceso de Control de los Fluidos



# MultiTherm PG-1®

## The Certified Non-Toxic Fluid for Process Control

### HEAT TRANSFER FLUID

**MultiTherm PG-1® is a high quality food grade heat transfer fluid for use in closed loop, liquid phase heating and cooling systems to 600°F.**

**Purpose**  
MultiTherm PG-1® has been successfully used in over thirty-five different industries. In the **Chemical Process Industry**, it is used for temperature control of batch reactors, in heat recovery from process streams and exhaust gases and in large central systems where multiple heat users are involved. In the **Food Process Industry**, MultiTherm PG-1® is used in indirect heating loops for deep frying and baking. In the **Plastics Industry**, it provides accurate temperature control for plates, molds, extruders and laminating rolls. For **Die Casting**, MultiTherm PG-1® provides low maintenance control for die temperatures.

The unique formula of MultiTherm PG-1® assures performance without the potential problems of many conventional fluids.

**FDA Certified Non-Toxic**  
**USDA Chemically Acceptable**  
**NSF HT-1 Approved for incidental contact**

**Specifications**  
MultiTherm PG-1® meets the specifications of 21CFR 172.878 which covers the use of White Mineral Oils in Food according to the

limits and conditions of the regulation. It is also chemically acceptable for use as a heat transfer fluid in plants operating under the Federal Meat and Poultry Inspection Program.

**Efficient**  
**Lower Operating Costs**  
The energy required to achieve a process heat load can be influenced by the physical properties of the fluid (density, heat capacity, thermal conductivity, specific heat). MultiTherm PG-1® properties result in more efficient use of energy than many other fluids. Low pressure drop reduces pump horsepower requirements. Heater outlet temperatures can be reduced since MultiTherm PG-1® has a high heat transfer film coefficient allowing lower approach temperatures.

**Lower Equipment Costs**  
Fluid properties can also affect equipment costs. Many conventional fluids have high viscosity at ambient temperatures and can require oversized pumps and/or heat tracing equipment to facilitate cold start-ups. MultiTherm PG-1® is pumpable to -13°F with a centrifugal pump, so start-up problems are minimal. Its high heat transfer film coefficient can reduce the heat exchanger area required for a given heat load. MultiTherm PG-1® also has low vapor pressure which can allow specification of lower cost, low pressure expansion tanks, piping and process equipment.

**Non-Fouling**  
**Long Term Temperature Control**  
All organic heat transfer fluids undergo thermal degradation over time. Conventional synthetic fluids or low quality oils will form soft carbon material (sludge) that eventually coats all system surfaces, and can form a hard coating. Because the coating acts as an insulator, heat transfer rates are reduced resulting in longer heat up time, lower production rates, changes in control response and, in extreme cases, burnout of heater tubes or electrical elements.

With non-fouling MultiTherm PG-1®, these problems disappear. As it degrades, it produces small carbon particles that do not stick to system surfaces, but remain suspended and are easily drained or filtered out. Since heat transfer surfaces remain clean, system performance remains constant.

**Lower Maintenance Costs**  
System downtime due to mechanical seal failure, sludge build-up or heater burnout can result in lost production time as well as extra direct maintenance cost. MultiTherm PG-1® can help reduce these costs. It has lubricating properties that reduce wear on mechanical seals and packing glands. The fluid is chemically inert and will not attack seals or gaskets. System cleaning is reduced since any carbon formed can be filtered or drained

Continued on page 2

PHYSICAL CHARACTERISTICS	MULTITHERM PG-1®	PHYSICAL CHARACTERISTICS	MULTITHERM PG-1®
Chemical Type	White Mineral Oil	Average Molecular Weight	350
Appearance	Bright, Clear, Colorless	Maximum Film Temperature	650°F / 343°C
Odor	None	Maximum Recommended	600°F / 316°C
Pour Point, ASTM D97	-40°F / -40°C	Operating Temperature	
Density @ 60°F / 16°C	7.30 lb/gal	Pumpable, Centrifugal @ 2000 centipoise	-13°F / -25°C
Flash Point, coc, ASTM D92	340°F / 171°C	Heat of Vaporization @ 600°F / 316°C	92 BTU/lb/214 kJ/kg
Fire Point, coc, ASTM D92	365°F / 186°C	Heat of Combustion	19,660 BTU/lb/45.7 MJ/kg
Autoignition Temperature ASTM D2155	650°F / 366°C	Coefficient of Thermal Expansion	0.00035/°F/0.00063/°C
Atmospheric Boiling Point (10%) ASTM D1160	657°F / 349°C		

\*Typical properties, not specifications.



3223 Phoenixville Pike, Malvern, PA 19355  
PO Box 579, Devault, PA 19432

Toll-Free: 800-225-7440 • Direct: 610-408-8361 • Fax: 610-408-8365  
Web: www.multitherm.com • Email: TechInfo@MultiTherm.com

Fuente: (Isover, 2021)

Anexo 7

Espesores Recomendados Para Tuberías

Espesores Recomendados  
Aislamiento para Tubería Fiberglass®  
Tuberías Calientes Ta= 25 °C (77 °F)†

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	HASTA 80°C (180°F)						HASTA 120°C (250°F)						HASTA 170°C (330°F)						HASTA 230°C (450°F)						
	E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	
1.2	12.7	1	25.4	7.62	21.3	26.7	68.6	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	HASTA 80°C (180°F)			HASTA 120°C (250°F)			HASTA 180°C (350°F)			HASTA 230°C (450°F)			
	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	
1.2	12.7	1	25.4	7.62	21.3	26.7	68.6	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3

E.R. : ESPESOR RECOMENDADO  
T.S. : TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA  
R.C. : PÉRDIDA DE CALOR  
Ta : TEMPERATURA AMBIENTE

† Estos valores son una referencia para cálculos específicos con los valores indicados. Para mayor información, favor de consultar a su representante de ventas, que con gusto responderá a todas sus preguntas.

Espesores Recomendados  
Aislamiento para Tubería Fiberglass®  
Tuberías Frías Ta= 25 °C (77 °F)†

Humedad relativa 80%

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	10.22°C (50°F)			15.0°C (60°F)			17.8°C (65°F)			20.0°C (68°F)			22.8°C (75°F)						
	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.				
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in			
1.2	12.7	1	25.4	7.62	21.3	26.7	68.6	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3

Humedad relativa 90%

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	10.22°C (50°F)			15.0°C (60°F)			17.8°C (65°F)			20.0°C (68°F)			22.8°C (75°F)						
	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.	E.S.	P.C.	T.S.				
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in			
1.2	12.7	1	25.4	7.62	21.3	26.7	68.6	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3	1	25.4	25.4	64.0	162.7	41.3

† Estos valores son una referencia para cálculos específicos con los valores indicados. Para mayor información, favor de consultar a su representante de ventas, que con gusto responderá a todas sus preguntas.

Fuente: (Isover, 2021)